

# THỂ 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 trình khoa học-bài báo 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 đề khoa học và công nghệ có hàm lượng khoa học và giá trị thực tiễn cao của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia, 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 bố những phát minh, sáng chế, kết quả, thành tích, điển hình tiên tiến 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 đồng bào 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 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 sinh, học viên cao học, ... trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam (bản in giấy), gồm: <sup>1</sup>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 biến 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 cắt 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 chuyển 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 đảm 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:

1. Tên bài báo (bằng tiếng Việt và bằng tiếng Anh).

2. 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).

3. Tóm tắt 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.

5. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.

6. Kết 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 dẫn dòng: "1.5 lines spacing", căn lề trái phải mỗi bên: 3 cm, căn lề trên dưới: 2,5 cm, chế độ lề: "justified". Dung lượng mỗi bài báo khoảng 1.600-2.500 từ. Các đồ 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 tiêu 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 dung 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 (...), 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 nghiên 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 ký 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 CƠ 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 - 0904 177 637 / 0982 254 465

**Email:** Tckvvn.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 311+312, tháng 1+2 năm 2024**

**cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn**

**TỔNG BIÊN TẬP**  
**DƯƠNG THANH BÌNH**

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

**HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP**  
TS. **ĐỖ HỮU HÀO** (Chủ tịch)  
GS,TSKH. **BÀNH TIẾN LONG** (P. Chủ tịch)  
KS. **TẠ QUANG MAI** (P. Chủ tịch)  
TSKH. **PHAN XUÂN DŨNG**  
PGS,TS. **HÀ MINH HÙNG**  
PGS,TS. **TRƯỜNG VIỆT ANH**  
GS,TS. **ĐINH VĂN CHIẾN**  
GS,TSKH. **PHẠM VĂN LANG**  
GS,TS. **CHU VĂN ĐẠT**  
PGS,TS. **TRẦN VĨNH HƯNG**  
PGS,TS. **ĐÀO QUANG KẾ**  
PGS,TS. **NGUYỄN VĂN BẦY**  
PGS,TS. **ĐÀO DUY TRUNG**  
PGS,TS. **LÊ THU QUÝ**  
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 NGỌC HIỀN**  
PGS,TS. **TRƯỜNG HOÀNH SƠN**  
TS. **HỒ TRẦN ANH NGỌC**

**THIẾT KẾ MỸ THUẬT**  
**NGÂN GIANG**

\*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  
- 204 trang  
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ  
- Giá bán 120.000 đồng/quyển Tạp chí

**TẠP CHÍ**  
**CƠ KHÍ**  
**VIỆT NAM**  
VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL  
CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM • <http://cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn>

*Chúc mừng năm mới 2024*



- ❖ Giới thiệu một số ứng dụng composite trong lĩnh vực cơ khí ô tô
- ❖ Nghiên cứu tính toán động lực học súng phóng lựu liên thanh SPL-30
- ❖ Ứng dụng thị giác máy tính cho tay máy lắp ráp vật di chuyển trên băng chuyền

Số 311+312, tháng 1+2 năm 2024  
Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 25 tháng 2 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:** 0904 177 637 - 0982 254 465  
**Email:** [tckvietnam@gmail.com](mailto:tckvietnam@gmail.com)  
**Website:** [cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn](http://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 bản chấp thuận tăng trang số 109/CBC-QLBC ngày 24 tháng 01 năm 2024 của Cục Báo chí,  
Bộ Thông tin và Truyền thông, để xuất bản số 311+312 tháng 1+2 năm 2024

**Văn phòng đại diện:**

**1. Tại TP. Hồ Chí Minh:**

- PGS,TS. **Bùi Trung Thành**  
Phòng T4.0, Nhà T, Trường Đại học Công nghiệp  
TP. Hồ Chí Minh  
Số 12 Nguyễn Văn Bào, phường 4, quận Gò Vấp,  
TP. Hồ Chí Minh  
**Điện thoại:** 0913 921 407  
**Email:** [tckc.tphcm@gmail.com](mailto:tckc.tphcm@gmail.com)

- 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.  
**Điện thoại:** 0913 603 264  
**Email:** [nhloc@hcmut.edu.vn](mailto:nhloc@hcmut.edu.vn)

**2. Tại tỉnh Quảng Ninh:**

- TS. **Hoàng Minh Thuận**  
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,  
Liên Phường, Phường Đông, Uông Bí, Quảng Ninh  
**Điện thoại:** 0904 116 189  
**Email:** [minhthuan.tckvn@gmail.com](mailto:minhthuan.tckvn@gmail.com)

**3. Tại Thái Nguyên:**

- GS,TS. **Vũ Ngọc Pi**  
Số 234 Phú Xá, TP. Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên  
**Điện thoại:** 0974 905 578  
**Email:** [vungocpi@tnut.edu.vn](mailto:vungocpi@tnut.edu.vn)

**Phòng viên thường trú:**

**1. Tại Hải Phòng:**

- Lê Thế Hiệp  
**Điện thoại:** 0913 063 747  
**Email:** [daidientck@gmail.com](mailto:daidientck@gmail.com)

**NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (6 – 195)**

<b>1. Trương An Quốc, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến:</b> Nghiên cứu tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt part 1 – Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7568-5: 2013.....	6
<b>2. Trương An Quốc, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến:</b> Nghiên cứu tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt part 2 – Đề xuất giải pháp kiểm định tự động đầu báo nhiệt.....	16
<b>3. Nguyễn Ngọc Hưng, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến:</b> Nghiên cứu giải pháp tự động hóa kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy, Phần I. Tiêu chuẩn kiểm định TCVN 5739: 1993.....	22
<b>4. Nguyễn Ngọc Hưng, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến:</b> Nghiên cứu giải pháp tự động hóa kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy, Phần II. Đề xuất giải pháp kiểm định tự động.....	30
<b>5. Nguyễn Trần Đăng Khoa, Nguyễn Tấn Tiến:</b> Nghiên cứu khảo sát đặc trưng động học và động lực học một số cơ cấu máy cưa lộng.....	35
<b>6. Lê Thượng Hiền, Tô Ngọc Thiện, Lê Hà An, Hoàng Văn Lực:</b> Xu thế của ô tô không sử dụng nhiên liệu truyền thống.....	42
<b>7. Lê Thượng Hiền, Tô Ngọc Thiện, Lê Hà An, Hoàng Văn Lực:</b> Thiết kế băng tải tự động dùng vít me.....	51
<b>8. Bùi Quốc Huy, Vũ Văn An, Trần Bá Tuyên:</b> Giải pháp giảm nhiệt độ dầu hộp số tải và buồng máy cho cầu trục chân đế tại kho cảng Bắc Vân Phong.....	55
<b>9. Ngô Xuân Khoát, Lưu Hoàng Minh, Ngô Mạnh Dũng:</b> Hoạch định quỹ đạo cho robot UP6 tránh vật cản theo giải thuật probabilistic roadmap có xem xét độ uyển chuyển của các góc khớp.....	60
<b>10. Hoàng Đức Quân:</b> Nghiên cứu gia công bánh răng không tròn bằng phương pháp cắt dây.....	70
<b>11. Ngô Xuân Sơn, Lê Thái Sơn, Lưu Thủy Chung, Mai Tất Lợi:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến tốc độ bóc vật liệu và chất lượng bề mặt khi mài điện hóa thép SKD11 bằng đá mài kim cương.....	75
<b>12. Huỳnh Hữu Nghị, Đinh Thành Luân, Bùi Trọng Hiếu:</b> Ứng dụng ann để dự đoán độ chính xác kích thước của mẫu đúc được chế tạo bằng công nghệ in 3D LCD.....	79
<b>13. Đỗ Duy Hà:</b> Xây dựng mô hình và khảo sát diễn biến áp suất, nhiệt độ và quy luật tỏa nhiệt của động cơ xăng bổ sung nhiên liệu ethanol.....	86
<b>14. Nguyễn Thị Ngọc Huyền, Lê Đức Bảo, KS. Hoàng Tuấn Anh:</b> Mô hình thực nghiệm mòn cặp ma sát trục – bạc trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện công nghiệp.....	89
<b>15. Đoàn Kim Bình, Bùi Minh Hoàng:</b> Tối ưu hóa cấu trúc của máy in 3D FDM dựa trên phương pháp phân tích phần tử hữu hạn.....	95
<b>16. Nguyễn Minh Triều, Đặng Trí Dũng, Nguyễn Trường Thịnh:</b> Điều khiển hệ thống múa rối nước tự động từ xa.....	102
<b>17. TS. Nguyễn Quang Lượng, TS. Nguyễn Nam Quý, TS. Lê Hữu Ban:</b> Một phương pháp tính toán khối lượng liêu thuốc môi.....	109

18. <b>Nguyễn Văn Thành, Nguyễn Hồng Nhung, Thái Hoàng Tuyết Nhi, Nguyễn Viết Tịnh, Tổng Chí Thông:</b> Xác định phương án năng lượng tái tạo cỡ nhỏ cho hộ gia đình bằng phương pháp tích hợp ra quyết định đa tiêu chí.....	113
19. ThS. <b>Kiều Duy Thanh, ThS. Mai Văn An, ThS. Tạ Bá Dũng:</b> Nghiên cứu tính toán động lực học súng phóng lựu liên thanh SPL-30.....	119
20. ThS. <b>Đậu Tấn Cường, ThS. Ngô Ngọc Sơn:</b> Ảnh hưởng của thông số chế độ cắt tới độ nhám bề mặt chi tiết khi mài thép C45 đã qua nhiệt luyện trên máy mài tròn G20 x 750.....	123
21. <b>Mai Quốc Trưởng, Nguyễn Ngọc Hưng, Nguyễn Việt Anh:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của các điều kiện hàn nỏ đến độ bền liên kết nhôm với thép.....	129
22. <b>Nguyễn Văn Thành, Nguyễn Hồng Nhung, Nguyễn Văn Thuận, Thái Hoàng Tuyết Nhi, Nguyễn Viết Tịnh:</b> Kỹ thuật dự báo và ứng dụng trong phân bổ nhân lực trong lĩnh vực sức khỏe.....	135
23. TS. <b>Hoàng Văn Thành:</b> Giới thiệu một số ứng dụng composite trong lĩnh vực cơ khí ô tô	141
24. <b>Lê Đức Hạnh, Lê Đức Đạo:</b> Ứng dụng thị giác máy tính cho tay máy lắp ráp vật di chuyển trên băng chuyền.....	145
25. <b>Trần Công Thức, Trần Danh Vũ, Tạ Thị Yến, Trần Thị Hồng Anh, Vũ Đình Doanh, Trần Thị Thu Hương, Nguyễn Thị Sinh:</b> Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy đánh bóng gỗ sáu trục sử dụng công nghệ nhám chổi.....	152
26. ThS. <b>Đậu Tấn Cường, ThS. Trần Văn Giang, ThS. Nguyễn Chương Đạo:</b> Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt (S và V) tới độ nhám bề mặt của chi tiết gia công trên máy tiện CNC Emco Turn e65 với vật liệu thép C45.....	157
27. <b>Nguyễn Thanh Hào:</b> Nghiên cứu thực nghiệm quá trình cháy nhiên liệu dầu do trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa với hệ số xoáy $S = 0,6$ .....	163
28. <b>Lương Hải Chung, Trương Hoàng Sơn, Nguyễn Kiên Trung, Trần Văn Hường, Nguyễn Khắc Chinh:</b> Tìm hiểu công nghệ mài khi mài hợp kim titan bằng đá mài CBN....	169
29. <b>Nguyễn Quang Trung, Nguyễn Sĩ Đình, Trần Thành Lam:</b> Nghiên cứu độ bền liên kết giữa thùng xe với khung sắt xi xe cơ sở khi cải tạo thành ô tô chuyên dùng.....	176
30. <b>Nguyễn Lan Phương, Phạm Thị Mai Anh:</b> Đánh giá độ chính xác của một đồng hồ khí kiểu màng.....	183
31. <b>Nguyen Hoang Giang, Tong Duc Nang, Le Hong Chuong:</b> Design of an integrated cam mechanisms with real-time display system.....	189

#### **DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (196-200)**

-Nỗ lực thi công đưa Dự án Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và 4 về đích đúng tiến độ.....	196
---	-----



**DANH SÁCH**  
**NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẦN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO**  
**KHOA HỌC ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI**  
**TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 311+312, THÁNG 1+2 NĂM 2024**

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	TS. Vũ Trung Tuyển	Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương
2	TS. Nguyễn Duy Phồn	Học viện Kỹ thuật Quân sự
3	TS. Nguyễn Thanh Điền	
4	TS. Tô Viết Thành	
5	TS. Đoàn Tất Khoa	
6	PGS,TS. Phan Nguyễn Kỳ Phúc	Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
7	TS. Huỳnh Hữu Nghị	Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
8	TS. Nguyễn Thanh Trương	
9	TS. Trần Ngọc Huy	
10	PGS,TS. Lê Thanh Danh	Trường Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh
11	TS. Lê Ngọc Trân	Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh
12	PGS,TS. Võ Tường Quân	Trung tâm nghiên cứu thiết bị và Công nghệ cơ khí Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
13	TS. Nguyễn Đức Thông	Trường Đại học Đồng Tháp
14	PGS,TS. Đỗ Như Ý	Trường Đại học Mở - Địa chất
15	TS. Phạm Thị Thủy	
16	TS. Đậu Trí Dũng	Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghiệp Việt Nam – Hàn Quốc
17	TS. Nguyễn Thanh Bình	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh
18	TS. Nguyễn Chung	
19	PGS,TS. Phan Văn Hiếu	Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội
20	PGS,TS. Bùi Tuấn Anh	
21	TS. Nguyễn Anh Ngọc	Trường Đại học Giao thông Vận tải
22	PGS,TS. Tạ Duy Hiền	
23	PGS,TS. Nguyễn Hùng	Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh
24	TS. Nguyễn Huy Hùng	Trường Đại học Sài Gòn
25	PGS,TS. Hà Minh Hùng	Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ Tiên tiến
26	TS. Nguyễn Văn Tuấn	Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải
27	TS. Hồ Triết Hưng	Công ty TNHH Cơ khí Chế tạo Đăng Khoa

# NGHIÊN CỨU TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH ĐẦU BÁO NHIỆT

## Part 1 – NGHIÊN CỨU TIÊU CHÍ KIỂM ĐỊNH

### THEO TCVN 7568-5: 2013

STUDY ON AUTOMATION OF HEAT DETECTOR TESTING SYSTEM  
Part 1 – STUDY ON ASSESSMENT CRITERIA OF TCVN 7568-5:2013

**Trương An Quốc<sup>1,3</sup>, Phan Hoàng Long<sup>1,2,3</sup>, Dương Văn Tú<sup>1,2,3</sup>,  
Nguyễn Huy Hùng<sup>4</sup>, Nguyễn Tấn Tiến<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>4</sup>Trường Đại học Sài Gòn

#### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày nghiên cứu đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định đầu báo nhiệt trong công tác kiểm định phòng cháy chữa cháy. Nghiên cứu gồm hai phần: Phần 1 trình bày nghiên cứu các tiêu chí kiểm nghiệm đầu báo nhiệt làm cơ sở cho việc đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm nghiệm trong Phần 2. Bài báo tập trung việc lượng hóa các tiêu chí kiểm nghiệm đầu báo nhiệt theo TCVN 7568-5:2013 và các tiêu chuẩn liên quan. Bài báo này trình bày Phần 1 – Nghiên cứu các tiêu chí kiểm nghiệm đầu báo nhiệt theo TCVN 7568-5:2013.*

**Từ khóa:** Đầu báo nhiệt; Kiểm định; Tự động hóa; Phòng cháy chữa cháy (PCCC).

#### ABSTRACT

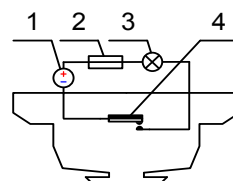
*The paper introduces the study on automation of point-type heat detector testing system. The paper includes two part: Part 1 studies the criteria for point-type heat detector testing; and Part 2 propose solutions for automating the inspection process for point-type heat detector. This paper, Part 1, study the criteria TCVN 7568-5:2013 and related standards to give the base for the automation solution.*

**Keywords:** Point-type heat detector; Testing equipment; Automation; Fire protection.

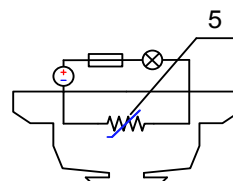
## 1. TỔNG QUAN

Việc tự động hóa quy trình kiểm định đối với các thiết bị giúp nâng cao hiệu quả của công tác kiểm định thiết bị. Hiện nay, tự động hóa quy trình kiểm định thiết bị chưa được quan tâm đúng mức. Trước tình hình này, DCSELab-Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống đã xem việc tự động hóa quy trình kiểm định các thiết bị PCCC là một trong các ưu tiên nghiên cứu tại Lab. Một số giải pháp đã được triển khai và ứng dụng trong thực tế như: Tự động hóa lò đốt kiểm định vật liệu chống cháy [4], [7], [8], [9]; Thiết kế hệ thống kiểm định vòi chữa cháy [3],... Ngoài ra, DCSELab đang tiến hành thiết kế và thực nghiệm một số hệ thống như: Thiết kế robot kiểm định bình chữa cháy [5], [6],... Để tự động hóa quy trình kiểm nghiệm đầu báo nhiệt, trước hết, các bước của phép thử trong QCVN 03:2021/BCA và TCVN 7568-5:2013 (gồm 15 tiêu chí) phải được lượng hóa. Tiếp theo, các bước trong các tiêu chí được sắp xếp theo trình tự phù hợp cho việc tự động hóa kiểm định. Sau đó, đề xuất phương án kết hợp các tiêu chí theo nhóm chức năng liên quan, phù hợp cho việc thiết kế máy. Cuối cùng, dựa vào các nhóm tiêu chí đã kết hợp, thiết kế, chế tạo máy kiểm định. Bài báo này trình bày tổng quan về đầu báo nhiệt và lượng hóa các tiêu chí kiểm nghiệm đầu báo nhiệt theo TCVN 7568-5:2013.

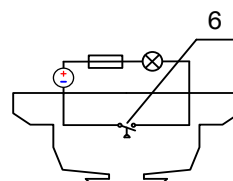
Đầu báo nhiệt là một loại thiết bị cảnh báo cháy, có khả năng phát hiện nhiệt độ khác thường và/hoặc sự thay đổi nhiệt độ môi trường, phát tín hiệu cảnh báo khi đạt đến ngưỡng nhất định.



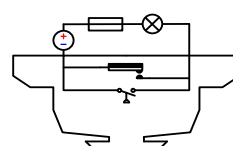
a) Đầu báo nhiệt cố định sử dụng thanh lưỡng kim



b) Đầu báo nhiệt sử dụng nhiệt điện trở



c) Đầu báo nhiệt gia tăng sử dụng nguyên lý công tắc áp suất



d) Đầu báo nhiệt kết hợp sử dụng thanh lưỡng kim và công tắc áp suất

Hình 1. Sơ đồ nguyên lý đầu báo nhiệt:

1. Nguồn DC, 2. Cầu chì, 3. Đèn báo hiệu,
4. Thanh lưỡng kim, 5. Điện trở nhiệt,
6. Công tắc áp suất

Đầu báo nhiệt được phân loại theo:

1) Nguyên lý hoạt động: Đầu báo cố định (cảnh báo tại nhiệt độ không khí cố định), đầu báo gia tăng (cảnh báo khi tốc độ tăng nhiệt vượt ngưỡng báo động) và đầu báo kết hợp (kết hợp cả hai nguyên lý);

2) Phần tử cảm ứng nhiệt: Loại cơ khí

(thanh lưỡng kim, công tắc áp suất,...) và loại điện tử (nhiệt điện trở và mạch nhạy cảm nhiệt);

3) Nhiệt độ hoạt động: 8 cấp tương ứng với nhiệt độ môi trường sử dụng [1].

*Bảng 1. Phân loại đầu báo nhiệt theo nhiệt độ sử dụng*

Cấp đầu báo nhiệt	Nhiệt độ sử dụng điển hình, °C	Nhiệt độ sử dụng lớn nhất, °C	Nhiệt độ nhạy cảm tính nhỏ nhất, °C	Nhiệt độ nhạy cảm tính lớn nhất, °C
A1	25	50	54	65
A2	25	50	54	70
B	40	65	69	85
C	55	80	84	100
D	70	95	99	115
E	85	110	114	130
F	100	125	129	145
G	115	140	144	160

## 2. TIÊU CHUẨN KIỂM ĐỊNH ĐẦU BÁO NHIỆT

TCVN 7568:5-2013 quy định về môi trường thử nghiệm trong Bảng 2.

*Bảng 2. Quy định về điều kiện khí quyển cho thử nghiệm*

Nhiệt độ	15 – 30 °C
Độ ẩm tương đối	25 – 75 %
Áp suất không khí	86 – 106 kPa

QCVN 03: 2021/BCA [2] đưa ra 15 yêu cầu và phương pháp thử đối với đầu báo nhiệt dựa theo TCVN 7568-5: 2013.

### 2.1. Sự phụ thuộc hướng

*Yêu cầu:*

Thời gian nhạy cảm của mẫu thử ở cả 08 hướng kiểm nghiệm phải nằm trong giới hạn cho phép (Bảng 3).

*Bảng 3. Các giới hạn dưới và giới hạn trên của thời gian nhạy cảm*

Tốc độ tăng nhiệt độ không khí, °C/min	Đầu báo nhiệt cấp A1				Đầu báo nhiệt các cấp còn lại			
	Giới hạn dưới		Giới hạn trên		Giới hạn dưới		Giới hạn trên	
	min	s	min	s	min	s	min	s
1	29	00	40	20	29	00	46	00
3	7	13	13	40	7	13	16	00
5	4	09	8	20	4	09	10	00
10	1	00	4	20	2	00	5	30
20	-	30	2	20	1	00	3	13
30	-	20	1	40	-	40	2	25



Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử ở nhiệt độ sử dụng  $T_{nor}$  tương ứng với cấp của mẫu thử. Tốc độ tăng nhiệt  $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Bước 3: Tăng nhiệt độ không khí  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  đến khi mẫu thử đáp ứng.

Bước 4: Ghi lại thời gian nhạy cảm của mẫu thử tại hướng được thử nghiệm.

Bước 5: Xoay mẫu thử  $45^\circ$  theo chiều dương. Lặp lại quy trình từ Bước 2 đến Bước 4 ở 08 hướng khác nhau.

Bước 6: Ghi thời gian nhạy cảm theo mỗi hướng, hướng có thời gian nhạy cảm lớn nhất và nhỏ nhất đã được đo.

## 2.2. Nhiệt độ nhạy cảm tĩnh

Yêu cầu:

Nhiệt độ nhạy cảm tĩnh của mẫu thử nằm trong giới hạn cho phép (Bảng 1).

Quy trình:

Bước 1: Lắp 2 mẫu thử vào máy.

Bước 2: Xoay một mẫu thử để dòng khí tác động vào hướng nhạy cảm nhanh nhất, mẫu kia ở hướng nhạy cảm chậm nhất.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử ở nhiệt độ  $T_{nor}$ . Tốc độ tăng nhiệt  $1 \div 3^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Bước 4: Tăng nhiệt độ không khí  $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min}$  đến khi đạt  $T_{max}$  tương ứng với cấp mẫu thử.

Bước 5: Tăng nhiệt độ không khí  $\leq 0,2^\circ\text{C}/\text{min}$  đến khi mẫu thử đáp ứng. Ghi lại nhiệt độ khiến mẫu thử đáp ứng.

## 2.3. Thời gian nhạy cảm ở nhiệt độ sử dụng điển hình

Yêu cầu:

Thời gian nhạy cảm của các mẫu thử nằm trong giới hạn cho phép (Bảng 3).

Quy trình:

Bước 1: Lắp 2 mẫu thử vào máy.

Bước 2: Định hướng và ổn định hóa các mẫu thử tương tự Bước 2 và 3, mục 2.2.

Bước 3: Thử nghiệm với tốc độ tăng nhiệt lần lượt là: 1, 3, 5, 10, 20, và  $30^\circ\text{C}/\text{min}$ . Lặp lại Bước 2 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt.

Bước 4: Ghi lại thời gian nhạy cảm của từng mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt.

## 2.4. Thời gian nhạy cảm ở $25^\circ\text{C}$

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.3.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Xoay mẫu thử để dòng khí tác động vào hướng nhạy cảm nhanh nhất.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử ở  $25^\circ\text{C}$ . 

Bước 4: Thử nghiệm với tốc độ tăng nhiệt 3 và 20°C/min. Lắp lại Bước 3 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt trong buồng thử.

Bước 5: Ghi lại thời gian nhảy cảm của mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt.

## 2.5. Thời gian nhảy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng, khô (vận hành)

Yêu cầu:

Mẫu thử không báo động. Thời gian nhảy cảm phải trong giới hạn (Bảng 4).

Bảng 4. Các giới hạn dưới và giới hạn trên về thời gian nhảy cảm từ nhiệt độ sử dụng lớn nhất

Cấp đầu báo nhiệt	3°C/min		20°C/min	
	min	s	min	s
<b>Các giới hạn dưới của thời gian nhảy cảm</b>				
A1	1	20	0	12
Các cấp khác	1	20	0	12
<b>Các giới hạn trên của thời gian nhảy cảm</b>				
A1	13	40	2	20
Các cấp khác	16	00	3	13

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Định hướng mẫu thử tương tự như Bước 2, mục 2.4.

Bước 3: Tăng nhiệt độ không khí  $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min}$  đến khi đạt giá trị  $T_{\text{max}}$ . Phơi mẫu thử trong 2 giờ ở nhiệt độ này.

Bước 4: Thử nghiệm tương tự với Bước 4, mục 2.4. Thực hiện lại Bước 3 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt.

Bước 5: Ghi lại thời gian nhảy cảm của mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt.

## 2.6. Thời gian nhảy cảm sau các biến đổi trong điện áp nguồn cấp

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.3.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Xoay mẫu thử để dòng khí tác động vào hướng nhảy cảm chậm nhất.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử ở  $T_{\text{nor}}$ . Tốc độ tăng nhiệt không khí  $1 \div 3^\circ\text{C}/\text{min}$ , nhằm rút ngắn tối đa thời gian thử.

Bước 4: Cấp cho mẫu thử giá trị giới hạn trên của điện áp nguồn cấp.

Bước 5: Thử nghiệm tương tự với Bước 4, mục 2.4. Thực hiện lại Bước 3 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt.

Bước 6: Ghi lại thời gian nhảy cảm của mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt, tương ứng với mức điện áp được cấp.

Bước 7: Cấp cho mẫu thử giá trị giới hạn dưới của điện áp nguồn cấp, sau đó lắp lại Bước 5 và Bước 6.

## 2.7. Khả năng tái lập (sau các thử nghiệm môi trường khác nhiệt)

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng được yêu cầu tương tự như yêu cầu của mục 2.3.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Định hướng mẫu thử tương tự như Bước 2, mục 2.6.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử tương tự như Bước 2, mục 2.1.

Bước 4: Thử nghiệm tương tự với Bước 4, mục 2.4. Thực hiện lại Bước 3 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt.

Bước 5: Ghi lại thời gian nhảy cảm của mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt.

## 2.8. Thời gian nhảy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng, khô (bền lâu)

Yêu cầu:

Mẫu thử không phát ra tín hiệu báo động khi vừa được cấp điện lại. Với các đầu báo nhiệt phục hồi được, nếu có thay đổi về thời gian nhảy cảm (so với lần đầu thực hiện mục thử nghiệm 2.7), thì sự thay đổi ở từng tốc độ tăng nhiệt:

+ 3°C/min: < 2,40min.

+ 20°C/min: < 30s.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy và không cấp điện cho mẫu thử.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử trong 21 ngày theo nhiệt độ quy định ở Bảng 5.

Bước 3: Phục hồi mẫu thử về môi trường tiêu chuẩn, thực hiện mục 2.7.

Bảng 5. Các nhiệt độ ổn định hóa nóng khô

Cấp đầu báo nhiệt	C	D	E	F	G
Nhiệt độ ổn định hóa, °C	80 ±2	95 ±2	110 ±2	125 ±2	140 ±2

## 2.9. Thời gian nhảy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng ẩm, có chu kỳ

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.8.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử trong 2 chu kỳ\* (Bảng 6). Giám sát mẫu thử để phát hiện tín hiệu báo động.

Bước 3: Phục hồi mẫu thử về điều kiện tiêu chuẩn trong 1 ÷ 2 giờ, thực hiện mục thử nghiệm 2.7.

(\*) Chu kỳ: Tương đương 12 giờ, được quy định cụ thể trong tiêu chuẩn IEC 60068-2-30 hoặc TCVN 7699-2-30.

Bảng 6. Các thông số cho thử nghiệm vận hành trong môi trường nóng ẩm

Nhiệt độ giới hạn		Độ ẩm tương đối ở nhiệt độ giới hạn	
Trên, °C	Dưới, °C	Dưới, %	Trên, %
25 ±3	40 ±3	≥ 95	93 ±3



2.10. Chịu ăn mòn SO<sub>2</sub> (bền lâu)

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.8.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy và không cấp điện cho mẫu thử.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử trong 21 ngày (Bảng 7).

Bước 3: Cấp điện lại cho mẫu thử, sấy khô mẫu thử trong 16 giờ (Bảng 8).

Bước 4: Phục hồi mẫu thử về điều kiện tiêu chuẩn trong 1 ÷ 2 giờ. Thực hiện mục thử nghiệm 2.7.

Bảng 7. Các giá trị ổn định hóa cho thử nghiệm ăn mòn SO<sub>2</sub>

Nhiệt độ, °C	80 ±
Độ ẩm tương đối, %	93 ±3
Nồng độ SO <sub>2</sub> , µg/l	25 ±5

Bảng 8. Các giá trị của môi trường sấy sau thử nghiệm ăn mòn SO<sub>2</sub>

Nhiệt độ, °C	40 ±2
Độ ẩm tương đối, %	≤ 50

2.11. Chịu va chạm (sốc) (vận hành)

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.8.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử (thông số trong Bảng 9). Giám sát mẫu thử trong thời gian ổn định hóa và 2min bổ sung thêm để phát hiện tín hiệu báo động.

Bước 3: Thực hiện mục thử nghiệm 2.7.

Bảng 9. Các giá trị ổn định hóa cho thử nghiệm va chạm

Kiểu xung đột va chạm	Thời gian xung đột, ms	Công thức xác định gia tốc đỉnh, m/s <sup>2</sup>	Số lượng xung xung	Các xung trên một hướng
1/2 hình sin	6	200× (5 – M*)	6	3

(\*) M: Khối lượng của mẫu thử (đơn vị kg).

2.12. Chịu va đập (vận hành)

Thiết bị:

Búa thử theo TCVN 7568-5:2013.

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.8.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Xoay mẫu thử sao cho đầu búa đập vào vị trí làm suy giảm tối đa hoạt động của mẫu thử.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử (Bảng 10). Giám sát mẫu thử trong thời gian ổn định hóa và 2min bổ sung để phát hiện tín hiệu báo động.



Bước 4: Thực hiện mục thử nghiệm 2.7.

*Bảng 10. Các thông số ổn định hóa cho bài thử nghiệm va đập*

<b>Năng lượng va đập, J</b>	1,9 ±0,1
<b>Tốc độ của đầu búa, m/s</b>	1,5 ±0,13
<b>Số lượng va đập</b>	1

### 2.13. Chụm rung hình sin (vận hành)

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng theo mục 2.8.

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Ổn định hóa mẫu thử (Bảng 11). Tác động rung lần lượt vào 3 trục vuông góc với nhau. Trục gốc được xác định là trục vuông góc với mặt phẳng lắp đặt mẫu thử.

Bước 3: Giám sát mẫu thử để phát hiện tín hiệu báo động. Thực hiện mục thử nghiệm 2.7.

*Bảng 11. Các thông số quy định cho thử nghiệm rung hình sin*

<b>Dải tần số, Hz</b>	<b>Biên độ gia tốc, m/s<sup>2</sup></b>	<b>Tốc độ quét, octa/min</b>	<b>Số chu kỳ, chu kỳ/trục</b>
10 ÷ 150	5	1	1

### 2.14. Thử nghiệm bổ sung cho các đầu báo nhiệt có ký hiệu S

Yêu cầu:

Mẫu thử không phát tín hiệu báo động khi chuyển môi trường, hoặc trong 10 min được phơi trong dòng không khí. Thời gian nhạy cảm của mẫu thử trong 2.1, 2.3, 2.5 và 2.6 không được thấp hơn giá trị quy định trong Bảng 12.

*Bảng 12. Giới hạn dưới của thời gian nhạy cảm đối với các đầu báo nhiệt có ký hiệu S*

<b>Tốc độ tăng nhiệt không khí, °C/min</b>	<b>Giới hạn dưới của thời gian nhạy cảm</b>	
	min	s
3	9	40
5	5	48
10	2	54
20	1	27
30	-	58

Quy trình:

Bước 1: Lắp mẫu thử vào máy.

Bước 2: Định hướng mẫu thử tương tự như Bước 2, mục 2.4.

Bước 3: Ổn định hóa mẫu thử (Bảng 13).

Bước 4: Trong ≤ 10s, chuyển mẫu thử vào dòng không khí có nhiệt độ (Bảng 13). Phơi mẫu thử trong dòng không khí này tối thiểu 10min.

Bước 5: Ghi lại phản ứng của mẫu thử trong toàn bộ quá trình.



*Bảng 13. Các thông số môi trường cho thử nghiệm các đầu báo nhiệt có ký hiệu S*

Cấp đầu báo nhiệt	Nhiệt độ ổn định hóa, °C	Nhiệt độ dòng không khí, °C
A1S, A2S	5 ±2	50 ±2
BS	20 ±2	65 ±2
CS	35 ±2	80 ±2
DS	50 ±2	95 ±2
ES	65 ±2	110 ±2
FS	80 ±2	125 ±2
GS	95 ±2	140 ±2

## 2.15. Thử nghiệm bổ sung cho các đầu báo nhiệt có ký hiệu R

Yêu cầu:

Mẫu thử phải đáp ứng được yêu cầu tương tự như yêu cầu của mục 2.3.

Quy trình:

Bước 1: Lắp 2 mẫu thử vào máy.

Bước 2: Định hướng 2 mẫu thử tương tự với Bước 2, mục 2.2.

Bước 3: Tăng/hạ nhiệt 1°C/min đến nhiệt độ như quy định trong Bảng 14.

Bước 4: Thử nghiệm với tốc độ tăng nhiệt lần lượt là: 10, 20 và 30°C/min. Lắp lại Bước 3 trước khi thay đổi tốc độ tăng nhiệt trong buồng thử.

Bước 5: Ghi lại thời gian nhạy cảm của các mẫu thử ở mỗi tốc độ tăng nhiệt.

*Bảng 14. Nhiệt độ ổn định hóa ban đầu đối với các đầu báo nhiệt có ký hiệu R*

Cấp đầu báo nhiệt	Nhiệt độ ổn định hóa, °C
A1R, A2R	5 ±2
BR	20 ±2
CR	35 ±2
DR	50 ±2
ER	65 ±2
FR	80 ±2
GR	95 ±2

## 3. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày tổng quan về đầu báo nhiệt và lượng hóa các tiêu chí kiểm định đầu báo nhiệt tuân theo TCVN 7568-5:2013. Đây là cơ sở để xây dựng lưu đồ giải thuật cho từng bài kiểm định và đề xuất hợp nhất các cụm thiết bị, và sau đó tự động hóa quy trình kiểm định. Nội dung tiếp theo sẽ được trình bày ở bài báo kế tiếp.

**Lời cảm ơn:**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **03/11/2023**

Ngày phản biện: **10/11/2023**

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. TCVN 7568-5: 2013, *Hệ thống báo cháy – Phần 5: Đầu báo nhiệt kiểu điểm*.
- [2]. QCVN 03: 2021/BCA, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phương tiện phòng cháy và chữa cháy*.
- [3]. Phan Hoang Long et. al., *Design and Implementation of Automation Testing Device for Fire Fighting Hoses*, Vietnam Mechanical Eng. Journal, Vol.11, pp.69-77, 2020.
- [4]. Quoc Bao Nguyen et. al., *Design and Calibration of Multi-Channel Thermocouple Signal Converter*, The 2023 Int'l Symposium on Electrical and Electronics Eng. (ISEE 2023), Hochiminh City, October 19-20, 2023 - to appear soon.
- [5]. Xuan Quang Ngo et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part I: Key Specifications and Conceptual Design*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conf. on Advanced Eng. - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.1-10, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [6]. Thai Nguyen Chau et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part II: Design and Simulation*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conf. on Advanced Eng. - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.11-20, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [7]. Ho Hai Dang et. al., *Application of Multi-PID Controllers for Fire Resistance Testing Furnace*, The 2023 Int'l Symposium on Advanced Eng. (ISAE2023), pp.21-28, Hochiminh City, Vietnam, Feb. 2023.
- [8]. Huy Hung Nguyen et. al., *Model Identification of Gas-Fired Industrial Furnace*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conf. on Advanced Eng. - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.42-51, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [9]. Nguyen Tan Tien et. al., *Temperature Control of Gas Furnace with Time Delay*, Vietnam Mechanical Eng. Journal, Vol.295, pp.207-213, 2022.

## NGHIÊN CỨU TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH ĐẦU BÁO NHIỆT Part 2 – ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KIỂM ĐỊNH TỰ ĐỘNG ĐẦU BÁO NHIỆT

STUDY ON AUTOMATION OF HEAT DETECTOR TESTING SYSTEM  
Part 2 - PROPOSED SOLUTION OF AUTO HEAT DETECTOR TESTING

Trương An Quốc<sup>1,3</sup>, Phan Hoàng Long<sup>1,2,3</sup>, Dương Văn Tú<sup>1,2,3</sup>,  
Nguyễn Huy Hùng<sup>4</sup>, Nguyễn Tấn Tiến<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>4</sup>Trường Đại học Sài Gòn

### TÓM TẮT

*Để có thể lưu hành trên thị trường, đầu báo nhiệt phải được kiểm định theo quy định. Nghiên cứu đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định giúp giảm sai sót và nâng cao hiệu quả kiểm định. Trong phần 1, các tiêu chí kiểm nghiệm đầu báo nhiệt đã được nghiên cứu. Trên cơ sở này, bài báo xây dựng lưu đồ biểu diễn quy trình các phép thử, đề xuất phương án kết hợp các tiêu chí theo nhóm chức năng liên quan, phù hợp cho bài toán tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt.*

**Từ khóa:** Đầu báo nhiệt; Kiểm định; Tự động hóa; Phòng cháy chữa cháy (PCCC).

### ABSTRACT

*Point-type heat detector must be thoroughly tested by regulations before being made available on the market. To make the inspection process more efficient, it is worth researching and proposing automation solutions. This article focuses on the criteria for testing point-type heat detector and suggest ways to automate the process. In part 1, we studied the criteria for testing point-type heat detector. On this basis, the article presents flowcharts of the test process and proposes a solution to combine the criteria, suitable for point-type heat detector automated testing.*

**Keywords:** Point-type heat detector; Testing equipment; Automation; Fire protection.

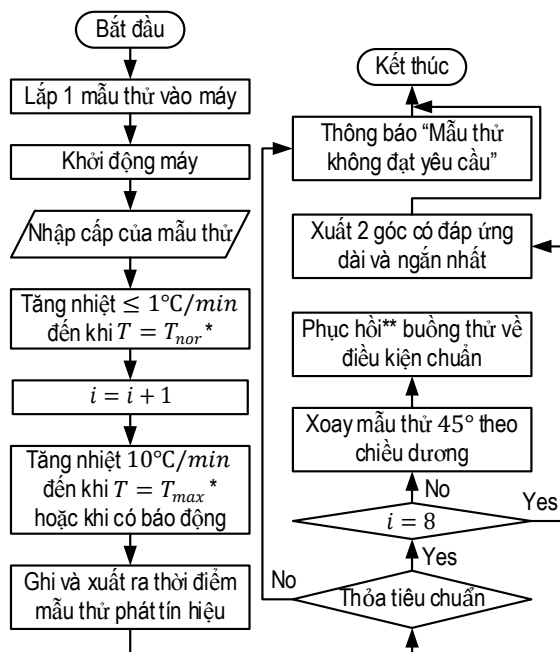


## 1. TỔNG QUAN

Trong phần 1, nhóm nghiên cứu đã trình bày tổng quan về đầu báo nhiệt và lượng hóa các bước của các tiêu chí kiểm định đầu báo nhiệt theo TCVN 7568-5:2013. Trên cơ sở này, bài báo xây dựng các lưu đồ biểu diễn quy trình các phép thử theo TCVN 7568-5:2013. Từ các điểm chung của các tiêu chí, bài báo đề xuất giải pháp kết hợp các tiêu chí thành các nhóm tiêu chí theo các chức năng liên quan, phù hợp bài toán tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt.

## 2. QUY TRÌNH KIỂM NGHIỆM

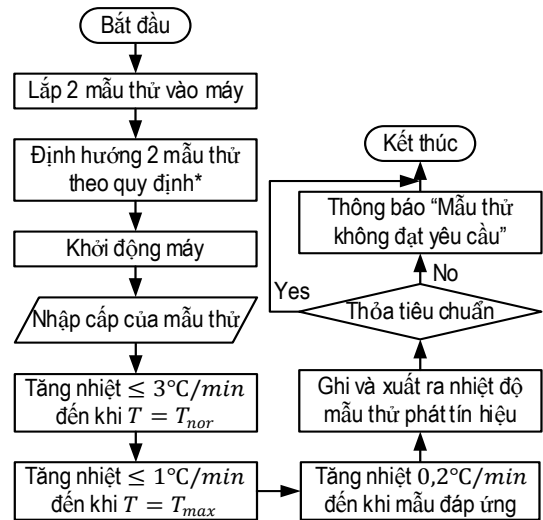
### 2.1. Sự phụ thuộc hướng



(\*)  $T_{max}$ ,  $T_{nor}$ : Nhiệt độ sử dụng lớn nhất và nhiệt độ sử dụng điển hình, số liệu được nêu trong Bảng 2 [10].

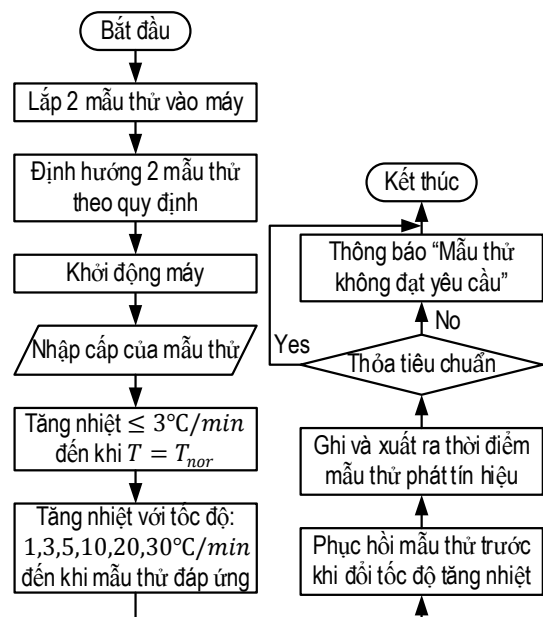
(\*\*) Phục hồi: Đưa mẫu thử về môi trường thử nghiệm tiêu chuẩn, thông số môi trường được nêu trong Bảng 1 [10].

### 2.2. Nhiệt độ nhạy cảm tĩnh

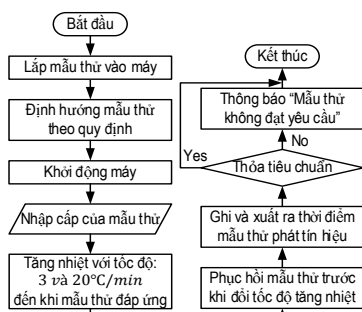


(\*) Định hướng mẫu thử theo quy định ở mục thử nghiệm tương ứng [10].

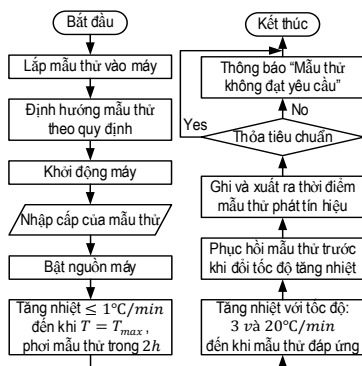
### 2.3. Thời gian nhạy cảm sau ổn định hóa ở nhiệt độ sử dụng điển hình



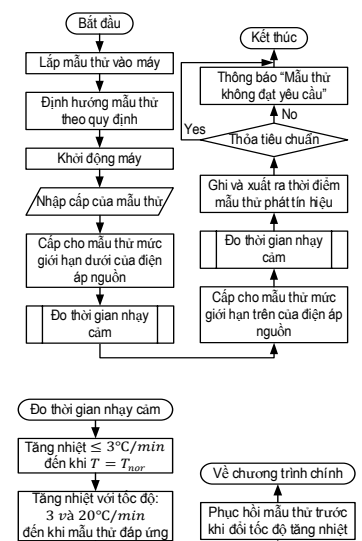
## 2.4. Thời gian nhạy cảm ở 25°C



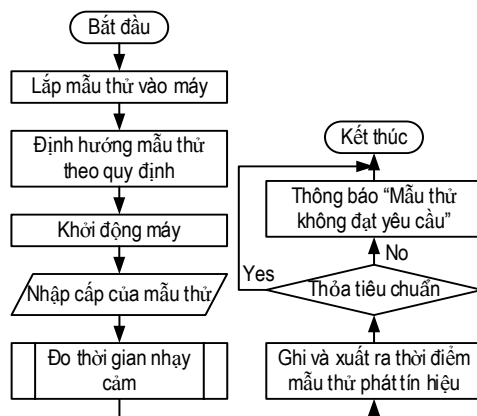
## 2.5. Thời gian nhạy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng, khô (vận hành)



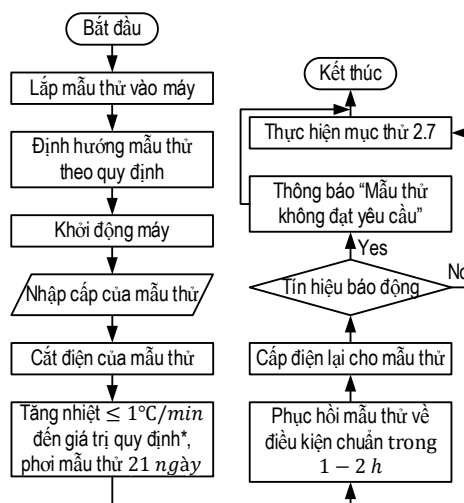
## 2.6. Thời gian nhạy cảm sau các biến đổi trong điện áp nguồn cấp



## 2.7. Khả năng tái lập (sau các thử nghiệm môi trường khác nghiệt)

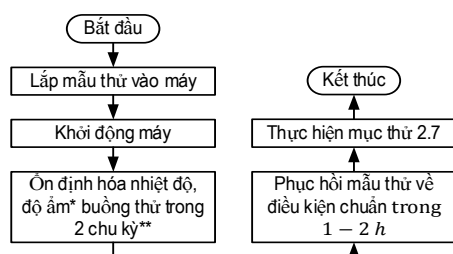


## 2.8. Thời gian nhạy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng khô (bền lâu)



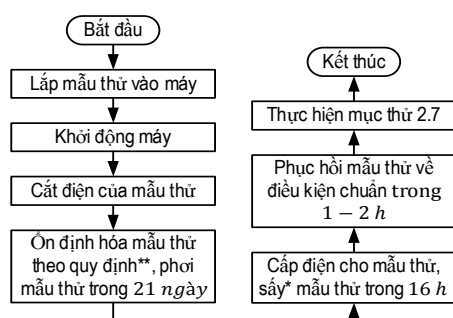
(\*) Giá trị quy định: Các số liệu về môi trường thử nghiệm được nêu trong Bảng 5 [10].

## 2.9. Thời gian nhạy cảm sau ổn định hóa ở môi trường nóng ẩm, có chu kỳ



(\*) Ổn định hóa nhiệt độ, độ ẩm theo thông số được nêu trong Bảng 6 [10].

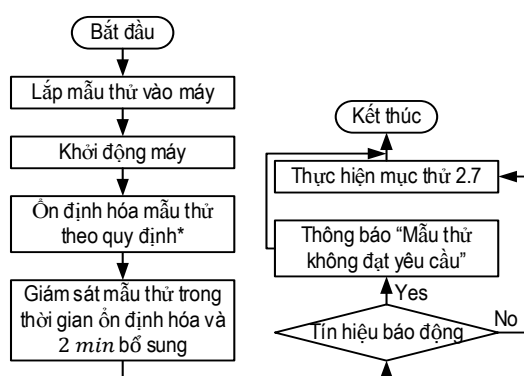
## 2.10. Chịu ăn mòn SO<sub>2</sub> (bền lâu)



(\*) Sấy: Các thông số cho môi trường sấy được nêu trong Bảng 8 [10].

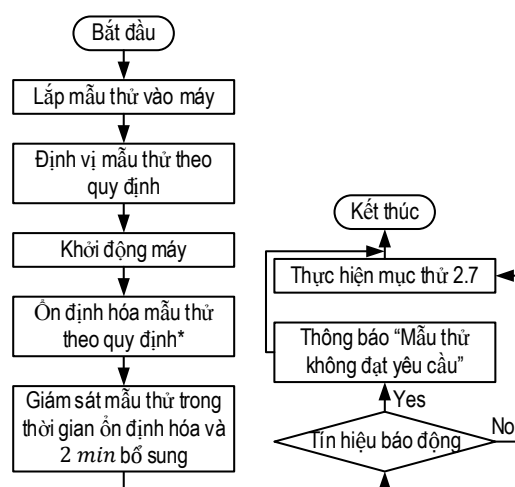
(\*\*) Ổn định hóa nhiệt độ, độ ẩm theo thông số được nêu trong Bảng 7 [10].

## 2.11. Chịu va chạm (sốc) (vận hành)



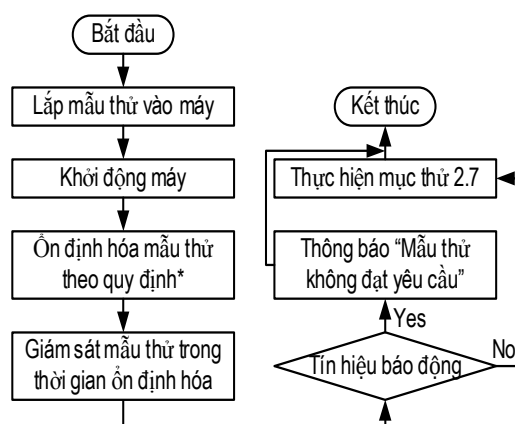
(\*) Ổn định hóa mẫu thử theo các thông số quy định trong Bảng 9 [10].

## 2.12. Chịu va đập (vận hành)



(\*) Ổn định hóa mẫu thử theo các thông số quy định trong Bảng 10 [10].

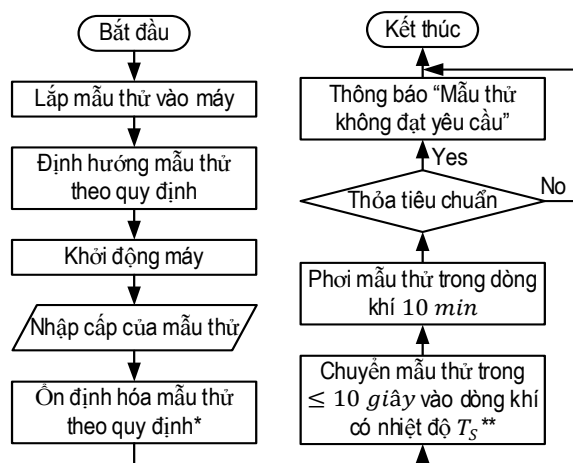
## 2.13. Chịu rung hình sin (vận hành)



(\*) Ổn định hóa mẫu thử theo các thông số quy định trong Bảng 11 [10].

## 2.14. Thử nghiệm bổ sung cho các đầu báo nhiệt có ký hiệu S

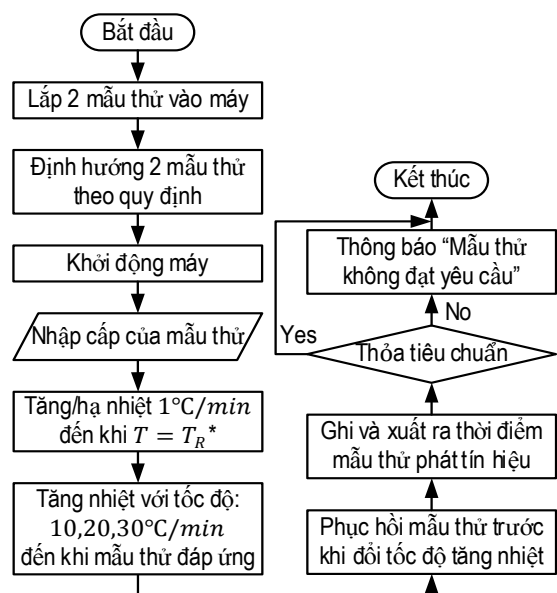




(\*) Ổn định hóa mẫu thử theo các thông số quy định trong Bảng 12 [10].

(\*\*)  $T_S$ : Nhiệt độ của dòng khí thử nghiệm, được nêu trong Bảng 13 [10].

## 2.15. Thử nghiệm bổ sung cho các đầu báo nhiệt có ký hiệu R



(\*)  $T_R$ : Nhiệt độ của môi trường thử nghiệm, được nêu trong Bảng 14 [10].

## 3. PHƯƠNG ÁN

Dù mỗi phép thử đều nhằm kiểm tra ảnh hưởng của các tác động từ môi trường đến độ nhạy cảm của đầu báo nhiệt, nhưng một số quy trình kiểm nghiệm trong đó lại có tính tương đồng với nhau, một số khác lại có yêu cầu đặc biệt về thiết bị kiểm định. Vì thế, để tối ưu hóa công năng thiết kế của các máy kiểm nghiệm và tối ưu hóa quá trình kiểm nghiệm, tác giả đã dựa vào quy trình kiểm nghiệm và yêu cầu về thiết bị để nhóm các tiêu chí như sau:

### 3.1. Nhóm 1

Nhóm 1 gồm các bài thử (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) và (15). Những bài kiểm tra này đều yêu cầu máy thử có thể tạo ra, duy trì môi trường ổn định hóa trong thời gian ngắn và thay đổi nhiệt độ trong buồng thử bằng các tốc độ tăng nhiệt khác nhau. Nếu buồng thử được thiết kế để có thể hạ nhiệt độ xuống 5°C ở quy trình ổn định hóa thì có thể thỏa mãn bài thử nghiệm (15).

### 3.2. Nhóm 2

Nhóm 2 gồm các bài thử (8), (9) và (10). Những bài kiểm tra này đều yêu cầu máy thử phải có khả năng kiểm soát độ ẩm, cũng như duy trì môi trường ổn định hóa trong thời gian dài. Nếu buồng thử được thiết kế để chịu được môi trường sunfua dioxit ( $SO_2$ ) ở bài (10) thì có thể dễ dàng đáp ứng được các yêu cầu của bài (8) và (9).

### 3.3. Các bài thử đơn

Bốn bài thử (11), (12), (13) và (14) có các yêu cầu và quy trình khác biệt so với các bài thử khác, vì thế chúng không được gộp thành nhóm với các bài thử khác mà phải được thực hiện bởi một máy riêng cho mỗi bài.



#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định đầu báo nhiệt. Tiếp theo phần 1 [10], bài báo xây dựng lưu đồ biểu diễn quy trình các phép thử, đề xuất phương án kết hợp các tiêu chí theo nhóm chức năng liên quan, phù hợp cho bài toán tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt.

Dựa trên cơ sở đề xuất này, các máy đang được thiết kế và chế tạo tại DCSELab để khẳng định tính khả thi của giải pháp và nhằm phục vụ cho nhu cầu thực tế.

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **23/10/2023**

Ngày phản biện: **06/11/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. TCVN 7568-5: 2013; *Hệ thống báo cháy – Phần 5: Đầu báo nhiệt kiểu điểm*.
- [2]. QCVN 03: 2021/BCA, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phương tiện phòng cháy và chữa cháy*.
- [3]. Phan Hoang Long et. al., *Design and Implementation of Automation Testing Device for Fire Fighting Hoses*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.11, pp.69-77, 2020.
- [4]. Quoc Bao Nguyen et. al., *Design and Calibration of Multi-Channel Thermocouple Signal Converter*, The 2023 Int'l Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE 2023), Hochiminh City, October 19-20, 2023 - to appear soon.
- [5]. Xuan Quang Ngo et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part I: Key Specifications and Conceptual Design*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.1-10, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [6]. Thai Nguyen Chau et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part II: Design and Simulation*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.11-20, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [7]. Ho Hai Dang et. al., *Application of Multi-PID Controllers for Fire Resistance Testing Furnace*, The 2023 Int'l Symposium on Advanced Engineering (ISAE2023), pp.21-28, Hochiminh City, Vietnam, Feb. 2023.
- [8]. Huy Hung Nguyen et. al., *Model Identification of Gas-Fired Industrial Furnace*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.42-51, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [9]. Nguyen Tan Tien et. al., *Temperature Control of Gas Furnace with Time Delay*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.295, pp.207-213, 2022
- [10]. Trương An Quốc và cộng sự, *Nghiên cứu tự động hóa kiểm định đầu báo nhiệt. Part 1 - Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7568-5:2013*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

# NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM ĐẦU NỐI VỎI CHỮA CHÁY

## Phần I. TIÊU CHUẨN KIỂM ĐỊNH TCVN 5739:1993

### STUDY ON SOLUTION FOR AN AUTOMATION INSPECTION SYSTEM OF FIRE- HOSE COUPLING'S GASKET

#### Part I. TESTING STANDARDS TCVN 5739:1993

Nguyễn Ngọc Hưng<sup>1,2,3</sup>, Phan Hoàng Long<sup>1,2,3</sup>, Dương Văn Tú<sup>1,2,3</sup>,  
Nguyễn Huy Hùng<sup>1,2,3</sup>, Nguyễn Tấn Tiến<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

#### TÓM TẮT

*Trên cơ sở nghiên cứu các tiêu chuẩn kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy, bài báo trình bày tổng quan về các chỉ tiêu và quy trình kiểm định. Từ đó đề xuất phương án tự động hóa quy trình kiểm định bằng cách gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy, tạo tiền đề cho bài toán thiết kế hệ thống kiểm định tự động vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy.*

**Từ khóa:** Vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy; Tiêu chuẩn kiểm định; PCCC.

#### ABSTRACT

*Based on the research of the inspection standards for fire-hose coupling's gasket, the article provides an overview of the criteria and inspection process. Subsequently, it proposes an automated inspection approach by consolidating functional tests into related groups, enabling automation on a single machine or group of machines. This sets the foundation for designing an automatic inspection system for fire-hose coupling's gasket.*

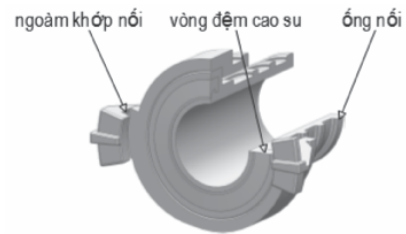
**Keywords:** Fire-hose coupling's gasket; Inspection standards; Fire fighting.

## 1. TỔNG QUAN

Tự động hóa các quy trình kiểm định nhằm chuẩn hóa sản phẩm theo các tiêu chí quy định bởi TCVN là vấn đề cấp bách hiện nay. Điều này giúp đảm bảo tính khách quan và minh bạch cho đơn vị quản lý cũng như doanh nghiệp. Vấn đề này là một trong những hướng nghiên cứu trọng tâm tại Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống (DCSELab). Một số giải pháp đã được triển khai và ứng dụng trong thực tế như: tự động hóa lò đốt kiểm định vật liệu cháy [11], [14], [15], [16]; Thiết kế hệ thống kiểm định vòi chữa cháy [10];... Một số hệ thống đang được thiết kế và thực nghiệm tại DCSELab như: Thiết kế robot kiểm định bình chữa cháy [12], [13];...

Bài báo này trình bày nghiên cứu về tiêu chuẩn kiểm định vòng đệm đầu chữa cháy. Để làm rõ hơn về phép thử cho các chỉ tiêu kiểm định và lượng hóa các bước thử, ngoài việc tìm hiểu thông tin từ TCVN 5739:1993 [1], bài báo đã tìm và tham khảo các tiêu chuẩn trong nước (TCVN) và ngoài nước (GOST, ISO,...) có đề cập đến nội dung liên quan. Tiếp theo, bài báo sẽ sơ đồ hóa và đề xuất phương án khả thi nhằm gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy để thiết kế các thiết bị thử nghiệm tự động. Và sau cùng, dựa vào phương án trên, thiết kế và chế tạo thiết bị kiểm định. Bài báo này trình bày tổng quan và lượng hóa các chỉ tiêu về kiểm định đầu nối vòi chữa cháy.

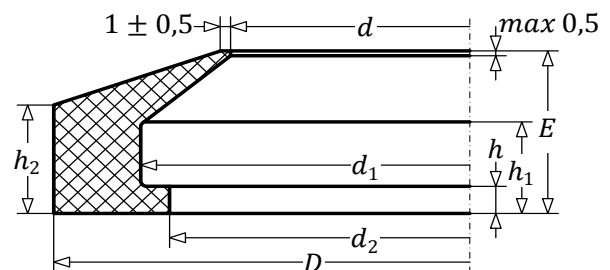
Đầu nối vòi chữa cháy là một bộ phận dùng để kết nối giữa vòi chữa cháy và hệ thống ống dẫn nước trong hệ thống chữa cháy. Trong đó, vòng đệm cao su có chức năng dùng để giữ chặt hai đầu nối và tránh rò rỉ nước.



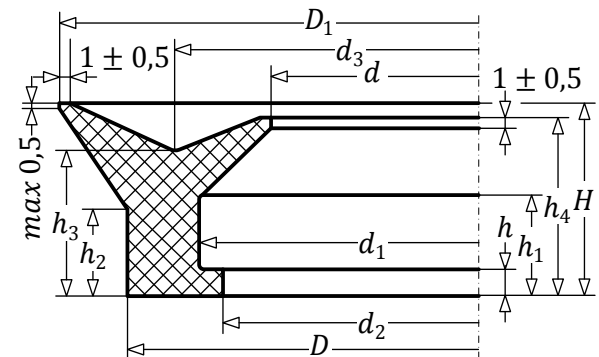
Hình 1. Cấu tạo đầu nối

Có hai loại vòng đệm: Vòng đệm đầu phun và vòng đệm đầu hút (Thông số kỹ thuật của vòng được tham khảo theo Tiêu chuẩn Việt Nam [1]).

Tự động hóa quy trình kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy mang lại nhiều lợi ích như giảm sai sót, tăng tính đồng nhất và nâng cao hiệu quả công việc. Tại Việt Nam hiện chưa có nghiên cứu chính thức về việc tự động hóa quy trình kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy. Vì vậy, bài báo này đề xuất giải pháp để tự động hóa quy trình trên.



a. Đầu phun



b. Đầu hút

Hình 2. Kích thước vòng đệm



2. TIÊU CHUẨN KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM

Theo Tiêu chuẩn Việt Nam [1], vòng đệm đầu nối cần được kiểm định về các tính chất hóa-lý của vật liệu làm vòng (cao su); kiểm định độ bền của vòng khi làm việc theo áp suất thủy lực và thời gian; hình dáng bên ngoài của vòng đệm; và kích thước của vòng.

Bảng 1. Các chỉ tiêu kiểm định tính chất hóa lý.

Chỉ tiêu kiểm định	Yêu cầu
1. Độ cứng theo ShoreA, đơn vị	45 ÷ 60
2. Giới hạn bền kéo, MPa	≥ 8
3. Độ giãn dài khi đứt, %	≥ 350
4. Độ biến dạng dư tương đối khi đứt, %	≥ 30
5. Nhiệt độ bị giòn, °C	≥ - 15
6. Độ biến dạng dư tương đối sau khi chịu nén 30% thể tích ở nhiệt độ 70°C ± 1°C (72h), %	≤ 60
7. Sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở 70°C ± 1°C (168h), %	≤ 40
8. Sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , hoặc xăng/dầu trong 24h ± 1h (ở 23°C ± 1°C), %	- 0,5 ÷ 1

Các chỉ tiêu và yêu cầu để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối dưới áp suất thủy lực và thời gian (Chỉ tiêu kiểm định 9).

Bảng 2. Chỉ tiêu và phương pháp thử để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối.

Vòng	Điều kiện	Yêu cầu
Đầu phun	t° làm việc: - 5°C ÷ 50°C Áp suất thủy lực 2MPa	Đảm bảo lắp ghép của đầu nối kín, không rò rỉ dung dịch
Đầu hút	t° làm việc: - 5°C ÷ 50°C Áp suất thủy lực 0,3MPa với độ chân không < 600mmHg	

Yêu cầu về hình dáng bên ngoài của vòng đệm: Mặt làm việc có độ nhám  $R_a = 0,2\mu\text{m}$ , không có vết nứt, bọt và các tạp chất (Chỉ tiêu kiểm định 10).

Kích thước vòng đệm và chỗ thừa theo mặt phân khuôn được kiểm tra bằng dụng cụ đo có độ chính xác ≤ 0,01mm; kiểm tra 3 lần và lấy kết quả trung bình cộng (Chỉ tiêu kiểm định 11).

Tương ứng với các chỉ tiêu kiểm định trên, bài báo đã tham khảo từ các tiêu chuẩn khác liên quan, có đề cập đến phương pháp thử cho các chỉ tiêu.

2.1. Xác định độ cứng cao su [4], [9]

Dụng cụ đo: Mô tả trên Hình 3.

Phương pháp thử:

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (\*).

Bước 2: Nâng mẫu thử cho đến khi mẫu tiếp xúc với mặt của dụng cụ đo.

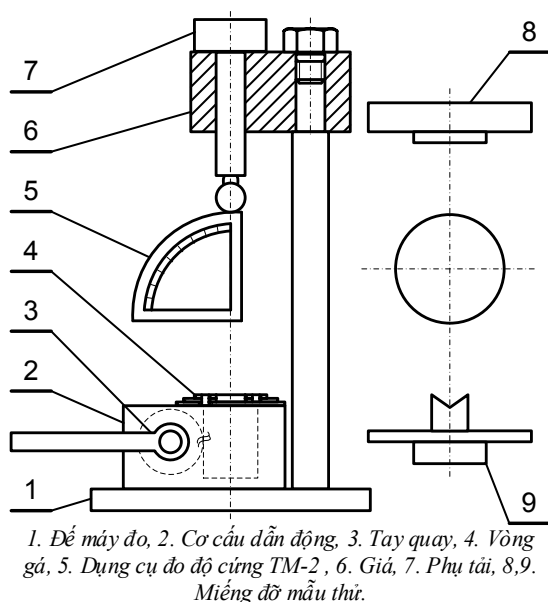
Bước 3: Nâng đến khi phụ tải bắt đầu được nâng và giữ trong 3 giây.

Bước 4: Ghi số đo từ đồng hồ đo.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

Sử dụng phụ tải 0.85kg.

Đặt dụng cụ đo độ cứng theo miếng đỡ mẫu thử 8 và miếng đỡ mẫu thử 9 sao cho mũi nén của dụng cụ đo trùng với lỗ của miếng đỡ mẫu thử 9, cố định mẫu thử tại vị trí đó.



Hình 3. Mô tả thiết bị đo độ cứng TM-2 [4]

## 2.2. Xác định giới hạn bền kéo, độ giãn dài khi đứt, độ biến dạng dư tương đối khi đứt [2]

Dụng cụ đo:

Sai số đo lực trong hành trình tải không quá  $\pm 2\%$ .

Tối thiểu máy phải có khả năng vận hành tại tốc độ kéo 100mm/min, 200mm/min và 500mm/min.

Đối với máy có đồng hồ đo lực, thang

tải trọng được chọn sao cho lực đo được nằm trong khoảng từ 20 đến 90% giá trị giới hạn của thang đo.

Phương pháp thử:

Thử ít nhất 3 mẫu (số lượng mẫu phải quyết định trước).

Khi tiến hành kéo cần giám sát liên tục sự thay đổi chiều dài thử và lực kéo với độ chính xác  $\pm 2\%$ .

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (\*).

Bước 2: Đặt cột tải về mức “0” và tác dụng trước ứng suất 0.1MPa.

Bước 3: Kéo đến khi mẫu đứt.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

Đặt mẫu thử vào thiết bị kéo sao cho các đầu của mẫu kéo được kẹp đối xứng, giúp phân bố đồng đều sức căng trên toàn bộ mặt cắt ngang.

Kết quả tính toán:

Giới hạn bền kéo, MPa:

$$TS = \frac{F_m}{W_t} \quad (1)$$

Độ giãn dài khi đứt, %:

$$E_b = 100 \times \frac{L_b - L_0}{L_0} \quad (2)$$

Độ biến dạng dư tương đối khi đứt, %:

$$E = 100 \times \frac{H_b - H_0}{H_0} \quad (3)$$

Với:  $F_m$  là lực lớn nhất ghi được, N;  $W_t$  là tiết diện mặt cắt,  $\text{mm}^2$ ;  $L_b$ ,  $H_b$  là chiều dài,  $H_0$  là chiều cao,  $L_0$  là chiều dài,  $L_0$  là chiều dài.

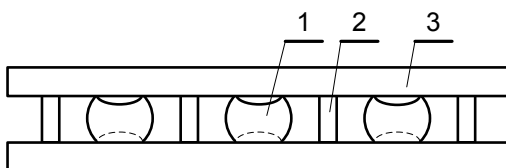
chiều cao mẫu thử tại điểm đứt, mm;  $L_0$ ,  $H_0$  là chiều dài, chiều cao mẫu thử ban đầu, mm.

## 2.3. Xác định sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở nhiệt độ $70^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ trong 168h [4], [6], [8]

*Dụng cụ đo:*

- Mẫu thử cao su hình trụ cao  $10 \pm 0.5\text{mm}$ , đường kính  $10 \pm 0.5\text{mm}$ .

Các cỡ kim loại cao 7mm.



1. Mẫu thử, 2. Cỡ kim loại, 3. Tấm thép (để kẹp mẫu).

Hình 4. Mô tả thiết bị kẹp và mẫu thử.

*Phương pháp thử:*

- Thử ít nhất 3 mẫu.
- Mẫu thử được nén xuống  $30 \pm 5\%$ .
- Bước 1: Đo  $H_0$  của mẫu.
- Bước 2: Nén mẫu và đo chiều cao  $H_1$ .
- Bước 3: Gia nhiệt ở  $t^\circ = 70^\circ\text{C}$  trong

168 giờ.

Bước 4: Để nguội ở  $t^\circ = 23^\circ\text{C}$  trong 2-3 giờ.

Bước 5: Tháo, ổn định mẫu trong 1 giờ và đo chiều cao  $H_2$ .

Kết quả tính toán:

Độ biến dạng, %:

$$Y_1 = (H_0 - H_2) \times \frac{100}{H_0 - H_1} \quad (3)$$

Với:  $H_0$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  là chiều cao mẫu thử ban đầu, khi nén, và sau khi thử, mm.

## 2.4. Xác định sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc $\text{H}_2\text{SO}_4$ hoặc xăng/dầu trong $24\text{h} \pm 1\text{h}$ ở nhiệt độ $23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ [7]

*Dụng cụ đo:*

- Bình chứa: Hình trụ thành dày bằng kim loại, dung tích nhỏ hơn  $0,25\text{cm}^3$ , có nắp đậy được lót miếng đệm để đảm bảo kín.

- Máy đo độ dày có giá trị chia  $0,01\text{mm}$ , lực đo  $1,5\text{N}$ , bề mặt đo có đường kính  $16\text{mm}$ .

- Công cụ đo kích thước tuyến tính (Cấp chính xác 14), cân có giới hạn đo  $200\text{g}$  (Cấp chính xác 2).

- Bộ điều nhiệt, sai số  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

- Nhiệt kế thủy tinh lỏng:  $0 \div 100^\circ\text{C}$ , có giá trị chia  $2^\circ\text{C}$ .

- Đồng hồ, giấy lọc, gạc gia dụng, rượu etylic, nước cất, bình hút ẩm.

*Phương pháp thử:*

- Môi trường ngâm mẫu được thay đổi sau mỗi lần tiếp xúc mẫu.

- Khi cân, các mẫu cần đạt trạng thái cân bằng trương nở (TTCBTN: khi khối lượng mẫu không đổi).

- Khối lượng mẫu được lấy ra khỏi môi trường thử để cân định kỳ, sai số cho phép  $\pm 0,001\text{g}$ , và khối lượng không đổi khi chênh lệch giữa hai lần cân không quá  $0,001\text{g}$ .

- Đo kích thước ban đầu:

+ Khối lượng mẫu khi cân trong không khí  $M_1$ .



+ Khối lượng mẫu khi cân trong rượu etylic/nước cất  $M_2$ .

+ Chiều dài mẫu  $l_1 \pm 0,5\text{mm}$ , đo ở 2 vị trí gần trục dọc theo bề mặt trên và dưới.

+ Chiều rộng mẫu  $b_1$  đo ở 4 vị trí cách đều nhau.

+ Chiều dày mẫu  $h_1 \pm 0,01\text{mm}$ , đo bằng dụng cụ đo độ dày ở 4 vị trí cách đều nhau.

+ Giá trị đo là trung bình cộng các lần đo.

+ Đo các kích thước sau khi thử:

+ Khối lượng mẫu khi cân trong không khí  $M_3$ .

+ Khối lượng mẫu khi cân trong rượu etylic/nước cất  $M_4$ .

+ Các kích thước  $l_2, h_2, b_2$ .

- Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (\*).

- Bước 2: Gia nhiệt ở  $t^\circ = 23^\circ \pm 1^\circ\text{C}$  trong thời gian  $t = 24 \pm 1\text{h}$ .

- Bước 3: Rửa mẫu với thể tích xà 1500cm<sup>3</sup>.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

- Ngâm mẫu trước trong rượu etylic từ 2 đến 3 giây để loại bỏ bọt khí.

- Vật chứa được đổ đầy môi trường theo tỷ lệ thể tích của môi trường và mẫu ít nhất là 15:1 và không quá 30:1.

- Mức môi trường trên mẫu ít nhất phải là 1cm khi vật chứa không đầy quá 75%.

- Hộp được đậy kín và để thử nghiệm ở

hiệt độ cao, được đặt trong bộ điều nhiệt, được làm nóng trước đến nhiệt độ xác định trước.

Kết quả tính toán:

Giá trị trung bình cộng của chỉ tiêu được tính từ kết quả thử nghiệm của ít nhất 3 mẫu, độ lệch lớn nhất của từ phép đo về khối lượng/thể tích là 10%, chiều dài 5%.

$$\Delta V = \frac{(M_3 - M_4) - (M_1 - M_2)}{M_1 - M_2} \quad (4)$$

## 2.5. Xác định nhiệt độ giòn [3], [5]

Dụng cụ đo:

- Sai số dụng cụ đo nhiệt độ  $\leq \pm 1^\circ\text{C}$ .

- Sai số điều chỉnh nhiệt độ trạng thái ổn định của môi trường  $\leq \pm 1^\circ\text{C}$ .

- Dụng cụ đo độ dày với giá trị chia 0,01mm và thước đo với độ chia nhỏ nhất 1mm.

- Rượu etylic, CO<sub>2</sub> rắn, nitơ lỏng.

Phương pháp thử:

- Mẫu được coi là bị phá hủy nếu có ít nhất một trong các dấu hiệu phá hủy sau: Mẫu bị tách thành nhiều phần, có một hoặc nhiều vết nứt, tách, nứt mẻ.

- Thanh đập được chuyển động theo quỹ đạo thẳng hoặc cong sao cho tốc độ thử tuyến tính là  $2 \pm 0,2\text{m/s}$  và duy trì trong quãng đường  $\geq 6\text{mm}$  sau va đập.

- Nếu ít nhất một trong bốn mẫu bị hỏng, giới hạn nhiệt độ của độ giòn cao su được coi là cao hơn nhiệt độ thử nghiệm.



Ngoài ra, nếu sử dụng buồng lạnh với môi trường lỏng, cần trang bị thêm một thiết bị để trộn môi trường và làm mát các mẫu trong môi trường đến nhiệt độ thử nghiệm, giữ và thử nghiệm chúng ở nhiệt độ này.

$t^{\circ}$  thử nghiệm ban đầu thấp hơn  $t^{\circ}$  dự kiến mà vật liệu không bị phá hủy.

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (\*).

Bước 2: Gia nhiệt theo  $t^{\circ}$  thử trong thời gian  $t = 3 \pm 0,5$  phút.

Bước 3: Thực hiện cú đập (\*\*) và kiểm tra mẫu.

Bước 4: Khi tình trạng mẫu sau Bước 3 không bị phá hủy thì uốn mẫu một góc  $90^{\circ}$  theo phương biến dạng mẫu và kiểm tra.

Bước 5:

+ Bước 5.1: Khi tình trạng mẫu sau Bước 3 và Bước 4 bị phá hủy thì tiến hành tăng  $\Delta t^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$  và thực hiện lại từ Bước 1 đến Bước 5.

+ Bước 5.2: Khi tình trạng mẫu sau Bước 4 không bị phá hủy thì ghi nhận  $t_{\max}^{\circ}$ , tăng  $\Delta t^{\circ} = 2^{\circ}\text{C}$ , sau đó thực hiện lại từ Bước 1 đến Bước 5.

- Bước 6: Khi tình trạng mẫu ở Bước 5.2 không bị phá hủy thì ghi nhận  $t_{\max}^{\circ}$ .

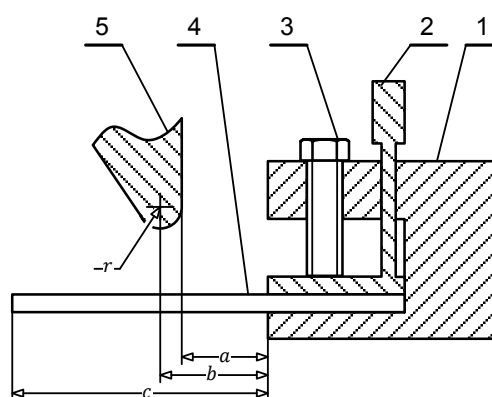
(\*) Chuẩn bị mẫu:

Ổn định mẫu ở nhiệt độ  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ít nhất 1 giờ, cho dụng cụ đặt mẫu vào buồng lạnh và giữ ở nhiệt độ thử nghiệm ít nhất 10 phút. Thử nghiệm ở mỗi nhiệt độ được thực hiện trên bốn mẫu mới.

(\*\*) Yêu cầu với cú đập:

- Cạnh thanh đập sẽ chuyển động tương đối với mẫu thử dọc theo đường vuông góc với bề mặt trên của mẫu thử với tốc độ thử tuyến tính là  $2 \pm 0,2\text{m/s}$  khi va đập. Tốc độ phải được duy trì trong dải này ít nhất 6mm quãng đường sau khi va đập.

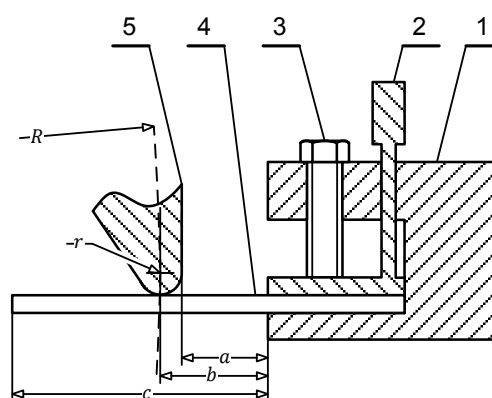
- Theo kinh nghiệm, năng lượng cần thiết để đập ít nhất phải là 3 Joules trên một mẫu thử.



1. Thân dụng cụ kẹp, 2. Đệm giữ mẫu, 3. Chốt giữ, 4. Mẫu thử, 5. Thanh đập.

Ghi chú:  $a = (6,4 \pm 0,3)\text{mm}$ ;  $b = (8 \pm 0,3)\text{mm}$ ;  $c \geq 19\text{mm}$ ;  
 $r = 1,6 \pm 0,1\text{mm}$ .

a. Chuyển động thẳng



1. Thân dụng cụ kẹp, 2. Đệm giữ mẫu, 3. Chốt giữ, 4. Mẫu thử, 5. Thanh đập.

Ghi chú:  $a = (6,4 \pm 0,3)\text{mm}$ ;  $b = (8 \pm 0,3)\text{mm}$ ;  $c \geq 19\text{mm}$ ;  
 $r = 1,6 \pm 0,1\text{mm}$ ;  $R \geq 125\text{mm}$ .

b. Chuyển động cong

Hình 5. Dụng cụ kẹp mẫu thử và đầu đập [3]

### 3. KẾT LUẬN

Bài báo đã tìm hiểu tổng quan và lượng hóa các bước trong các phép thử cho các chỉ tiêu kiểm định vòng đệm của đầu nối.

Trong tương lai, bài báo sẽ tiến hành sơ đồ hóa và đề xuất phương án khả thi để kết hợp các chỉ tiêu thành các cụm nhằm tối ưu hóa quy trình kiểm định và nghiên cứu sâu vào việc thiết kế thiết bị tự động hóa cho từng cụm và hệ thống để kết nối và quản lý các cụm.

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **22/10/2023**

Ngày phản biện: **10/11/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. TCVN 5739: 1993; *Thiết bị đầu nối chữa cháy.*
- [2]. TCVN 4509:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định các tính chất ứng suất giãn dài khi kéo.*
- [3]. TCVN 5321:2007; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ giòn ở nhiệt độ thấp.*
- [4]. TCVN 2003-77; *Vòng đệm cao su có mặt cắt tròn để làm kín các thiết bị thủy lực và khí nén.*
- [5]. GOST 7912, *Method of test for temperature limit of brittleness for vulcanized.*
- [6]. GOST 9029-24, *Unified system of corrosion and ageing protection and Vulcanized rubbers – Method of testing of resistance under static deformation of compression.*
- [7]. GOST 9030-74, *Unified system of corrosion and ageing protection. Vulcanized rubbers – Method of testing resistance to attack by corrosive media in limp state.*
- [8]. TCVN 2229:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Phép thử già hóa tăng tốc và độ bền nhiệt.*
- [9]. TCVN 1595-1:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ cứng ấn lồi – Phần 1: Phương pháp sử dụng thiết bị đo độ cứng (độ cứng Shore).*
- [10]. Phan Hoang Long et. al., *Design and Implementation of Automation Testing Device for Fire Fighting Hoses*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.11, pp.69-77, 2020.
- [11]. Quoc Bao Nguyen et. al., *Design and Calibration of Multi-Channel Thermocouple Signal Converter*, The 2023 Int'l Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE 2023), Hochiminh City, October 19-20, 2023 - to appear soon.
- [12]. Xuan Quang Ngo et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part I: Key Specifications and Conceptual Design*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.1-10, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [13]. Thai Nguyen Chau et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part II: Design and Simulation*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.11-20, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [14]. Ho Hai Dang et. al., *Application of Multi-PID Controllers for Fire Resistance Testing Furnace*, The 2023 Int'l Symposium on Advanced Engineering (ISAE2023), pp.21-28, Hochiminh City, Vietnam, Feb. 2023.
- [15]. Huy Hung Nguyen et. al., *Model Identification of Gas-Fired Industrial Furnace*, The 7<sup>th</sup> Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.42-51, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [16]. Nguyen Tan Tien et. al., *Temperature Control of Gas Furnace with Time Delay*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.295, pp.207-213, 2022.

# NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM ĐẦU NỐI VỎI CHỮA CHÁY

## Phần II. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KIỂM ĐỊNH TỰ ĐỘNG

STUDY ON SOLUTION FOR AN AUTOMATION INSPECTION SYSTEM OF FIRE-  
HOSE COUPLING'S GASKET

Part II. SOLUTIONS FOR THE INSPECTION PROCESS

Nguyễn Ngọc Hưng<sup>1,2,3</sup>, Phan Hoàng Long<sup>1,2,3</sup>, Dương Văn Tú<sup>1,2,3</sup>,

Nguyễn Huy Hùng<sup>1,2,3</sup>, Nguyễn Tấn Tiến<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

*Trên cơ sở nghiên cứu các tiêu chuẩn kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy, bài báo trình bày tổng quan về các chỉ tiêu và quy trình kiểm định. Từ đó đề xuất phương án tự động hóa quy trình kiểm định bằng cách gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy, tạo tiền đề cho bài toán thiết kế hệ thống kiểm định tự động vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy.*

**Từ khóa:** Vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy; Tiêu chuẩn kiểm định; PCCC.

### ABSTRACT

*Based on the research of the inspection standards for fire-hose coupling's gasket, the article provides an overview of the criteria and inspection process. Subsequently, it proposes an automated inspection approach by consolidating functional tests into related groups, enabling automation on a single machine or group of machines. This sets the foundation for designing an automatic inspection system for fire-hose coupling's gasket.*

**Keywords:** Fire-hose coupling's gasket; Inspection standards; Fire fighting.

## 1. TỔNG QUAN

Trong bài báo [1], tác giả đã đề cập đến tổng quan và lượng hóa các quy trình kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy theo TCVN [2]. Dựa vào thông tin trên, bài báo này sẽ sơ đồ hóa các bước và đề xuất phương án khả thi nhằm gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy để thiết kế các thiết bị thử nghiệm tự động.

## 2. SƠ ĐỒ HÓA QUY TRÌNH KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM

Theo Tiêu chuẩn Việt Nam [2], vòng đệm đầu nối cần được kiểm định về các tính chất hóa-lý của vật liệu làm vòng (cao su); kiểm định độ bền của vòng khi làm việc theo áp suất thủy lực và thời gian; hình dáng bên ngoài của vòng đệm; và kích thước của vòng.

Bảng 1. Các chỉ tiêu kiểm định tính chất hóa lý.

Chỉ tiêu kiểm định	Yêu cầu
1. Độ cứng theo ShoreA, đơn vị	45 ÷ 60
2. Giới hạn bền kéo, MPa	$\geq 8$
3. Độ giãn dài khi đứt, %	$\geq 350$
4. Độ biến dạng dư tương đối khi đứt, %	$\geq 30$
5. Nhiệt độ bị giòn, °C	$\geq -15$
6. Độ biến dạng dư tương đối sau khi chịu nén 30% thể tích ở nhiệt độ $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (72h), %	$\leq 60$
7. Sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (168h), %	$\leq 40$
8. Sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc $\text{H}_2\text{SO}_4$ , hoặc xăng/dầu trong $24\text{h} \pm 1\text{h}$ (ở $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), %	$-0,5 \div 1$

Các chỉ tiêu và yêu cầu để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối dưới áp suất

thủy lực và thời gian (Chỉ tiêu kiểm định 9).

Bảng 2. Chỉ tiêu và phương pháp thử để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối.

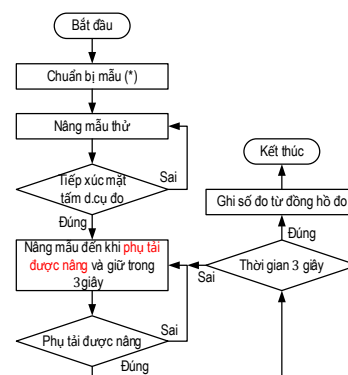
Vòng	Điều kiện	Yêu cầu
Đầu phun	t° làm việc: $-5^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ Áp suất thủy lực 2MPa	Đảm bảo lắp ghép của đầu nối kín, không rò rỉ dung dịch
Đầu hút	t° làm việc: $-5^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ Áp suất thủy lực 0,3MPa với độ chân không <600mmHg	

Yêu cầu về hình dáng bên ngoài của vòng đệm: Mặt làm việc có độ nhám  $R_a = 0,2\mu\text{m}$ , không có vết nứt, bọt và các tạp chất (Chỉ tiêu kiểm định 10).

Kích thước vòng đệm và chỗ thừa theo mặt phân khuôn được kiểm tra bằng dụng cụ đo có độ chính xác  $\leq 0,01\text{mm}$ ; kiểm tra 3 lần và lấy kết quả trung bình cộng (Chỉ tiêu kiểm định 11).

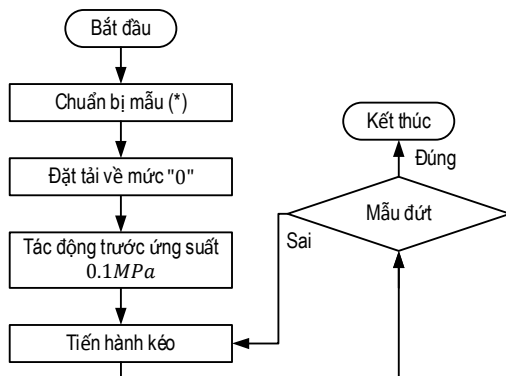
Tương ứng với các chỉ tiêu kiểm định trên, bài báo đã tham khảo từ các tiêu chuẩn khác liên quan, có đề cập đến phương pháp thử cho các chỉ tiêu.

### 2.1. Xác định độ cứng cao su [5], [10]



Hình 1. Lưu đồ phương pháp thử.

## 2.2. Xác định giới hạn bền kéo, độ giãn dài khi đứt, độ biến dạng dư tương đối khi đứt [3]

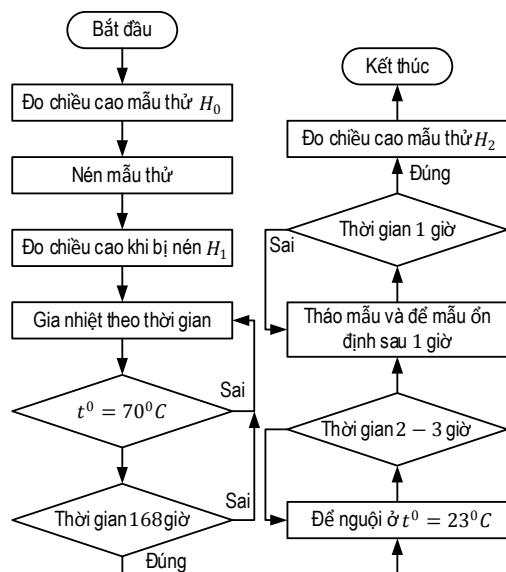


Hình 2. Lưu đồ phương pháp thử.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

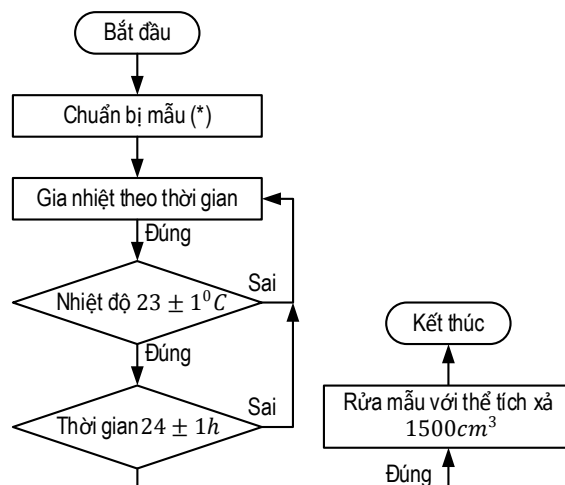
Đặt mẫu thử vào thiết bị kéo sao cho các đầu của mẫu kéo được kẹp đối xứng, giúp phân bố đồng đều sức căng trên toàn bộ mặt cắt ngang.

## 2.3. Xác định sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở nhiệt độ $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ trong 168h [4], [6], [8]



Hình 3. Lưu đồ phương pháp thử.

## 2.4. Xác định sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc $\text{H}_2\text{SO}_4$ hoặc xăng/dầu trong $24\text{h} \pm 1\text{h}$ ở nhiệt độ $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ [8]



Hình 4. Lưu đồ phương pháp thử.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

- Ngâm mẫu trước trong rượu etylic từ 2 đến 3 giây để loại bỏ bọt khí.

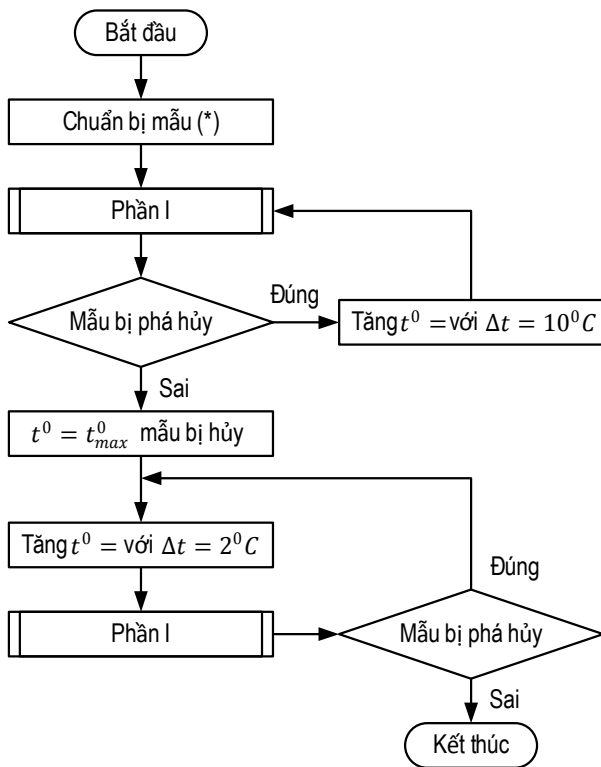
- Vật chứa được đổ đầy môi trường theo tỷ lệ thể tích của môi trường và mẫu ít nhất là 15:1 và không quá 30:1.

- Mức môi trường trên mẫu ít nhất phải là 1cm khi vật chứa không đầy quá 75%.

- Hộp được đậy kín và để thử nghiệm ở nhiệt độ cao, được đặt trong bộ điều nhiệt, được làm nóng trước đến nhiệt độ xác định trước.

## 2.5. Xác định nhiệt độ giòn [4], [6]





Hình 5. Lưu đồ phương pháp thử.

(\*) Chuẩn bị mẫu:

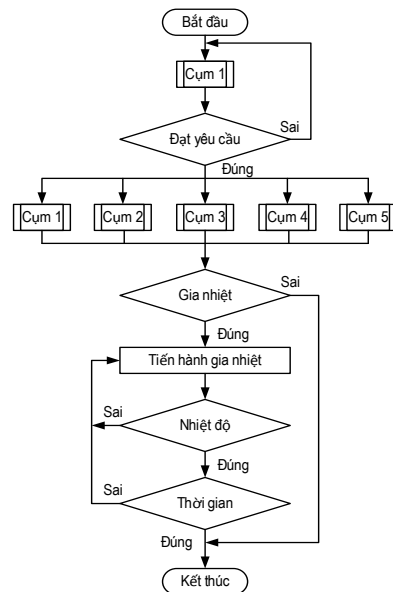
Ổn định mẫu ở nhiệt độ  $23 \pm 2^{\circ}C$  ít nhất 1 giờ, cho dụng cụ đặt mẫu vào buồng lạnh và giữ ở nhiệt độ thử nghiệm ít nhất 10 phút. Thử nghiệm ở mỗi nhiệt độ được thực hiện trên bốn mẫu mới.

(\*\*) Yêu cầu với cú đập:

- Cạnh thanh đập sẽ chuyển động tương đối với mẫu thử dọc theo đường vuông góc với bề mặt trên của mẫu thử với tốc độ thử tuyến tính là  $2 \pm 0,2m/s$  khi va đập. Tốc độ phải được duy trì trong dải này ít nhất 6mm quãng đường sau khi va đập.

- Theo kinh nghiệm, năng lượng cần thiết để đập ít nhất phải là 3 Joules trên một mẫu thử.

### 3. PHƯƠNG ÁN TỰ ĐỘNG HÓA



Hình 6. Lưu đồ về quy trình kiểm định.

Dựa theo thông tin được tìm hiểu ở Phần II, để kiểm định vòng đệm, các chỉ tiêu có thể được kết hợp thành sáu cụm tương ứng với các phương pháp thử:

- Cụm 1: Chỉ tiêu thứ 10, 11.
- Cụm 2: Chỉ tiêu thứ 2, 3, 4, 7.
- Cụm 3: Chỉ tiêu thứ 1, 6.
- Cụm 4: Chỉ tiêu thứ 5.
- Cụm 5: Chỉ tiêu thứ 8.
- Cụm 6: Chỉ tiêu thứ 9.

Một buồng gia nhiệt sẽ được thiết kế riêng cho các tiêu chí có thử nhiệt.

Việc chia thành sáu cụm và buồng gia nhiệt riêng để kiểm định có những ưu điểm và nhược điểm như sau:

Ưu điểm:

Có thể đồng thời kiểm định nhiều chỉ tiêu cùng một lúc.



Thuận tiện cho việc lắp đặt và sửa chữa.

Nhược điểm:

Chưa thể tự động hóa hoàn toàn quy trình.

*Bảng 3. Phân tích khả năng lượng hóa/tự động hóa của từng cụm.*

Cụm	Vấn đề
1	- Chưa có thông số cho lỗi vết nứt, bọt và các tạp chất. - Có thể sử dụng camera để nhận diện lỗi.
2	Các thông số có thể được lượng hóa.
3	- Cần làm rõ phương nén cho vòng đệm. - Các bước thao tác để nén vòng đệm, đo kích thước, đặt vào buồng gia nhiệt không phù hợp để tự động hóa (Thực hiện bằng phương pháp thủ công đơn giản hơn so với phương án tự động hóa). - Độ cứng có thể được đo bằng thiết bị có sẵn.
4	- Cần phương án tự động hóa cho thao tác đổi và cố định mẫu mới khi mẫu hiện tại bị phá hủy (Vì mỗi lượt đổi nhiệt độ cần thao tác với mẫu mới). - Các thông số đánh giá khuyết tật trên mẫu chưa được lượng hóa, nhưng có thể sử dụng camera để phân tích sự khác nhau của mẫu trước và sau khi thử.
5	Không phù hợp để tự động hóa.
6	Các thông số có thể được lượng hóa.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã sơ đồ hóa các bước trong các phép thử cho các chỉ tiêu kiểm định và đồng thời đề xuất phương án khả thi để kết hợp các chỉ tiêu thành các cụm nhằm tối ưu hóa quy trình kiểm định.

Trong tương lai, bài báo sẽ tiếp tục

nghiên cứu sâu vào việc thiết kế thiết bị tự động hóa cho từng cụm và hệ thống để kết nối và quản lý các cụm.

**Lời cảm ơn:**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **02/11/2023**

Ngày phản biện: **21/11/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ngoc Hung Nguyen et al., *Study on solution for an automation inspection system of fire-hose coupling's gasket. Part I: Introduction to the inspection standards for fire-hose coupling's gasket.*
- [2]. TCVN 5739:1993; *Thiết bị đầu nối chữa cháy.*
- [3]. TCVN 4509:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định các tính chất ứng suất giãn dài khi kéo.*
- [4]. TCVN 5321:2007; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ giòn ở nhiệt độ thấp.*
- [5]. TCVN 2003-77; *Vòng đệm cao su có mặt cắt tròn để làm kín các thiết bị thủy lực và khí nén.*
- [6]. GOST 7912, *Method of test for temperature limit of brittleness for vulcanized.*
- [7]. GOST 9029-24, *Unified system of corrosion and ageing protection and Vulcanized rubbers - Method of testing of resistance under static deformation of compression.*
- [8]. GOST 9030-74, *Unified system of corrosion and ageing protection. Vulcanized rubbers - Method of testing resistance to attack by corrosive media in limp state.*
- [9]. TCVN 2229:2013; *Cao su lưu hoá hoặc nhiệt dẻo – Phép thử già hóa tăng tốc và độ bền nhiệt.*
- [10]. TCVN 1595-1:2013; *Cao su lưu hoá hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ cứng ấn lồi – Phần 1: Phương pháp sử dụng thiết bị đo độ cứng (độ cứng Shore).*

# NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC MỘT SỐ CƠ CẤU MÁY CƯA LỘNG

## STUDY ON KINEMATICS AND DYNAMICS OF SOME KINDS OF JIGSAW MECHANISMS

Nguyễn Trần Đăng Khoa<sup>2</sup>, Nguyễn Tấn Tiến<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Cưa lộng là một thiết bị thông dụng với lưỡi cưa thẳng phối hợp chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cắt cùng với chuyển động đi tới của cưa để cắt các loại vật liệu kim loại cũng như phi kim loại. Có nhiều cơ cấu dùng để biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cưa, nhưng phổ biến nhất là cơ cấu sin, cơ cấu tay quay con trượt, và cơ cấu cam thừng. Bài báo trình bày khảo sát đặc tính động học và động lực học của ba cơ cấu trên với giả thiết cùng một công suất, cùng chuyển vị của lưỡi cưa trong một vòng quay động cơ, và khối lượng các cơ cấu là tương đối như nhau. Kết quả cho thấy với cùng một công suất, cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thừng. Do đó, khi thiết kế cưa lộng, cơ cấu tay quay con trượt có thể xem là lựa chọn phù hợp với mục đích sử dụng.

**Từ khóa:** Máy cưa lộng; Số răng trên 1 inch chiều dài; Cơ cấu tay quay – con trượt.

### ABSTRACT

A reciprocating saw is a common tool with a straight blade that coordinates reciprocating translational motion of the cutting blade with the forward motion of the saw to cut various types of materials, both metallic and non-metallic. There are several mechanisms used to convert the rotary motion of the motor into the reciprocating translational motion of the saw blade, but the most common ones are the sin mechanism, the slider-crank mechanism, and the barrel cam mechanism. This article presents a study of the dynamic and kinetic characteristics of these three mechanisms under the assumption of equal power, the same displacement of the saw blade in one revolution of the motor, and roughly equal masses of the mechanisms. The results indicate that, with the same power, the crank-arm slider mechanism provides the highest cutting force, followed by the crank mechanism and, lastly, the cam mechanism. Therefore, when designing a reciprocating saw, the crank-arm slider mechanism can be considered a suitable choice for the intended purpose.

**Keywords:** Jigsaw machine; Teeth per inch; Crank-arm slider mechanism.



1. TỔNG QUAN

Các phương pháp cưa: Cưa lộng là một trong những phương pháp gia công cắt gọt để cắt phôi, dụng cụ cắt là những lưỡi dao có nhiều răng nhỏ. Mỗi răng sẽ loại bỏ một phần nhỏ của phôi trên chiều dài làm việc của răng.

Khả năng công nghệ của cưa: Phương pháp cưa có thể được sử dụng trên nhiều vật liệu khác nhau như kim loại hoặc phi kim loại. Tùy vào yêu cầu, có thể cưa đường thẳng hoặc đường cong.

Lưỡi cưa: Tùy thuộc vào loại cưa mà lưỡi cưa có nhiều loại khác nhau, tuy nhiên trong phạm vi nghiên cứu của bài báo này chỉ tìm hiểu về lưỡi cưa dùng trong máy cưa lộng. Những yếu tố để chọn lưỡi cưa có thể kể đến: chân cắm, số răng, loại vật liệu và hình dạng răng [1], [2].



Số lượng răng (TPI): Số răng trên một inch chiều dài lưỡi ảnh hưởng đến tốc độ và độ mịn của đường cắt. TPI thấp, tốc độ cắt sẽ nhanh hơn nhưng thô hơn, phù hợp để cắt các loại gỗ. Lưỡi cưa dùng để cắt kim loại và những vật liệu cứng khác cần số TPI cao hơn, tốc độ cắt chậm hơn nhưng đường cắt sẽ mịn hơn. Thông thường  $TPI = 6 \div 20$ : cho gỗ, vật liệu mềm;  $14 \div 36$ : cho kim loại; và  $> 36$ : cho các vật liệu đặc biệt như kính (glass).

Vật liệu lưỡi cưa: Lưỡi cưa được chế tạo chủ yếu là từ hai loại thép: high carbon steel (HCS) và high speed steel (HSS). Ngoài ra, còn có loại Bi-Metal (BiM) kết hợp từ HCS và HSS, loại vật liệu Tungsten Carbide (TC) và Diamond Grid [3].




Biên dạng răng: Hình dạng và cách sắp xếp của răng trên lưỡi cưa đóng vai trò quan trọng trong tốc độ cắt và chất lượng cắt. Có năm loại răng phổ biến được chia thành hai nhóm

chính: “Milled Tooth” và “Ground Tooth” [4].

Milled Tooth: Loại răng này cùn hơn loại răng “Ground Tooth”, khiến đường cắt sẽ thô, tốc độ cắt nhanh hơn. Kết cấu răng khiến răng bào mòn vật liệu tốt, phù hợp để cắt các vật liệu dày.

Loại răng	Hình dạng	Ứng dụng
Milled Slide		Dùng để cưa thẳng, nhanh, thô qua gỗ, nhôm, kim loại màu và nhựa.
Milled Wavy		Răng cưa được sắp xếp dạng lượn sóng dùng cho các vết cưa thẳng, mịn trên ván dăm, ván ép, nhôm, nhựa và thép nhẹ.

Ground Tooth: Răng cưa loại này được mài sắc hơn giúp đường cưa mịn, tuy nhiên vận tốc cưa giảm, đồng thời phần răng cưa ăn nhiều vào vật liệu khiến lưỡi nhanh mòn hơn.

Loại răng	Hình dạng	Ứng dụng
Ground Side		Dạng răng này cho phép cưa cả đường thẳng và đường cong trên vật liệu gỗ và một số loại nhựa.
Ground Taper		Răng dạng côn được xếp thẳng hàng giúp đường cưa chính xác, sạch. Có thể áp dụng cho đường cưa thẳng và cong.
Ground Reverse		Hướng của răng bị ngược. Dùng cho cưa ván ép, melamine và các vật liệu giòn.

**Chiều sâu cắt:** Các loại máy cưa phổ biến trên thị trường có thể có các chiều sâu cắt khác nhau đối với các vật liệu khác nhau. Gỗ: thông thường có thể cắt gỗ với độ sâu từ  $40 \div 150$ ; Kim loại màu: máy cưa lộng thường có chiều sâu cắt từ  $10 \div 40$ ; Thép nhẹ: chiều sâu cắt của máy cưa lộng giảm đi đáng kể vì thép có độ bền cứng hơn nhiều so với gỗ hoặc kim loại màu, rơi vào tầm  $5 \div 15$ . Cần lưu ý rằng khả năng cắt của máy cưa lộng không những phụ thuộc vào vật liệu có thể cắt, mà phụ thuộc vào công suất động cơ.

**Khả năng cắt:** Khả năng cắt của máy cưa lộng phụ thuộc vào các yếu tố: công suất động cơ (hoặc điện áp động cơ), độ dịch dao và tốc độ cắt.

**Công suất:** thông thường công suất của máy cưa lộng khoảng  $400W \div 900W$ .

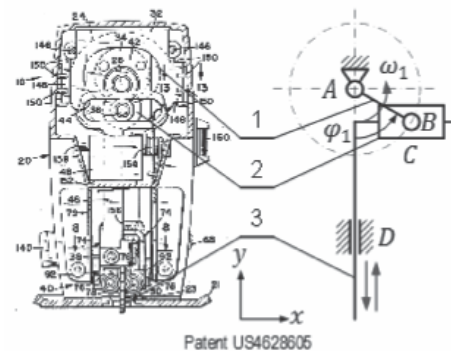
**Độ dịch dao:** khoảng cách tối đa của lưỡi dao khi dịch chuyển lên-xuống khi cắt, thông thường  $18 \div 26$ .

**Tốc độ cắt:** thông thường tốc độ cắt của lưỡi cưa được tính bằng số lần lưỡi cưa lên hoặc xuống/phút (spm), máy cưa lộng thường có tốc độ cắt bằng  $500 \div 3500\text{spm}$ . Tốc độ cao ( $> 2000\text{spm}$ ) sẽ ảnh hưởng khi cắt các vật liệu như nhựa, kim loại do sinh nhiệt làm biến dạng nên khi cắt các vật liệu trên sẽ dùng tốc độ thấp hơn. Thông thường, tốc độ cắt sẽ được chọn dựa theo kinh nghiệm [5].

#### \* Nguyên lý chuyển động của máy cưa:

Có nhiều cơ cấu dùng để biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cưa, nhưng phổ biến nhất là cơ cấu sin, cơ cấu tay quay con trượt, và cơ cấu cam thùng.

Cơ cấu sin:

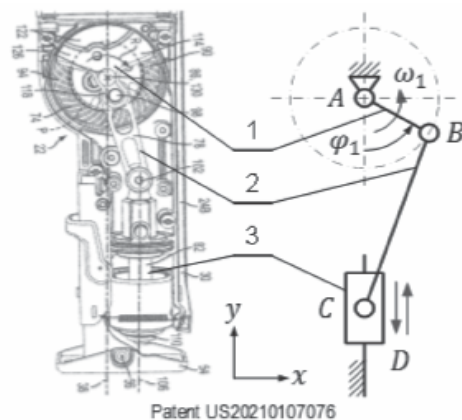


Hình 1. Cơ cấu sin

**Ưu điểm:** Cơ cấu sin có lực cắt cao nhờ vào gia tốc lớn. Sự chuyển đổi trực tiếp từ chuyển động quay sang chuyển động tịnh tiến tăng hiệu suất của máy. Kết cấu đơn giản.


**Nhược điểm:** Tính mài mòn cao do có ma sát giữa ổ lăn và rãnh, lực tiếp xúc cao.

Cơ cấu tay quay con trượt:



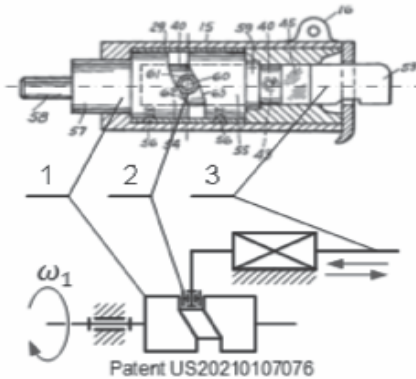
Hình 2. Cơ cấu tay quay con trượt

**Ưu điểm:** Cơ cấu tay quay con trượt không có nhiều khâu, khớp nên hiệu suất cao. Kết cấu đơn giản.

**Nhược điểm:** Gia tốc của cơ cấu không cao bằng cơ cấu sin. 



Cơ cấu cam thừng:



Hình 3. Cơ cấu cam thừng

Ưu điểm: Bản thân cam thừng là một bánh đà, do đó mô-men quán tính của cơ cấu cao, dẫn đến lực cắt cao hơn. Cơ cấu cam có thiết kế gọn, chắc chắn.

Nhược điểm: Ma sát giữa con lăn và cam dẫn đến mài mòn, quá trình sản xuất cam phức tạp.

## 2. PHÂN TÍCH ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC

**Phân tích động học:**

Cơ cấu sin

Cho:  $A(x_A; y_A)$ ;  $l_{AB}$ ;  $\omega_1$ .

Phân tích chuyển vị:

$$\begin{aligned}\vec{r}_A &= [x_A \quad y_A \quad 0]; \quad \vec{r}_B = [x_B \quad y_B \quad 0]; \\ \vec{r}_3 &= [x_3 \quad y_3 \quad 0]; \quad \vec{\varphi}_1 = [0 \quad 0 \quad \varphi_1]; \\ \vec{\omega}_1 &= [0 \quad 0 \quad \omega_1]\end{aligned}$$

Chuyển vị điểm  $B(x_B; y_B)$ :

$$\begin{aligned}x_B &= x_A + l_{AB} \sin \varphi_1 \\ y_B &= y_A + l_{AB} \cos \varphi_1\end{aligned}$$

Vị trí khâu 3 (lưỡi cưa):

$$\begin{aligned}x_3 &= x_A \\ y_3 &= (y_B - y_A) + \sqrt{l_{BD}^2 - (x_B^2 - x_A^2)}\end{aligned}$$

Phân tích vận tốc:

Vận tốc điểm  $A(x_A; y_A)$ :

$$\vec{v}_A = [0 \quad 0 \quad 0];$$

Vận tốc điểm  $B(x_B; y_B)$ :

$$\begin{aligned}\vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA} \\ &= [-(y_B - y_A)\omega_1 \quad (x_B - x_A)\omega_1 \quad 0]\end{aligned}$$

Khâu 3 tịnh tiến theo phương y:

$$\vec{v}_3 = [0 \quad (x_B - x_A)\omega_1 \quad 0]$$

Phân tích gia tốc:

Gia tốc khâu 1:

$$\vec{a}_A = [0 \quad 0 \quad 0]; \quad \vec{a}_1 = [0 \quad 0 \quad 0]$$

Gia tốc điểm  $B(x_B; y_B)$ :

$$\begin{aligned}\vec{a}_B &= \vec{a}_A + \vec{a}_1 \times \vec{r}_{BA} + \vec{\omega}_1 \times (\vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA}) \\ &= -[(x_B - x_A)\omega_1^2 \quad (y_B - y_A)\omega_1^2 \quad 0]\end{aligned}$$

Khâu 3 tịnh tiến theo phương y:

$$\vec{a}_3 = [0 \quad -(y_B - y_A)\omega_1^2 \quad 0]$$

Cơ cấu tay quay con trượt:

Cho:  $A(x_A; y_A)$ ;  $l_{AB}$ ;  $l_{BC}$ ;  $\omega_1$ .

Phân tích chuyển vị:

$$\begin{aligned}\vec{r}_A &= [x_A \quad y_A \quad 0]; \quad \vec{r}_B = [x_B \quad y_B \quad 0]; \\ \vec{r}_C &= [x_C \quad y_C \quad 0]; \quad \vec{\varphi}_1 = [0 \quad 0 \quad \varphi_1]; \\ \vec{v}_A &= [0 \quad 0 \quad 0]\end{aligned}$$



Vị trí điểm B( $x_B$ ;  $y_B$ ):

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + l_{AB} \sin \varphi_1 \\ y_B &= y_A + l_{AB} \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

Vị trí điểm C( $x_C$ ;  $y_C$ ):

$$x_C = x_A$$

$$y_C = (y_B - y_A) + \sqrt{l_{BC}^2 - (x_B^2 - x_A^2)}$$

Phân tích vận tốc:

Vận tốc điểm B( $x_B$ ;  $y_B$ ):

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA} = [-(y_B - y_A)\omega_1 \quad (x_B - x_A)\omega_1 \quad 0]$$

Vận tốc điểm C( $x_C$ ;  $y_C$ ):

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_{CB} = \begin{bmatrix} -(y_B - y_A)\omega_1 - (y_C - y_B)\omega_2 \\ (x_B - x_A)\omega_1 + (x_C - x_B)\omega_2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Khâu 3 di chuyển theo phương y nên:

$$-(y_B - y_A)\omega_1 - (y_C - y_B)\omega_2 = 0$$

Suy ra:

$$\omega_2 = \frac{-(y_B - y_A) \times \omega_1}{y_C - y_B}$$

$$\vec{v}_C = \begin{bmatrix} 0 \\ (x_B - x_A)\omega_1 + (x_C - x_B)\omega_2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Phân tích gia tốc:

Gia tốc điểm B( $x_B$ ;  $y_B$ ):

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{\alpha}_1 \times \vec{r}_{BA} + \vec{\omega}_1 \times (\vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA}) = \begin{bmatrix} -(x_B - x_A)\omega_1^2 \\ -(y_B - y_A)\omega_1^2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Gia tốc điểm C( $x_C$ ;  $y_C$ ):

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{\alpha}_2 \times \vec{r}_{CB} + \vec{\omega}_2 \times (\vec{\omega}_2 \times \vec{r}_{CB})$$

Khâu 3 di chuyển theo phương y:

$$-(x_B - x_A)\omega_1^2 - (y_C - y_B)\alpha_2 - (x_C - x_B)\omega_2^2 = 0$$

Từ đó, gia tốc góc khâu 2 là:

$$\alpha_2 = -\frac{(x_B - x_A)\omega_1^2 + (x_C - x_B)\omega_2^2}{y_C - y_B}$$

Gia tốc điểm C( $x_C$ ;  $y_C$ ):

$$\vec{a}_C = [0 \quad a_C^y \quad 0],$$

$$\text{với } a_C^y = -(y_B - y_A)\omega_1^2 + (x_C - x_B)\alpha_2 - (y_C - y_B)\omega_2^2$$

Cơ cấu cam thùng:

Để thiết kế cam cho máy cửa lồng, chuyển vị của cần nên được tối ưu cho việc cắt, tức không có thời gian cần đứng yên khi cam quay, lực cắt được tạo ra nên là cao nhất, tức gia tốc của cần nên là lớn nhất. Có nhiều loại chuyển vị của cần, chọn loại chuyển vị full rise and full return simple harmonic motion vì có gia tốc lớn nhất. Để tính chuyển vị, vận tốc và gia tốc, ta dùng các phương trình chuyển động của full rise and full return simple harmonic motion [7].

**Phân tích động lực học:**

Ký hiệu:

$$\vec{P}_i = \vec{G}_i + \vec{F}_{I_i} = m_i \vec{g} - m_i \vec{a}_i$$

$$\vec{M}_{G_i} = -I_{G_i} \vec{\alpha}_i$$

với,  $\vec{g}$ : Hằng số trọng lực;  $I_{G_i}$ : Mô-men quán tính khâu i;  $\vec{\alpha}_i$ : Gia tốc góc khâu i;  $\vec{F}_c$ : Lực cản khi cắt. Áp dụng nguyên lý công ảo:

$$\vec{M}_{cb} \vec{\omega}_1 + \sum \vec{M}_{G_i} \vec{\omega}_i + \sum \vec{M}_{P_i} \vec{v}_{S_i} + \vec{F}_c \vec{v}_3 = 0$$



Cơ cấu sin:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{P}_1\vec{v}_{G_1} + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{P}_3\vec{v}_{G_3} + \vec{F}_C\vec{v}_3 = 0$$

Cơ cấu tay quay con trượt:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{M}_{G_1}\vec{\omega}_1 + \vec{M}_{G_2}\vec{\omega}_2 + \vec{P}_1\vec{v}_{G_1} + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{P}_3\vec{v}_{G_3} + \vec{F}_C\vec{v}_3 = 0$$

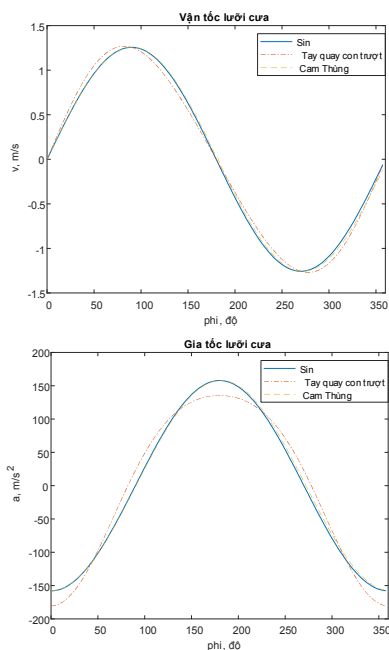
Cơ cấu cam thung:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{F}_C\vec{v}_2 = 0$$

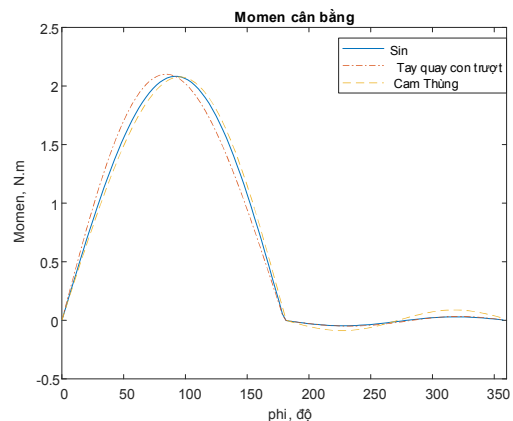
### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Giả sử ba cơ cấu trên đều có cùng một chuyển vị (độ dịch dao), tốc độ góc khâu dẫn như nhau, cùng một lực cản khi cắt như nhau và khối lượng tương đối giống nhau, sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng những phân tích ở Phần II.

Với tốc độ cắt là 2400spm, độ dịch dao 20mm (máy cưa lộng Ingeo mẫu CJSLI8501) và lực cắt là  $F_c = 207N$  [8], ta có kết quả như sau:

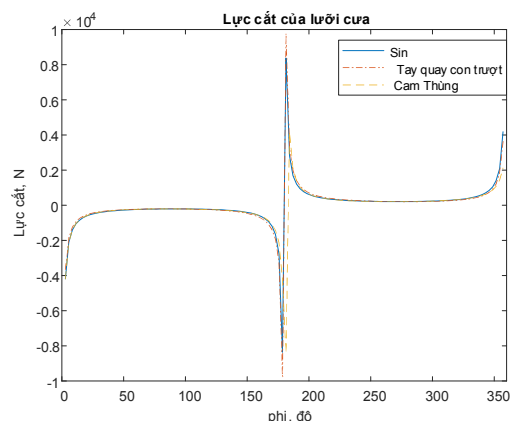


Hình 4. Đồ thị động học



Hình 5. Đồ thị động lực học

Trong trường hợp cùng một mô-men động cơ (ở đây chọn là 2Nm), thì lực cắt được tạo ra:



Hình 5. Đồ thị lực cắt

Trong cả ba cơ cấu, có thể thấy cơ cấu sin và tay quay con trượt cho gia tốc lưỡi cưa lớn nhất, tuy vậy mô-men cân bằng của cơ cấu tay quay con trượt lại lớn hơn hai cơ cấu còn lại. Nếu sử dụng cùng một mô-men động cơ, cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thung. Vì vậy, cơ cấu sin và cơ cấu tay quay con trượt có thể xem là lựa chọn tốt khi thiết kế máy cưa lộng (lực cắt cao hơn và gia công dễ dàng hơn cơ cấu cam thung). Cơ cấu cam thung do thiết kế gọn nhẹ và chắc chắn, có thể

được dùng để gắn lên thiết bị có chuyển động quay khác để tạo thành chuyển động tịnh tiến (ví dụ có thể gắn lên máy khoan để tạo thành máy cưa).

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo khảo sát đặc tính máy cưa lộng (với các cơ cấu khác nhau: tay quay – con trượt, cơ cấu sin, cơ cấu cam thùng), với giả thiết cùng một công suất, cùng chuyển vị của lưỡi cưa trong một vòng quay động cơ, và khối lượng các cơ cấu là tương đối như nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thùng. Kết quả này có thể được sử dụng cho bài toán thiết kế cưa lộng.

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật

Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **03/11/2023**

Ngày phản biện: **25/11/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. S.Paul, “*Design, Construction and Performance Test on Jigsaw Machine*”, Graduation Thesis, Khulna Univ. of Eng. & Technology, Bangladesh, 2018.
- [2]. Bosch, “*Power Tools & Accessories Catalog*”, 2012.
- [3]. C. Graves, “*Jigsaw Blades*”, 2016, [Trực tuyến], <https://knowledge.axminstertools.com/jigsaw-blades/>.
- [4]. Wonkeedonkeetools, 2021, [Trực tuyến], <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/jigsaws/what-is-the-stroke-length-of-a-jigsaw>.
- [5]. Felicia Banciu, Ion Grozav, George Draghici, “*Redesign case of jigsaw*”, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol.6, No.1, 2008
- [7]. Viraj Mehta, Vimal Patel, “*Performance Evaluation of Jigsaw Machine with Kinematic and Stress Analysis*”, Int’l Conf. on Theoretical, India, 2017.

## XU THẾ CỦA Ô TÔ KHÔNG SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU TRUYỀN THỐNG

TREND OF CARS NOT USING TRADITIONAL FUEL

Lê Thượng Hiền, Tô Ngọc Thiện, Lê Hà An, Hoàng Văn Lực  
Trường Đại học Điện lực

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày tổng quan các nghiên cứu này có mục tiêu giúp giảm tác động của ô tô lên môi trường, giảm thiểu nhu cầu sử dụng nhiên liệu và cải thiện hiệu suất, an toàn và tính tiện nghi của các loại xe không dùng nhiên liệu truyền thống. Các xu hướng này đang tạo ra một sự biến đổi đáng kể trong ngành công nghiệp ô tô và đang đóng góp vào việc giảm tác động của ô tô đối với môi trường và cải thiện tính tiết kiệm nhiên liệu, an toàn và tiện nghi cho người sử dụng.*

*Việc sử dụng ô tô không dùng nhiên liệu truyền thống đòi hỏi sự thay đổi cả trong đào tạo, nghiên cứu và sản xuất. Cả ba vấn đề cần song hành và hỗ trợ lẫn nhau cùng với chính sách chung về năng lượng của mỗi quốc gia và toàn thế giới. Điều này tạo cơ sở cho các đơn vị đã và đang đào tạo ngành ô tô nói riêng và cơ khí nói chung cần linh hoạt và đáp ứng được nhanh nhất thay đổi trong thực tiễn.*

**Từ khóa:** Nhiên liệu; Truyền thống.

### ABSTRACT

*In this paper, an overview of these studies with the goal of helping to reduce the impact of cars on the environment, reduce fuel demand and improve the performance, safety and comfort of non-motorized vehicles traditional fuel is presented. These trends are creating a significant transformation in the automotive industry and are contributing to reducing the impact of cars on the environment and improving fuel economy, safety and comfort for user.*

*Using cars that do not use traditional fuel requires changes in training, research and production. All three issues need to go hand in hand and support each other along with the common energy policy of each country and the whole world. This creates a basis for units that have been training the automobile industry in particular and mechanical engineering in general to be flexible and respond quickly to changes in practice.*

**Keywords:** Fuel; Traditional.

## 1. MỞ ĐẦU

Xu hướng ô tô không sử dụng nhiên liệu truyền thống đã trở thành một phần quan trọng của ngành công nghiệp ô tô trong những năm gần đây [1-2]. Điều này xuất phát từ nhiều yếu tố, bao gồm quan ngại về biến đổi khí hậu, đáp ứng yêu cầu về hiệu suất và tiết kiệm nhiên liệu, và phát triển các công nghệ mới. Tổng quan về các xu hướng chính liên quan đến ô tô không sử dụng nhiên liệu truyền thống bao gồm:

**Xe điện:** Nghiên cứu về pin, điện tử và phần mềm để cải thiện hiệu suất và phạm vi của xe điện.

**Xe dùng pin nhiên liệu FCV – Fuel Cell Vehicle hay FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle:** Nghiên cứu về việc sử dụng hydrogen hoặc nhiên liệu khác (ví dụ: nhiên liệu metan) để tạo năng lượng cho xe điện hoặc xe nhiên liệu khác.

**Xe không người lái:** Nghiên cứu về công nghệ tự lái và trí tuệ nhân tạo để phát triển xe không người lái, giúp tăng tính an toàn và hiệu suất của giao thông đường bộ.

**Xe Hybrid:** Xe kết hợp cả điện năng và nhiên liệu bổ sung, như pin nhiên liệu methanol hoặc nhiên liệu khí (CNG), để tạo ra xe hoạt động sạch hơn.

**Vật liệu nhẹ:** Sử dụng các vật liệu nhẹ như sợi carbon và hợp kim nhôm để giảm trọng lượng của xe ô tô, giúp tăng hiệu suất nhiên liệu.

**Hệ thống lưu trữ năng lượng:** Nghiên cứu về pin, ắc quy và các hệ thống lưu trữ năng lượng tiên tiến để cải thiện hiệu suất và thời gian sạc của xe điện.

**Hệ thống sạc và hạ tầng:** Nghiên cứu về phát triển hệ thống sạc nhanh và hạ tầng sạc để hỗ trợ xe điện và các loại xe không sử dụng nhiên liệu truyền thống.

**Nghiên cứu liên quan đến phân phối năng lượng:** Nghiên cứu về cách lưu trữ, chuyển đổi và phân phối năng lượng sạch cho ô tô không sử dụng nhiên liệu truyền thống, bao gồm cả hệ thống sạc công cộng và lưới điện thông minh.

**Quản lý thông tin và dữ liệu xe:** Nghiên cứu về hệ thống thông tin, kết nối internet, và quản lý dữ liệu để tối ưu hóa vận hành và bảo trì xe không sử dụng nhiên liệu truyền thống.

Các hướng nghiên cứu mang tính tích hợp hoặc riêng rẽ cho phép tạo ra các dạng ô tô khác nhau.

## 2. CÁC HƯỚNG NGHIÊN CỨU CHÍNH

### 2.1. Xe điện (EV)

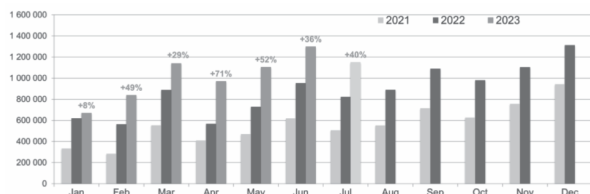
Nghiên cứu về ô tô điện là một lĩnh vực rộng lớn và đa dạng, liên quan đến nhiều khía cạnh khác nhau của công nghệ, hiệu suất và tính tiện ích. Các dạng chính của xe điện bao gồm [1, 3]. Doanh số xe điện toàn cầu hình 1 [1].

**Phát triển pin và ắc quy:** Nghiên cứu liên quan đến công nghệ pin và ắc quy để cải thiện hiệu suất, tuổi thọ và khả năng lưu trữ năng lượng của ô tô điện. Bao gồm nghiên cứu về các loại pin mới, cải thiện khả năng sạc nhanh và tối ưu hóa quy trình sạc lại.

**Hiệu suất và tối ưu hóa hệ thống điện năng:** Nghiên cứu về tối ưu hóa hệ thống điện năng của ô tô điện, bao gồm động cơ, hệ thống truyền động và bộ điều khiển, để cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng.



Hệ thống quản lý năng lượng: Phát triển các hệ thống quản lý năng lượng thông minh để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng trong ô tô điện, bao gồm việc dự đoán phạm vi và tùy chỉnh dựa trên điều kiện giao thông và địa hình.



Hình 1. Doanh số xe điện toàn cầu

Tương tác xe hơi với lưới điện thông minh: Nghiên cứu về cách các ô tô điện có thể tương tác với lưới điện thông minh để tối ưu hóa sạc và giảm tải lưới trong thời gian cao điểm.

Vật liệu nhẹ và cấu trúc xe hơi: Sử dụng vật liệu nhẹ như sợi carbon và hợp kim nhôm để giảm trọng lượng của xe hơi và tăng hiệu suất nhiên liệu.

Sáng tạo trong thiết kế xe hơi: Nghiên cứu về thiết kế xe hơi sáng tạo để tối ưu hóa tính năng và tiện nghi, bao gồm cải thiện khả năng thông gió, tối ưu hóa không gian nội thất và cải thiện khả năng aerodynamic.

Hệ thống an toàn và tự lái: Nghiên cứu về công nghệ tự lái và hệ thống an toàn để đảm bảo rằng ô tô điện là an toàn và tiện ích cho người lái và hành khách.

Hạ tầng sạc: Nghiên cứu về phát triển hạ tầng sạc, bao gồm hệ thống sạc nhanh và cơ sở hạ tầng sạc trên đường phố và các điểm dừng.

Sự tiếp cận đối với xe điện: Nghiên cứu về cách tạo ra mô hình kinh doanh và giá cả

hợp lý để tạo sự tiếp cận và sử dụng xe điện dễ dàng hơn cho mọi người.

## 2.2. Xe dùng Pin nhiên liệu [2, 3]

Các nghiên cứu về xe dùng nhiên liệu (Fuel Cell Vehicle – FCV) tập trung vào phát triển và tối ưu hóa công nghệ nhiên liệu cô, đặc biệt là hydrogen, để sử dụng trong ô tô.

Phát triển hệ thống nhiên liệu: Nghiên cứu về cách tạo ra, lưu trữ và phân phối hydrogen một cách hiệu quả và an toàn để sử dụng trong các FCV.

Hệ thống truyền động: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa hệ thống truyền động của FCV, bao gồm các loại động cơ và hệ thống truyền động để cải thiện hiệu suất và hiệu quả nhiên liệu.

Hệ thống lưu trữ hydrogen: Nghiên cứu về cách lưu trữ hydrogen một cách an toàn và hiệu quả trong các bình chứa hoặc ắc-quy.

Hiệu suất và tích hợp năng lượng: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa hiệu suất tổng thể của FCV và tích hợp các hệ thống để tạo ra và sử dụng năng lượng hiệu quả.

An toàn: Nghiên cứu về các yếu tố liên quan đến an toàn trong việc sản xuất, vận hành và bảo dưỡng FCV, bao gồm an toàn nhiên liệu cô và xử lý sự cố.

Hệ thống nạp nhanh: Phát triển hệ thống nạp nhanh để làm cho việc nạp hydrogen trở nên nhanh chóng và tiện lợi hơn.

Lược đồ phát triển và đầu tư: Nghiên cứu về các chính sách công cộng và kế hoạch đầu tư để thúc đẩy sự phát triển và sử dụng FCV.



Ứng dụng và phân phối đô thị: Nghiên cứu về cách tích hợp FCV vào hạ tầng giao thông và hạ tầng nhiên liệu cỏ trong các đô thị. Giám giá thành: Nghiên cứu về cách giảm giá thành sản xuất FCV để làm cho chúng trở nên cạnh tranh với xe hơi truyền thống.

Nghiên cứu về FCV nhằm giải quyết một số thách thức quan trọng, bao gồm vấn đề về lưu trữ và phân phối hydrogen, hiệu suất và hiệu quả nhiên liệu, an toàn và tích hợp năng lượng, để làm cho FCV trở thành một phương tiện giao thông sạch và bền vững.

### 2.3. Xe tự lái [5]

Các hướng nghiên cứu về xe không người lái (Autonomous Vehicles – AVs) là một lĩnh vực đầy triển vọng và phức tạp, được đầu tư mạnh mẽ bởi nhiều công ty công nghệ và tổ chức nghiên cứu.

Hệ thống cảm biến và thị giác máy tính: Phát triển và cải thiện các hệ thống cảm biến (LIDAR, radar, camera, ultrasonic) và công nghệ thị giác máy tính để xe có khả năng phát hiện và hiểu môi trường xung quanh.

Hệ thống quyết định và dự đoán: Nghiên cứu về cách xe tự lái có thể phân tích dữ liệu từ cảm biến, dự đoán hành vi của người tham gia giao thông và ra quyết định an toàn và hiệu quả.

Tự động hóa hoạt động giao thông: Nghiên cứu về cách xe không người lái tương tác với nhau và với hệ thống giao thông thông qua giao tiếp V2V (Vehicle-to-Vehicle) và V2I (Vehicle-to-Infrastructure), để tối ưu hóa luồng giao thông và đảm bảo an toàn.

An toàn và bảo mật: Nghiên cứu về cách bảo đảm an toàn và bảo mật của hệ thống

và dữ liệu của xe không người lái khỏi các nguy cơ như tấn công mạng.

Tích hợp và hội tụ công nghệ: Nghiên cứu về cách tích hợp công nghệ tự lái vào xe hơi hiện tại và phát triển một hệ thống hoàn chỉnh.

Phân loại và quy tắc pháp luật: Nghiên cứu về quy tắc pháp luật và phân loại xe không người lái, cũng như cách xây dựng chính sách và quy định để đảm bảo an toàn và hợp pháp.

Sử dụng và chấp nhận người dùng: Nghiên cứu về tư duy, sự chấp nhận và kỳ vọng của người dùng đối với xe không người lái và cách thiết kế giao diện người dùng.

Ứng dụng và ngành công nghiệp: Nghiên cứu về cách áp dụng công nghệ xe không người lái vào các ngành công nghiệp khác nhau, bao gồm giao thông hàng hải, nông nghiệp, vận tải hàng hóa và dịch vụ giao hàng.

Khả năng phục hồi và khắc phục sự cố: Nghiên cứu về cách xe tự lái có thể xử lý các tình huống khẩn cấp và đảm bảo khả năng phục hồi sau sự cố hoặc lỗi.

Hình thái hóa và thiết kế hạ tầng: Nghiên cứu về cách xây dựng và duy trì hạ tầng đường đi để hỗ trợ xe không người lái, bao gồm cả hệ thống đường thông minh và biển báo giao thông.

Những nghiên cứu này giúp cải thiện hiệu suất và an toàn của xe không người lái, đồng thời định hình tương lai của ngành công nghiệp ô tô và giao thông.

### 2.4. Xe Hybrid [1-4]

Xe hybrid là loại xe sử dụng cả hai 

nguồn năng lượng, thường là động cơ đốt trong và động cơ điện, để cải thiện hiệu suất và tiết kiệm nhiên liệu.

Phát triển công nghệ pin và ắc quy: Nghiên cứu và phát triển công nghệ pin và ắc quy để cải thiện hiệu suất và thời gian sạc của động cơ điện trong xe hybrid.

Tích hợp động cơ điện và động cơ đốt trong: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa tích hợp giữa động cơ điện và động cơ đốt trong để đảm bảo hiệu suất tốt nhất và tiết kiệm nhiên liệu.

Hệ thống lưu trữ năng lượng: Nghiên cứu về các hệ thống lưu trữ năng lượng tiên tiến để cải thiện khả năng tái sử dụng năng lượng và tối ưu hóa hiệu suất.

Hệ thống sạc: Phát triển hệ thống sạc nhanh và hiệu quả cho động cơ điện trong xe hybrid để giảm thời gian sạc lại và tăng sự tiện lợi.

Hệ thống quản lý thông tin và dữ liệu xe: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa hệ thống quản lý thông tin và dữ liệu để cải thiện hiệu suất và tiết kiệm nhiên liệu của xe hybrid.

Hệ thống truyền động: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa hệ thống truyền động của xe hybrid để đảm bảo hiệu suất tốt nhất và giảm tiêu thụ nhiên liệu.

Sử dụng nhiên liệu thay thế: Nghiên cứu về cách sử dụng nhiên liệu thay thế, như ethanol, methanol hoặc nhiên liệu khí, để cải thiện tính thân thiện với môi trường và giảm tác động khí nhà kính.

Hệ thống an toàn và tự lái: Nghiên cứu về cách tích hợp công nghệ an toàn và tự lái vào xe hybrid để cải thiện an toàn và tiện ích.

Tự động hóa hoạt động giao thông: Nghiên cứu về cách tích hợp xe hybrid vào hệ thống giao thông tự động hóa và tối ưu hóa giao thông đô thị.

Tích hợp và hội tụ công nghệ: Nghiên cứu về cách tích hợp công nghệ tự lái, điện tử và năng lượng tái tạo vào xe hybrid để cải thiện hiệu suất và tiết kiệm nhiên liệu.

Những nghiên cứu này nhằm mục tiêu cải thiện hiệu suất và tính tiện ích của xe hybrid, giúp giảm tiêu thụ nhiên liệu và tác động môi trường.

### 2.5. Vật liệu [6]

Nghiên cứu về vật liệu nhẹ trong ngành công nghiệp ô tô đang ngày càng quan trọng, bởi vì giảm trọng lượng của xe hơi có thể cải thiện hiệu suất nhiên liệu, giảm tác động môi trường và tăng hiệu suất lái xe.

Aluminum (Nhôm): Nhôm là một trong những vật liệu nhẹ phổ biến được sử dụng trong ngành công nghiệp ô tô. Nghiên cứu xoay quanh phát triển và cải tiến các hợp kim nhôm và kỹ thuật gia công để giảm trọng lượng và tăng tính bền cho các bộ phận ô tô.

Carbon Fiber (Sợi Carbon): Sợi carbon là một vật liệu siêu nhẹ và cứng. Nghiên cứu liên quan đến cách sử dụng sợi carbon để tạo ra các bộ phận xe hơi nhẹ hơn và mạnh mẽ hơn, ví dụ như thân xe và bộ khung.

Composite Materials (Vật liệu ghép): Vật liệu ghép kết hợp các loại vật liệu khác nhau để tạo ra sự kết hợp tối ưu của tính chất vật lý. Các nghiên cứu xoay quanh cách sử dụng các loại composite để giảm trọng lượng và tăng độ bền của xe hơi.

**Magnesium (Ma-giê):** Ma-giê là một kim loại nhẹ và có tiềm năng sử dụng trong các bộ phận không quan trọng như bánh xe và cầu trục bên ngoài để giảm trọng lượng.

**Ti Alloy (Hợp kim Titan):** Hợp kim titan có khả năng chống ăn mòn và nhẹ, có thể được sử dụng trong các bộ phận như ống xả và phụ tùng máy để giảm trọng lượng.

**Polymers and Plastics (Polyme và Nhựa):** Polyme và nhựa nhẹ có thể được sử dụng trong các bộ phận như bảng điều khiển và vỏ ngoài để giảm trọng lượng và tạo ra các bộ phận có tính năng cơ học tốt.

**Nanostructured Materials (Vật liệu có cấu trúc nano):** Sử dụng công nghệ nano để cải thiện tính chất vật lý của các vật liệu khác như thép và nhôm để tạo ra các sản phẩm nhẹ hơn và cứng hơn.

**Biomaterials (Vật liệu sinh học):** Sử dụng vật liệu có nguồn gốc từ thiên nhiên, chẳng hạn như sợi gai dầu hoặc gỗ, để thay thế các vật liệu truyền thống trong một số bộ phận ô tô và giảm trọng lượng.

**Các kỹ thuật gia công tiên tiến:** Nghiên cứu về cách sử dụng kỹ thuật gia công hiện đại, chẳng hạn như chấn hình, để tạo ra các sản phẩm nhẹ và chính xác.

Các nghiên cứu về vật liệu cho phép giảm bớt tải trọng không cần thiết cũng như tăng độ an toàn, độ bền cho xe.

## 2.6. Lưu trữ năng lượng [1-4]

Nghiên cứu về hệ thống lưu trữ năng lượng cho ô tô tập trung vào phát triển và cải thiện các công nghệ lưu trữ năng lượng, đặc

biệt là pin và ắc-quy, để cung cấp năng lượng cho động cơ điện và các thiết bị điện tử trên xe. Phát triển công nghệ pin: Nghiên cứu về cách cải thiện hiệu suất và tuổi thọ của pin xe điện. Điều này bao gồm phát triển các loại pin mới, cải thiện mật độ năng lượng và tối ưu hóa việc quản lý nhiệt độ để giảm tình trạng mất điện.

**Ắc quy lithium-ion:** Nghiên cứu về phát triển ắc quy lithium-ion để cải thiện sức chứa, hiệu suất và tuổi thọ. Các nghiên cứu này thường tập trung vào việc sử dụng các loại vật liệu an toàn và tiết kiệm năng lượng.


**Pin nhiên liệu (Fuel Cell):** Nghiên cứu về cách phát triển hệ thống lưu trữ hydrogen an toàn và hiệu quả để sử dụng trong xe điện nhiên liệu (Fuel Cell Vehicle – FCV).

**Hệ thống quản lý năng lượng:** Phát triển các hệ thống quản lý năng lượng thông minh để tối ưu hóa sử dụng năng lượng trong hệ thống lưu trữ và phân phối năng lượng đến các thiết bị trên xe.

**Hệ thống sạc nhanh:** Nghiên cứu về cách phát triển hệ thống sạc nhanh để giảm thời gian sạc lại xe và tạo sự tiện lợi cho người sử dụng.

**Năng lượng tái sử dụng và hệ thống tái sử dụng nhiên liệu:** Nghiên cứu về cách sử dụng năng lượng tái sử dụng từ phanh và hệ thống tái sử dụng nhiên liệu để cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng.

**An toàn và bảo dưỡng:** Nghiên cứu về cách đảm bảo an toàn trong việc quản lý năng lượng và bảo dưỡng hệ thống lưu trữ năng lượng để đảm bảo tính tin cậy và an toàn của xe.

**Sử dụng năng lượng tái sử dụng:** Nghiên cứu về cách sử dụng năng lượng tái sử dụng từ 

các nguồn năng lượng tái tạo, chẳng hạn như năng lượng mặt trời và gió, để sạc lại hệ thống lưu trữ năng lượng của xe.

Các nghiên cứu này giúp cải thiện hiệu suất và tính năng cho xe.

### 2.7. Hệ thống sạc [1-4]

Các nghiên cứu về hệ thống sạc cho ô tô tập trung vào phát triển và cải thiện các công nghệ sạc ô tô để giúp xe điện nạp năng lượng một cách hiệu quả và tiện lợi. Dưới đây là một số chủ đề nghiên cứu quan trọng liên quan đến hệ thống sạc cho ô tô:

Sạc nhanh: Nghiên cứu về cách phát triển hệ thống sạc nhanh để giảm thời gian sạc lại xe và tạo sự tiện lợi cho người sử dụng. Các tiêu chuẩn như CCS (Combined Charging System) và CHAdeMO đang được phát triển để hỗ trợ sạc nhanh.

Hạ tầng sạc: Nghiên cứu về cách phát triển hạ tầng sạc, bao gồm việc xây dựng cơ sở hạ tầng công cộng và cách tích hợp sạc trong các đô thị và khu dân cư. Điều này bao gồm cả việc cải thiện tiện ích và tạo điều kiện cho sạc ở nơi làm việc và các khu vực công cộng khác.

Trạm sạc không dây: Nghiên cứu về cách phát triển công nghệ sạc không dây để xe có thể nạp năng lượng mà không cần kết nối dây. Các tiêu chuẩn như Qi và SAE J2954 đang được phát triển để hỗ trợ sạc không dây.

Sạc từ nguồn năng lượng tái sử dụng: Nghiên cứu về cách sử dụng năng lượng tái sử dụng từ nguồn như năng lượng mặt trời hoặc gió để sạc lại xe, giúp giảm tác động môi trường và chi phí năng lượng.

Tích hợp hệ thống sạc thông minh: Nghiên cứu về cách tích hợp hệ thống sạc thông minh để quản lý tài nguyên năng lượng một cách hiệu quả, quản lý đỉnh tải và giúp giảm chi phí sạc điện.

Sạc trong nhà: Nghiên cứu về cách tích hợp hệ thống sạc trong nhà để cung cấp sự tiện lợi cho người sử dụng xe điện tại nhà.

Sạc trong hệ thống giao thông tự động: Nghiên cứu về cách tích hợp hệ thống sạc trong hệ thống giao thông tự động hóa, cho phép xe tự động sạc lại khi cần.

Phát triển ắc-quy: Nghiên cứu về cách cải thiện hiệu suất và tuổi thọ của ắc-quy để sạc lại một cách hiệu quả và bền vững.

Tương tác người-máy: Nghiên cứu về cách tạo ra giao diện người dùng thông minh để quản lý quá trình sạc và thông tin về sạc.

Các nghiên cứu này nhằm mục tiêu cải thiện hiệu suất và tiện ích của hệ thống sạc cho ô tô điện.

### 2.8. Hệ thống phân phối năng lượng [1, 3, 5, 7]

Các nghiên cứu liên quan đến phân phối năng lượng cho ô tô tập trung vào cách cung cấp năng lượng cho các phương tiện di chuyển, đặc biệt là xe điện, một cách hiệu quả, an toàn và bền vững.

Hạ tầng sạc công cộng: Nghiên cứu về cách xây dựng và quản lý hạ tầng sạc công cộng để đảm bảo tiện ích và tiện lợi cho người sử dụng xe điện. Điều này bao gồm cả việc đặt chỗ, quản lý trạm sạc và tích hợp với hệ thống giao thông tự động.

Hệ thống giao thông tự động: Nghiên cứu về cách tích hợp xe điện vào hệ thống giao thông tự động, bao gồm cả cơ chế giao tiếp xe-tơ (V2G) và tương tác với hạ tầng thông minh để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và giảm tắc nghẽn giao thông.

Hệ thống quản lý năng lượng: Phát triển các hệ thống quản lý năng lượng thông minh để tối ưu hóa sử dụng năng lượng, quản lý đỉnh tải và cung cấp dự báo về nhu cầu năng lượng.

Phát triển hạ tầng sạc động: Nghiên cứu về cách xây dựng và quản lý hạ tầng sạc động, bao gồm các hệ thống sạc không dây và sạc năng lượng tái sử dụng từ phanh regenerative.

Năng lượng tái sử dụng và năng lượng tái sử dụng nhiên liệu: Nghiên cứu về cách sử dụng năng lượng tái sử dụng từ nguồn như năng lượng mặt trời, gió và từ các quá trình tái sử dụng nhiên liệu.

Tích hợp và tối ưu hóa điểm sạc: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa vị trí và tích hợp của các điểm sạc trong các đô thị và khu dân cư để đảm bảo sự tiện lợi cho người sử dụng.

Chính sách và quy định: Nghiên cứu về cách xây dựng chính sách và quy định liên quan đến phân phối năng lượng cho xe điện, bao gồm cả các tiêu chuẩn sạc và tiêu chuẩn giao tiếp xe-tơ.

Tương tác người-máy: Nghiên cứu về cách tạo ra giao diện người dùng thông minh để quản lý quá trình sạc và thông tin về sạc.

Các nghiên cứu này giúp tạo ra một hạt nền cơ sở hạ tầng hỗ trợ cho xe điện và đảm bảo rằng phân phối năng lượng cho các phương tiện di chuyển được thực hiện một cách hiệu quả và bền vững.

## 2.9. Quản lý xe [1, 7]

Các nghiên cứu về quản lý thông tin và dữ liệu xe tập trung vào phát triển công nghệ và quy trình để thu thập, xử lý, lưu trữ và sử dụng dữ liệu từ các phương tiện di chuyển, đặc biệt là xe ô tô.

Internet of Things (IoT) cho xe ô tô: Nghiên cứu về cách tích hợp các thiết bị IoT vào xe ô tô để thu thập dữ liệu về tình trạng xe, điều kiện môi trường và thông tin giao thông.


Hệ thống telematics: Phát triển các hệ thống telematics để thu thập dữ liệu từ các cảm biến trên xe ô tô và truyền dữ liệu này đến hệ thống thông tin trên mây hoặc ứng dụng di động để theo dõi và quản lý xe.

Bảo mật dữ liệu: Nghiên cứu về cách bảo vệ dữ liệu của xe ô tô khỏi các mối đe dọa bảo mật, chẳng hạn như tấn công mạng hoặc lộ thông tin cá nhân.

Học máy và trí tuệ nhân tạo (AI): Sử dụng công nghệ học máy và trí tuệ nhân tạo để phân tích dữ liệu từ xe ô tô để cải thiện hiệu suất, dự đoán bảo dưỡng và tối ưu hóa quá trình lái xe.

Tương tác người-máy: Nghiên cứu về cách tạo ra giao diện người dùng thông minh và tương tác giữa người và máy để quản lý thông tin và dữ liệu của xe ô tô.

Quản lý năng lượng và tiết kiệm nhiên liệu: Sử dụng dữ liệu từ xe ô tô để tối ưu hóa quá trình lái xe và quản lý năng lượng để giảm tiêu thụ nhiên liệu.

Chia sẻ dữ liệu giữa xe ô tô: Nghiên cứu về cách các xe ô tô có thể chia sẻ dữ liệu 



với nhau để cải thiện an toàn và thông tin giao thông.

Dữ liệu địa lý: Sử dụng dữ liệu địa lý để cải thiện hệ thống định vị, thông tin giao thông và dự đoán lộ trình.

Dữ liệu vận tải công cộng: Tích hợp dữ liệu vận tải công cộng vào hệ thống thông tin của xe ô tô để cung cấp thông tin về lịch trình và tùy chọn di chuyển đa dạng.

Phân tích dữ liệu lớn (Big Data): Sử dụng phân tích dữ liệu lớn để xử lý và hiểu dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau để cải thiện quản lý xe ô tô.

Các nghiên cứu về quản lý thông tin và dữ liệu xe ô tô giúp tối ưu hóa việc quản lý và sử dụng thông tin liên quan đến xe ô tô, cải thiện an toàn và hiệu suất của xe, tạo ra trải nghiệm lái xe thông minh hơn.

### 3. KẾT LUẬN

Các nghiên cứu nhằm mục đích chính, bảo đảm ngành công nghiệp ô tô tiếp tục đổi mới cải tiến và đáp ứng các tiêu chuẩn về khí nhà kính. Các tổng hợp cho phép các nhà

nghiên cứu, nhà giáo, sinh viên và các nhà sản xuất ô tô có sự lựa chọn phù hợp với xu thế chung trong quá trình hội nhập. ❖

Ngày nhận bài: **18/11/2023**

Ngày phản biện: **07/12/2023**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. The 2022 *EPA Automotive Trends Report*, EPA-420-S-22-001 December 2022.
- [2]. Bhanu Prakash Sandaka, *Alternative vehicular fuels for environmental decarbonization: A critical review of challenges in using electricity, hydrogen, and biofuels as a sustainable vehicular fuel*. Chemical Engineering Journal Advances, Volume 14, 15 May 2023, 100442.
- [3]. <https://www.caranddriver.com/research/a32781943/electric-cars-vs-gas-cars/>
- [4]. International Energy Agency. (2023, Apr. 5). Global electric car stock, 2010-2022. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2010-2022>
- [5]. <https://www.shellecomarathon.com/stories/autonomous-vehicles.html>
- [6]. Wen Zhang, *Advanced lightweight materials for Automobiles: A review*, *Materials & Design*. Volume 221, September 2022, 110994.
- [7]. <https://builtin.com/internet-things/iot-in-vehicles>.



# THIẾT KẾ BĂNG TẢI TỰ ĐỘNG DÙNG VÍT ME

## DESIGNING AUTOMATIC CONVEYOR BY LEAD SCREW

Lê Thượng Hiền, Tô Ngọc Thiện, Lê Hà An, Hoàng Văn Lực  
Trường Đại học Điện lực

### TÓM TẮT

*Trong bài báo này, phương pháp thiết kế kết hợp giữa các cảm biến vào hệ thống xi lanh và vít me được trình bày. Đồng thời, tận dụng nguyên lý của vít me để vận chuyển hàng hoá. Băng tải hoạt động bằng cách nhận diện tín hiệu của cảm biến được đặt ở mỗi phần. Việc này cho phép dễ dàng nhận diện, có lỗi hay không có lỗi và toàn bộ quá trình được giám sát và hiệu chỉnh phù hợp thời gian thực.*

**Từ khóa:** Băng tải; Vít me.

### ABSTRACT

*In this paper, the design method of combining sensors into the cylinder and lead screw system is presented. It combined the sensor system into the cylinder and lead screw system, and at the same time make use of the lead screw mechanism to transport goods. The conveyor works by detecting the signal of the sensor placed in each section. This allows for easy identification if errors are present and the entire process is monitored and calibrated in real time.*

**Keywords:** Conveyor; Screw shaft.

### 1. MỞ ĐẦU

Hệ thống băng tải được lắp đặt kết nối với nhau sẽ tạo một hệ thống hoạt động độc lập, góp phần xây dựng quá trình sản xuất chuyên nghiệp, năng động và tự động hóa, đồng thời trợ giúp con người giải phóng sức lao động, mang lại hiệu quả kinh tế cao trong sản xuất công nghiệp.

Trong ngành công nghiệp nặng, hệ thống băng tải được ứng dụng trong các nhà máy xi nghiệp khai thác khoáng sản, kho bãi hay các trạm trung chuyển hàng hóa tại các cảng sông, cảng biển,... Nó là một trong những

mắt xích không thể tháo rời của hệ thống sản xuất. Trong lĩnh vực xây dựng, băng tải được sử dụng với mục đích chuyên chở vật liệu xây dựng lên xuống độ cao khác nhau và có khả năng vận chuyển trên mọi địa hình, giúp tiết kiệm tối đa sức lực và chi phí thuê nhân công.

Trong đời sống, hệ thống băng tải có khả năng làm việc trong môi trường có công suất cao và liên tục. Sự ra đời của băng tải giúp nâng cao năng suất lao động và tăng tỉ lệ sản phẩm, mang lại lợi nhuận lớn cho doanh nghiệp. Các thiết bị vận tải liên tục được ứng dụng rất rộng rãi và phổ biến từ rất lâu nhờ các ưu điểm của nó như chế tạo đơn giản, năng suất



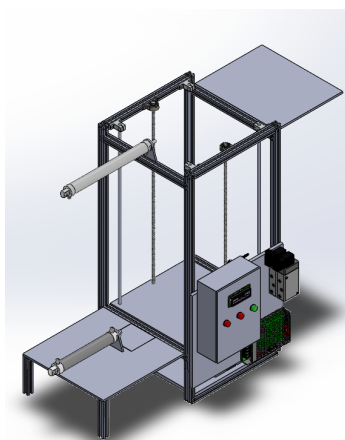
lớn, độ bền cao, tiêu hao năng lượng không lớn lắm. Chính nhờ các ưu điểm đó mà các thiết bị vận tải liên tục không ngừng được cải tiến để nâng cao năng suất, tiết kiệm năng lượng, phù hợp với điều kiện môi trường, giảm hao phí vật liệu khi vận chuyển...

Với thiết kế kết hợp hệ thống cảm biến vào hệ thống xi lanh và vít me, đồng thời tận dụng nguyên lý của vít me để vận chuyển hàng hoá là phù hợp với yêu cầu thực tiễn.

## 2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG

Nghiên cứu kết hợp hệ thống cảm biến vào hệ thống xi lanh, cũng như vào hệ thống vít me và tận dụng nguyên lý của vít me để nâng hạ các chi tiết và cùng với khả năng dịch chuyển của xi lanh để vận chuyển hàng hoá.

Hoạt động dựa trên nhận diện tín hiệu của cảm biến được đặt ở mỗi phần để nhằm dễ dàng nhận diện nếu có lỗi hay không thì mọi quá trình sẽ được hiển thị trên một màn hình nhất định.



Hình 1. Hệ thống nâng hạ bằng vít me

Để tính toán, lựa chọn các thiết bị và cơ cấu hợp lý, ở đây sử dụng các ứng dụng sẵn có và hiện đại như tính động cơ trên orientalmotor.

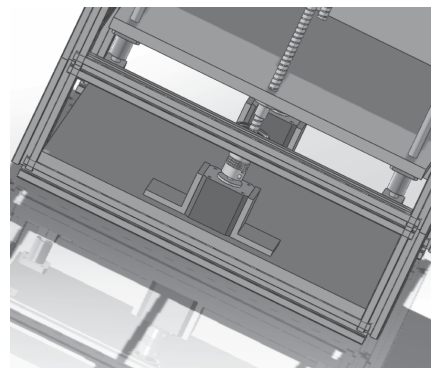
com. Các thông số chính như: Khối lượng hàng hoá trên băng tải, khối lượng tổng cơ cấu và tải hàng hoá; Để lựa chọn động cơ bước phù hợp là cần căn cứ vào: mô-men tải quy đổi, mô-men quán tính, số vòng quay tối đa (như hình 2).

Hình 2. Dữ liệu đầu vào tính động cơ [2]

Hình 3. Kết quả tính động cơ [2]

Các kết quả thu được sử dụng để lựa chọn động cơ hợp lý (hình 3).

Cùng với đó, thực hiện tính toán bộ truyền vít – đai ốc và các kết cấu liên quan (hình 4).



Hình 4. Các kết cấu liên quan [1]

Phần điều khiển sử dụng vi xử lý với sơ đồ thuật toán như hình 5. Các thông số liên quan bao gồm:

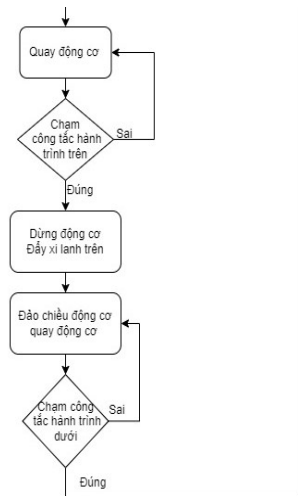
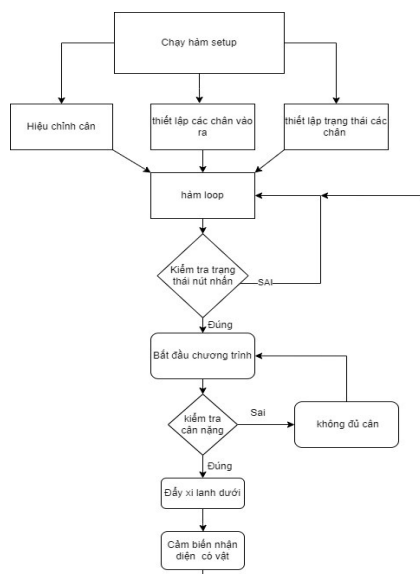
Cách kết nối:

- JD-VCC hoặc VCC: Cung cấp nguồn 5V DC-GND; nối đất.
- COM/NO/NC:
  - + Tín hiệu điều khiển mức thấp: Relay (ON), chân COM-NC được kết nối.
  - + Tín hiệu điều khiển mức cao: Relay (OFF), chân COM-NO được kết nối.

Ta chọn nguồn: 24VDC/5A với giá thành rẻ, được sử dụng phổ biến và đảm bảo điều kiện hoạt động các thiết bị.

Thông số kỹ thuật:

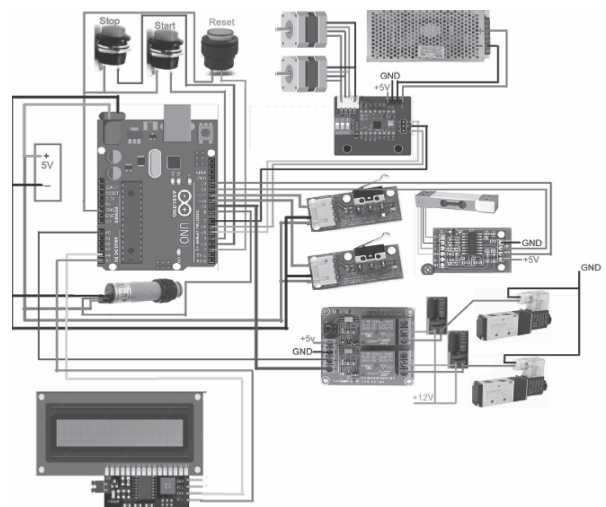
- Điện áp vào: 180-240VAC.
- Điện áp ra: 24VDC.
- + Điện áp điều chỉnh:  $\pm 10\%$ ;
- + Dòng điện: 5A.
- Kích thước: 198x98x42mm.
- Chức năng bảo vệ: Công suất quá tải là 105~150%; Bảo vệ quá áp là 10% Uđm.



Hình 5. Lưu đồ thuật toán cho chương trình tự động [3]

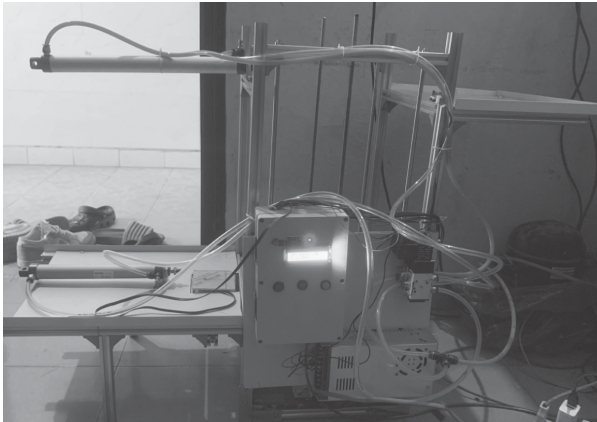
Với thuật toán hợp lý và các cơ cấu điều khiển, thiết kế mạch điều khiển tổng quát hình 6.

- STAR: Mục đích khi bật máy lên thì bấm nút đó hệ thống sẽ tự động nạp câu lệnh vào Arduino để bắt đầu điều khiển.
- STOP: Ngắt nguồn điện cấp vào trong Arduino.
- RESET: Nhằm khởi tạo trở lại vị trí ban đầu và chạy một chương trình mới.



Hình 6. Mạch tổng quát

Việc tự thiết kế mạch dựa trên mô phỏng code Arduino và lắp ráp chạy thử từng phần. Cuối cùng tổ hợp lại và kiểm tra lỗi chung tổng thể về việc thiết kế mạch, cho phép rút ngắn thời gian và tối ưu hóa thiết bị.



Hình 7. Mô hình thực

Việc thiết kế 2D, 3D, lập trình, lắp ráp linh kiện để đạt được tổng thành đầy đủ như hình 7 là mô tả mô hình thực tế sau khi tính toán. Mô hình này cho phép mở rộng và nâng cấp phù hợp với các yêu cầu.

### 3. KẾT LUẬN

Hệ thống băng tải dùng vít me cho phép vận chuyển vật liệu, hàng hóa nhẹ tới những bộ phận được chỉ định sẵn. Đặc biệt như tải linh kiện điện tử, vật liệu phòng sạch, dây chuyền

băng tải chế biến đóng gói, dây chuyền phân loại. Băng chuyền tự động được sử dụng trong các nhà máy ráp bo mạch điện tử, các công ty sản xuất giày dép, doanh nghiệp chế biến thủy hải sản,... để tự động hóa các quy trình sản xuất.

Với cách sử dụng vít me thiết bị đơn giản và giá thành phù hợp. Bài tính thiết kế cũng phục vụ tốt cho cơ sở dữ liệu đồ án môn học và bài giảng dùng trong các trường đại học và cao đẳng. ❖

Ngày nhận bài: **25/11/2023**

Ngày phản biện: **12/12/2023**

### Tài liệu tham khảo:

- [1] Trịnh Chắt, *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2012.
- [2]. O. W. Obot, *Design and Production of a Screw Conveyor with an Automated Bagging Unit*, International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) ISSN (Online): 2319-6734, ISSN (Print): 2319-6726, [www.ijesi.org](http://www.ijesi.org) || Volume 9 Issue 3 Series.II || Mar.2020 || PP 28-34.
- [3]. <https://www.scribd.com/document/90233240/Screw-Conveyor-Engineering-Guide>.
- [4]. <https://docs.arduino.cc/retired/other/arduino-robot>.

# GIẢI PHÁP GIẢM NHIỆT ĐỘ DẦU HỘP SỐ TẢI VÀ BUỒNG MÁY CHO CẦU TRỤC CHÂN ĐẾ TẠI KHO CẢNG BẮC VÂN PHONG

REDUCE THE TEMPERATURE OF TRANSMISSION GEAR OIL AND ENGINE CHAMBER OF MACGREGOR CRANE IN NORTH VAN PHONG PORT

**Bùi Quốc Huy\*, Vũ Văn An, Trần Bá Tuyên**

Công ty Kinh doanh than Đông Bắc Miền Nam, Chi nhánh Tổng công ty Đông Bắc

## TÓM TẮT

*Cầu trục Macgregor GL 4036-2 là thiết bị quan trọng của hệ thống xuất nhập than của kho cảng Bắc Vân Phong. Nhiệt độ của dầu hộp số tải và buồng máy ảnh hưởng nhiều đến an toàn và hiệu quả làm việc của cầu trục Macgregor. Nội dung của bài báo đi phân tích giải pháp giảm nhiệt độ dầu hộp số tải và buồng máy của cầu trục để nâng cao công tác an toàn và vận hành của hệ thống.*

**Từ khóa:** Nhập than; Dầu hộp số; Buồng máy.

## ABSTRACT

*The Macgregor GL 4036-2 crane is an important equipment of the coal import-export system of Bac Van Phong port. The temperature of the transmission gear oil and engine chamber affects the safety and working efficiency of Macgregor Cranes. The content of the article analyzes solutions to reduce the temperature of the transmission gear oil and engine chamber of the crane to improve the safety and operation of the system.*

**Keywords:** Import coal; Gear oil; Engine chamber.

## 1. TỔNG QUAN

Cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 làm khâu then chốt, quyết định mọi mặt về năng suất thiết bị trong công đoạn bốc dỡ và nhập kho tại trạm chế biến và kinh doanh Vân Phong. Khi tàu cập cảng, than được bốc lên hệ thống bun-ke di động bằng hệ thống cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2, gầu bốc than có khối lượng 16m<sup>3</sup> (hình 1).



Hình 1. Cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 



Đặc điểm của cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 được sản xuất tại Liên minh châu Âu (EU) là loại cầu trục A5, thời gian làm việc 12h liên tục. Khu vực miền Trung Nam Bộ, trong đó có cảng Bắc Vân Phong nắng nóng quanh năm, nhiệt độ bình quân 39-40°C, có thời điểm trên 42°C, dẫn tới nhiệt độ dầu hộp số tải tăng cao (tăng trên 108°C) và nhiệt độ không khí tại buồng máy của cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 tăng cao (tăng trên 44°C) quá giới hạn cho phép như hình 2 [4, 5].



Hình 2. Nhiệt độ hộp số và nhiệt độ buồng máy cầu trục

Nhiệt độ dầu hộp số tải và buồng máy tăng cao làm cho dầu hộp số bị biến chất, giảm độ nhớt làm tăng ma sát giữa các bánh răng gây ra mòn trục bánh răng mặt trời, trục bánh răng trung gian và các vòng bi, gây quá tải nhiệt cho các thiết bị điện trong buồng máy của cầu trục (hình 3) [3].



Hình 3. Vỡ lá phanh, bánh răng mặt trời hộp số do nhiệt tăng cao

Như vậy, ta thấy rằng nhiệt dầu hộp số tải và nhiệt buồng máy tăng quá mức của cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 gây nên hiệu quả vận hành kém, phát sinh nhiều hư hỏng, làm mất an toàn của hệ thống nhập than,

cần thiết phải có giải pháp khắc phục để nâng cao hiệu quả vận hành của cầu trục.

## 2. GIẢI PHÁP GIẢM NHIỆT ĐỘ DẦU HỘP SỐ TẢI VÀ BUỒNG MÁY CỦA CẦU TRỤC

Nguyên lý của giải pháp là sử dụng phương pháp dẫn nhiệt và đối lưu. Dẫn nhiệt là quá trình truyền nhiệt giữa các phần tử có tiếp xúc trực tiếp, nhiệt lượng dẫn nhiệt được xác định theo công thức [1]:

$$dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial Q}{\partial X} \cdot dS \cdot dt \quad (1)$$

Trong đó: dQ – Nhiệt lượng theo phương

x;  $\frac{\partial Q}{\partial X}$  – Gradient nhiệt lưu theo phương x; dS – Diện tích nhiệt lưu đi qua; dt – Thời gian;  $\lambda$  – Hệ số dẫn nhiệt, W/°C.cm<sup>2</sup>.

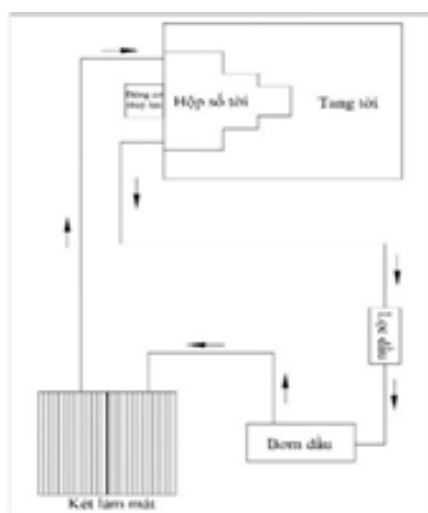
Đối lưu là quá trình truyền nhiệt trong chất lỏng, khí gắn liền với sự chuyển dịch của các phần tử mang nhiệt từ nơi có nhiệt độ cao tới nơi có nhiệt độ thấp, biểu diễn bằng phương trình:

$$\Phi_c = \alpha_c (\theta_2 - \theta_1) S_c \quad (2)$$

Trong đó:  $\Phi_c$  – Nhiệt lượng truyền qua bề mặt đối lưu trong 1s, W;  $S_c$  – Diện tích bề mặt đối lưu, m<sup>2</sup>;  $\alpha_c$  – Hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu, W/m<sup>2</sup>.deg;  $\theta_2$ ,  $\theta_1$  – Nhiệt độ bề mặt tỏa nhiệt và của môi trường, °C.

Để khắc phục nhược điểm trên, giải pháp gia công, lắp đặt hệ thống làm mát cục bộ cho lượng dầu nhớt trong hộp số tải giúp cho dầu nhớt trong hộp số được tuần hoàn, trao đổi nhiệt độ và tản nhiệt với môi trường bên ngoài, sơ đồ công nghệ đề xuất như hình 3.





Hình 3. Sơ đồ làm mát dầu thủy lực

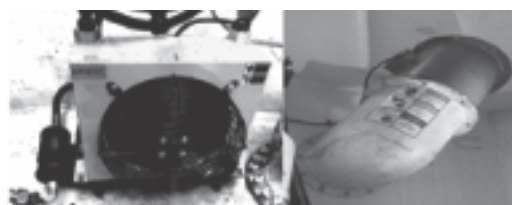
Theo nguyên tắc hoạt động tuần hoàn của két mát, dầu nhớt nóng sẽ được bơm hút dầu dẫn theo đường ống tuy-ô ra két (thùng chứa dầu nhớt). Dầu nhớt tại đây được làm mát bằng quạt tản nhiệt, lúc này bộ phận cửa nạp khí và cánh quạt ở bên trên sẽ hút hơi nóng bay lên, còn lại đi xuống thùng dầu qua lọc là nhớt hộp số đã được giải nhiệt. Với việc giữ nhiệt độ dầu nhớt bôi trơn trong hộp số ở mức nhiệt độ nhất định trong giới hạn cho phép trong điều kiện cầu trục làm việc liên tục nhiều ngày. Đồng thời sẽ tích hợp lắp đặt thêm bộ lọc giúp lọc sạch những tạp chất, giúp cho dầu bôi trơn hộp số sạch trước khi đẩy vào hộp số làm việc tiếp. Bơm dầu nhớt sẽ đẩy dầu nhớt vào hệ thống két làm mát, dầu được làm mát “hạ nhiệt độ” sẽ tiếp tục được đẩy quay trở lại vào hộp số để tiếp tục bôi trơn các bánh răng.

Quạt hút buồng máy có công suất động cơ quạt 0,75kW, tốc độ động cơ 980 vòng/phút, cánh quạt nhỏ có đường kính 30x30mm, do công suất động cơ quạt thiết kế quá nhỏ nên lượng khí nóng được hút và đẩy ra ngoài rất hạn chế. Giải pháp công nghệ để giảm nhiệt độ buồng máy của cầu trục là lựa chọn thay thế quạt gió có công suất 2,2kW, tốc độ vòng quay

1980 v/p, lớn hơn gấp 3 lần so với quạt gió cũ có công suất 0,75kW, tốc độ vòng quay 1050 v/p, được lắp đặt vào vị trí quạt cũ.

### 3. CHẾ TẠO, THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA SÁNG KIẾN

Lắp đặt hệ thống làm mát cục bộ cho lượng dầu nhớt trong hộp số tải giúp cho dầu nhớt trong hộp số được tuần hoàn, trao đổi nhiệt độ và tản nhiệt với môi trường bên ngoài với mô hình như hình 4 và vật tư linh kiện như bảng 1 và bảng 2.



Hình 4. Giải pháp giảm nhiệt độ dầu hộp số tải và buồng máy

Bảng 1. Thông số, đặc tính kỹ thuật hệ thống giải nhiệt dầu hộp số

TT	Tên chi tiết	Đvt	SL	Thông số kỹ thuật
1	Bơm dầu	Cái	1	7MPA, 30L/ phút
2	Moto lái bơm	Cái	1	1,5kW, 220v/60HZ
3	Đường ống thủy lực Ø30	m	7,5	1.3/4 kèm giắc co
4	Lọc dầu hộp số	Cái	1	P550478
5	Két làm mát dầu KJ-KS18H14RD1	Cái	1	20x50x50cm
6	Cáp điện	m	15	3x2.5
7	Khởi động từ Contactor	Cái	1	6A
8	Đế khung lắp tản nhiệt	Bộ	1	Thép



Bảng 2. Thông số, đặc tính kỹ thuật thay quạt buồng máy

TT	Tên chi tiết	ĐVT	SL	Đặc tính	Thông số kỹ thuật
1	Quạt hút gió buồng máy	Cái	1	Cánh thép 30x30mm	- Động cơ 2,2 kW - Tốc độ = 1980 v/p
2	Contactor	Cái	1		- 6A

Thử nghiệm giải pháp đề xuất trên hệ thống cầu trục chân đế Macgregor tại kho cảng Bắc Vân Phong trong điều kiện cầu trục làm việc liên tục trong thời tiết nắng nóng trên 40°C cho kết quả như sau:

- Kết quả thử nghiệm nhiệt độ của dầu hộp số tải như hình 5 và bảng 3:



Hình 5. Nhiệt độ của dầu hộp số tải và buồng máy cầu trục

Bảng 3. Nhiệt độ của dầu hộp số tải và buồng máy cầu trục

STT	Nhiệt độ dầu hộp số tải (°C)			Nhiệt độ buồng máy (°C)		
	Trước khi áp dụng SK	Sau khi áp dụng SK	Độ lệch	Trước khi áp dụng SK	Sau khi áp dụng SK	Độ lệch
1	108	73	35	44	39	5

Sau khi lắp đặt giải pháp giảm nhiệt độ của hộp số tải giảm 35°C và nhiệt độ buồng máy giảm 5°C, việc này đưa đến dầu hộp số tải ít bị biến chất, hệ thống thiết bị ít bị sự cố, quá tải như hình 6.



Hình 6. Biến chất của dầu hộp số (a) và hư hỏng bánh răng (b)

Sau khi sử dụng giải pháp để khắc phục vấn đề vận hành của cầu trục chân đế Macgregor GL 4036-2 đã làm cho hệ thống bốc dỡ và nhập của hệ thống tăng lên hiệu quả sau khi áp dụng giải pháp, được kiểm chứng qua bảng 4.

Bảng 4. Bảng đánh giá kết quả hiệu quả vận hành của hệ thống tàu than nhập khẩu (70.000 tấn)

TT	Nội dung	Trước khi sáng kiến	Sau khi sáng kiến	Tăng (+); Giảm (-)
1	Năng suất thiết bị	250 (tấn/giờ)	310 (tấn/giờ)	+ 60 (tấn/giờ)
2	Thời gian bốc dỡ và nhập kho	140 giờ/tàu	115 giờ/tàu	-25 giờ/tàu
3	Chi phí điện năng công đoạn bốc dỡ và nhập kho	4.400 đ/tấn	3.606 đ/tấn	-794 đ/tấn
4	Chi phí nguyên nhiên vật liệu, sửa chữa công đoạn bốc dỡ và nhập kho	10.655 đ/tấn	7.512 đ/tấn	-3.143 đ/tấn
5	Nhân công vận hành công đoạn bốc dỡ và nhập kho	215 công	176 công	-39 công
6	Sự cố ngắt đột ngột, treo gầu ngoạm khi đang bốc dỡ than	Có	Không	

#### 4. KẾT LUẬN

Hệ thống giải pháp đã có tác dụng rất lớn đến hệ bánh răng trong hộp số, nhiệt độ dầu hộp số tại đầu bơm kết mát ở mức 50-55°C khi cầu trục làm việc liên tục trong điều kiện thời tiết nắng nóng trên 40°C thì nhiệt độ hộp số ở mức 70-73°C các thông số kỹ thuật của cầu trục vẫn đảm bảo hoạt động ổn định. Sau khi thay thế quạt hút tại buồng máy có công suất lớn hơn, lúc này không khí tại buồng máy được lưu thông do quạt hút đẩy khí nóng ra ngoài, không khí mát lưu thông từ khoang dưới của cầu trục nên tạo ra luồng không khí ra vào liên tục, làm mát buồng máy, đặc biệt là đẩy các khí độc ra ngoài, không làm ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động.

Sáng kiến đã được áp dụng tại cảng Bắc Vân Phong đạt hiệu quả cao, nâng cao công tác quản lý, khai thác trang thiết bị kỹ thuật (TTBKT) tốt, bền, an toàn, tiết kiệm, hiệu quả. Hệ thống cầu trục Macgregor GL4036 tăng năng suất 24% đồng thời tiết giảm được giảm

được 18,1% chi phí điện năng và giảm 29,5% chi phí nguyên nhiên vật liệu; Giảm 17,85% thời gian thực hiện công đoạn bốc dỡ than và nhập kho; Tiết kiệm được chi phí sản xuất trên 3,5 tỷ đồng. ❖

Ngày nhận bài: **05/11/2023**

Ngày phản biện: **26/11/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Thị Cúc; *Vật lý Đại cương*, NXB. Giáo dục (2009).
- [2]. Bùi Quốc Khánh, Hoàng Xuân Bình; *Trang bị điện-điện tử và tự động hóa cần trục và cầu trục*. NXB. Khoa học Kỹ thuật (2006).
- [3]. Trần Ngọc Hải, Trần Xuân Túy; *Hệ thống truyền động thủy lực và khí nén*. NXB. Xây dựng (2019).
- [4]. Maton A. E., *Conveyor Design using a standard fabric belt, Tubular Pipe*. Bulk Solids Handling Journal, Vol.20, No.1, Jan/Mar (2000).
- [5]. Wachter D., *Innovative Handling of Tailings using the Pipe Conveyor System*. Bulk Solids Handling Journal (1990).

# HOẠCH ĐỊNH QUỸ ĐẠO CHO ROBOT UP6 TRÁNH VẬT CẢN THEO GIẢI THUẬT PROBABILISTIC ROADMAP CÓ XEM XÉT ĐỘ UYỂN CHUYỂN CỦA CÁC GÓC KHỚP

PATH PLANNING FOR UP6 ROBOT TO AVOID OBSTACLES USING THE PROBABILISTIC ROADMAP ALGORITHM WITH CONSIDERATION OF THE JOINT FLEXIBILITY.

Ngô Xuân Khoát<sup>1</sup>, Lưu Hoàng Minh<sup>2</sup>, Ngô Mạnh Dũng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Điện Điện Tử, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Bà Rịa – Vũng Tàu

<sup>2</sup>Nhóm NC AIT, Trường Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Khoa Điện Điện Tử, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

## TÓM TẮT

*Hoạch định quỹ đạo cho cánh tay robot tránh vật cản hoạt động trong môi trường 3D là bài toán đang được quan tâm để giải quyết cho robot tự hành sẽ được ứng dụng rất nhiều trong đời sống. Với sự phát triển của hệ thống Camera Stereo thì việc xác định được 6DOF của đối tượng đã được giải quyết khá tốt, do đó nếu cánh tay robot tự hoạch định được quỹ đạo để di chuyển tránh vật cản, tiếp cận đối tượng, gấp và đưa đối tượng về vị trí xác định trước trong môi trường 3D đang được quan tâm nghiên cứu và phát triển để hoàn thiện quy trình cho Robot tự hành [1, 2]. Trong bài báo này, tác giả đề xuất giải pháp hoạch định quỹ đạo, tránh vật cản cố định cho cánh tay robot UP6-6DOF dựa trên giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM) [3, 4] có xem xét đến sự uyển chuyển của các góc khớp để nâng cao độ bền cơ cũng như giảm sự rung lắc điểm làm việc EE (End-Effector) của cánh tay Robot. Trong phương pháp hoạch định quỹ đạo dựa trên PRM, đầu tiên bản đồ (Roadmap) dưới dạng lưới hình lập phương được xây dựng trong hệ trục tọa độ (x, y, z) đã loại bỏ vật cản được minh họa trong hình 1. Sau khi xác định được 6DOF của đối tượng từ hệ thống Camera gọi là điểm F (Finish) và với vị trí hiện tại của điểm EE gọi là điểm S (Start), dựa trên thuật toán tối ưu quãng đường di chuyển của điểm EE men theo các E (Edge) trong bản đồ Roadmap để di chuyển từ điểm S đến điểm F, ta tìm được quỹ đạo trong không gian 3D (x, y, z) được minh họa trong hình 4. Thông qua bài toán động học ngược trong phần mềm RoboDK, ta dễ dàng thu thập được tập nghiệm ( $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ ) theo thời gian của cánh tay robot UP6 thỏa mãn điểm EE của robot di chuyển dọc theo quỹ đạo vừa xây dựng được. Tuy nhiên, quỹ đạo xây dựng trong Roadmap sẽ có điểm gãy trong không gian 3D tại các Nút N (Node), thông thường tại các Nút thì trong không gian tập nghiệm góc khớp cũng xảy ra điểm gãy [5]. Do đó, trong không gian tập nghiệm thì bộ điều khiển động lực của các góc khớp không được trơn tru và uyển chuyển tại các điểm gãy này. Hệ quả gây ra rung lắc điểm EE và giảm tuổi thọ của các cơ cấu cơ khí. Để cải thiện chất lượng điều khiển Robot, một đoạn chương trình được phát triển để dò ra các điểm gãy trong không gian nghiệm góc khớp, sau đó giải thuật Cubic Spline interpolation not-a-knot [6] được áp dụng tại các điểm gãy này với độ trơn tru hàm bậc 3 để các bộ góc khớp của UP6 được mềm mại và uyển chuyển hơn.*

*Giải thuật đã được triển khai mô phỏng cho tay máy Robot UP6 trên phần mềm Matlab kết hợp với phần mềm RoboDK đã cho kết quả quỹ đạo của điểm EE được uyển chuyển và mềm mại hơn trong môi trường 3D cũng như trong môi trường tập nghiệm của các bộ góc khớp giúp nâng cao tuổi thọ của các kết cấu cơ và giảm thiểu sự rung lắc của điểm EE.*

**Từ khóa:** *Bản đồ (Roadmap) trong hoạch định quỹ đạo; Giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM); Cubic spline; Interpolation; Not-a-knot.*

## ABSTRACT

*In this paper, the author proposes a trajectory planning solution for avoiding fixed obstacles for the UP6-6DOF robot arm based on the Probabilistic Roadmap (PRM) algorithm [3, 4]. The algorithm considers the flexibility of joint angles to enhance mechanical durability and reduce vibration at the robot arm's End-Effector (EE) working point. In the trajectory planning method based on PRM, a grid-based roadmap is first constructed in the coordinate system  $(x, y, z)$ , eliminating the obstacles depicted in Figure 1. After determining the 6DOF of the object (referred to as the Finish point) from the Stereo Camera system and considering the current position of the EE (Start point), the algorithm optimally calculates the EE's path following the edges in the roadmap to move from the Start point to the Finish point. This results in a trajectory in 3D space  $(x, y, z)$ , as illustrated in Figure 4. Through inverse kinematics problems in the RoboDK software, time-dependent motion data of the UP6 robot arm satisfying the EE point moving along the constructed trajectory can be easily obtained. However, the trajectories constructed in the roadmap may have not smooth in 3D space at Nodes (N), typically resulting in joint angle discontinuities in its space at these Nodes [5]. Consequently, the control system of joint angles is not smooth, which leads to vibrations at the EE point and reduces the lifespan of mechanical structures. A program segment is developed to identify discontinuity points in the joint angle space to improve the robot control quality. Subsequently, the Cubic Spline interpolation not-a-knot algorithm [6] is applied at these points with third-degree smoothness to make the UP6 joint angles smoother and more flexible. The algorithm is implemented and simulated for the UP6 robot arm using Matlab in conjunction with RoboDK software, producing trajectories with smoother and more flexible EE points in both 3D environments and test spaces of joint angles. This approach enhances the lifespan of mechanical structures and minimizes EE point vibrations.*

**Keywords:** *Roadmap; Probabilistic Roadmap (PRM); Cubic spline; Interpolation; Not-a-knot.*





## 1. TỔNG QUAN

Ngày nay, với sự phát triển rất nhanh của cảm biến camera, cũng như tốc độ tính toán của máy tính, và giải thuật xử lý hình ảnh đã giúp cho hệ thống cảm biến này nhận dạng được 6DOF của đối tượng với độ chính xác cao và thời gian xử lý tốt đủ để ứng dụng vào điều khiển online trong lĩnh vực Robot thông minh [1, 7]. Robot thông minh là robot có khả năng tự vận động và thực hiện nhiệm vụ một cách độc lập thông qua các cảm biến và phần mềm trí tuệ nhân tạo. Ví dụ như robot thông minh phân loại sản phẩm trên băng chuyền. Dựa vào cảm biến camera xử lý ảnh ở phía đầu băng chuyền, sản phẩm được phân loại và xác định vị trí 6-DOF trên băng truyền. Kết hợp với sự tịnh tiến thẳng đều thì vị trí cho đầu gắp Robot tiếp cận đối tượng và gắp đối tượng được ước lượng. Như vậy, vị trí đầu S và vị trí cuối F được xác định, do đó cần một phần mềm thông minh tự hoạch định một quỹ đạo đường đi tối ưu giữa điểm đầu S và điểm cuối F, có thể có thêm các điều kiện như tránh vật cản,... thì lúc đó, chúng ta đã khá hoàn thiện một hệ thống Robot thông minh cho phân loại sản phẩm. Ngoài ra, Robot thông minh còn được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực quân sự, y tế, kinh tế biển, khai thác dầu khí,... và mang lại nhiều lợi ích cho đời sống xã hội, và dần thay thế sức lao động của con người trong môi trường độc hại, nguy hiểm [4]. Các giải thuật được triển khai nhiều cho môi trường 3D trong công nghiệp được kể đến như là giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM) [3], hay rapidly exploring random tree [8], hoặc artificial potential field [9], non-uniform rational B-splines [10]. Trong số đó, giải thuật Probabilistic Roadmap là giải thuật đơn giản, hiệu quả, và được ứng dụng nhiều nhất. Trong hoạch định quỹ đạo, đối với các robot có bậc tự do thấp như Mobile robot thì việc hoạch định quỹ đạo được thiết lập trên

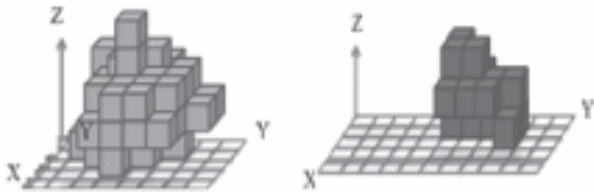
mặt phẳng 2D, đã có nhiều giải pháp được đề xuất cho loại Robot này. Tuy nhiên, với robot có bậc tự do cao, ví dụ như cánh tay UP6 có 6 bậc tự do thì việc hoạch định quỹ đạo được thiết lập trong môi trường 3D vẫn đang là thách thức và tiếp tục được nghiên cứu, phát triển [13, 14, 15]. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phân hoạch định quỹ đạo cho cánh tay Robot UP6 hoạt động trong môi trường có vật cản cố định và biết trước. Nếu quỹ đạo hoạch định trong miền không gian của hệ trục tọa độ  $x, y, z$  thì bộ thông số vị trí của điểm EE di chuyển trong không gian 3D ( $x, y, z$ ) theo thời gian xuất phát từ điểm bắt đầu S đến điểm kết thúc F mà không va chạm vào vật cản. Còn nếu xét trong không gian bộ nghiệm của các khớp (Joint) thì quỹ đạo hoạch định chính là bộ nghiệm của các góc khớp theo thời gian để làm cho điểm EE di chuyển trên quỹ đạo từ điểm S tới điểm F trong miền không gian 3D. Trong bài báo này, ứng dụng giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM) [3, 12] để hoạch định quỹ đạo cho cánh tay Robot trong môi trường 3D, được mô tả như trong Hình 4. Giải thuật này được giới thiệu lần đầu tiên bởi Kavralli và các cộng sự [3]. Ý tưởng chính của giải thuật này là xây dựng một bản đồ gồm những cấu hình tự do của robot, và kết nối chúng lại với nhau, từ đó truy vấn và tìm ra một quỹ đạo đi từ điểm đầu S đến điểm cuối F với trọng số đánh giá là quỹ đạo di chuyển giữa điểm S và F là ngắn nhất.

## 2. HOẠCH ĐỊNH QUỸ ĐẠO CHO CÁNH TAY UP-6 BẰNG PHƯƠNG PHÁP PROBABILISTIC ROADMAP (PRM)

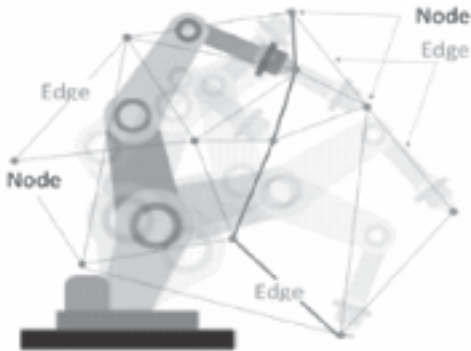
Nếu xem không gian làm việc của cánh tay robot làm việc trong môi trường 3D three-dimensional space ( $R^3$ ), có miền không gian hoạt động là (W), trong không gian hoạt động này chứa vật cản cố định gọi là ( $W_0$ ). Vậy, miền không gian tự do là vùng không gian ( $W_{free}=W-$



Wo). Trong hoạch định quỹ đạo cho cánh tay robot thì chúng ta sử dụng miền không gian tự do  $W_{free}$ , hoặc sử dụng thêm vùng không gian bộ nghiệm giá trị của các góc khớp cánh tay robot hay còn gọi là vùng không gian  $C_{free}$ , nếu tay máy có  $n$  khớp thì một điểm trong vùng không gian  $C_{free}$  được xác định bởi  $(q_1, q_2, K, q_n)$  hay nói cách khác là tập hợp các bộ nghiệm góc khớp của cánh tay Robot trong vùng không gian  $C_{free}$  đều ánh xạ tương thích với một điểm thích hợp của điểm cuối EE của cánh tay Robot trong vùng  $W_{free}$ .



Hình 1. Vùng làm việc khả dĩ của Robot và vật cản cố định được xây dựng trong hệ trục tọa độ  $(x, y, z)$ .



Hình 2. Xây dựng Bản đồ Roadmap vô hướng của cánh tay robot bao gồm tập nút  $N$  và tập cạnh  $E$ .

Hoạch định quỹ đạo theo giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM), thông thường bước đầu chúng ta cần phải xác định được quỹ đạo tốt nhất và chọn làm quỹ đạo di chuyển cho điểm EE trong vùng không gian  $W_{free}$  trong Hình 4. Quỹ đạo được chọn bao gồm tập hợp các điểm nút  $N$  và tập cạnh  $E$  nối vị trí đầu  $S$  và vị trí cuối  $F$  trong vùng không gian  $W_{free}$  sẽ được trình bày chi tiết trong phần hoạch định

quỹ đạo theo phương pháp giữa Probabilistic Roadmap. Kết hợp với bài toán động học ngược trong quá trình ta chuyển đổi quỹ đạo trên từ \*miền không gian  $W_{free}$  về tập giá trị tập hợp bộ biến góc khớp trong miền không gian  $C_{free}$  chứa toàn bộ nghiệm góc khớp để vận hành từ điểm  $q_s$  tới  $q_f$  trong miền không gian  $C_{free}$ .

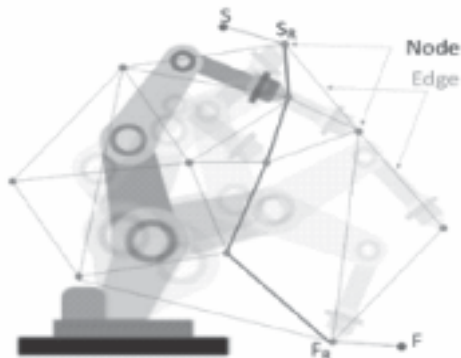


Hình 3. Miền không gian  $C_{free}$  chứa toàn bộ nghiệm góc khớp để vận hành từ điểm  $q_s$  tới  $q_f$ .

Với cánh tay Robot UP6 thì  $q_s$  và  $q_f$  được biểu diễn như sau:

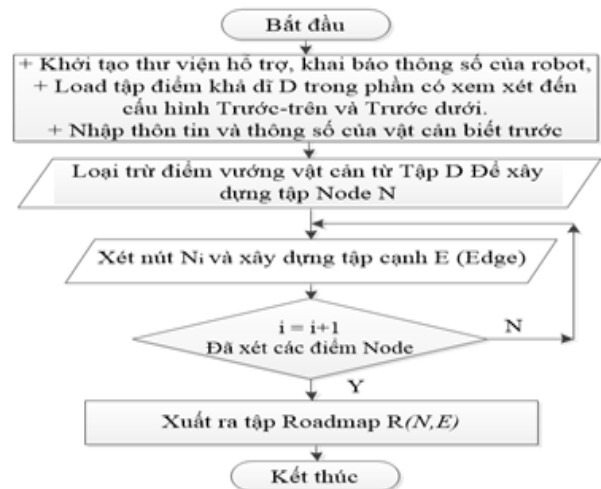
$$\begin{aligned} q_s &= (\theta_{s1}, \theta_{s2}, \theta_{s3}, \theta_{s4}, \theta_{s5}, \theta_{s6}) \\ q_f &= (\theta_{f1}, \theta_{f2}, \theta_{f3}, \theta_{f4}, \theta_{f5}, \theta_{f6}) \end{aligned} \quad (1)$$

Giải thuật hoạch định quỹ đạo cho cánh tay Robot UP6 có điểm làm việc EE di chuyển từ điểm  $S$  tới điểm  $F$  để không chạm vào vật cản ứng dụng giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM) được chia ra làm hai giai đoạn như sau: Giai đoạn học tập (Learning Phase) và giai đoạn truy vấn (Query Phase). Giai đoạn học tập: Trong giai đoạn này, bản đồ Roadmap cho cánh tay robot được xây dựng. Roadmap là bản đồ vô hướng  $R = (N, E)$ , trong đó  $N$  là tập hợp các nút (node) và  $E$  (edge) là các cạnh kết nối giữa hai nút, được minh họa như trong Hình 2, và quá trình thực hiện được diễn tả trong lưu đồ giải thuật Hình 4. Tập  $N$  là tập điểm EE của robot được xây dựng trong mạng lưới phân phối đồng nhất của hệ trục tọa độ  $(x, y, z)$  thỏa mãn hai điều kiện sau: Thứ nhất là các nút này phải phải tồn tại ít nhất một bộ nghiệm trong bài toán động học ngược của robot khi gán điểm  $EE_i = N_i$ . Thứ hai là các nút  $N$  không bị va chạm với vật cản (collision-free configurations).



Hình 4. Thêm cạnh nối  $S, F$  với Roadmap để hoạch định quỹ đạo theo Probabilistic Roadmap (PRM).

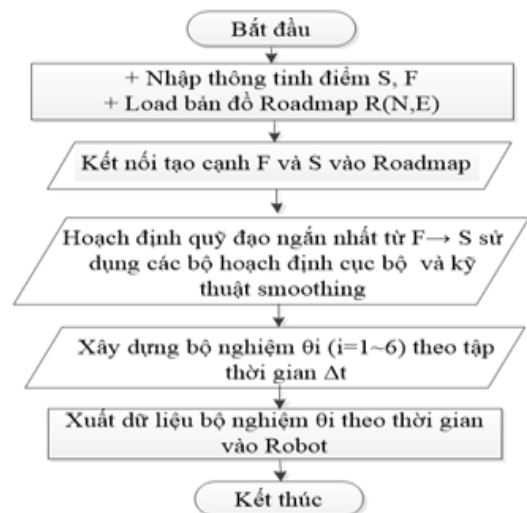
Tập cạnh  $E$  (Edge): Bao gồm các cạnh  $E$  được hình thành bằng cách kết nối giữa hai nút lân cận khả dĩ và cũng cần thỏa mãn hai điều kiện sau: Thứ nhất là cạnh này không đi xuyên qua vật cản, thứ hai là toàn bộ tọa độ theo vị trí  $(x, y, z)$  của cạnh này khi gán cho điểm EE của cánh tay phải tồn tại ít nhất một bộ nghiệm trong bài toán động học ngược, điều này khẳng định đây có thể là một phần của quỹ đạo tương lai. Tiếp theo phần mở rộng bản đồ Roadmap có thể xem xét là khi các nút gần với vật cản, thì lưới phân phối đồng nhất của hệ trục tọa độ  $(x, y, z)$  được phân chia nhỏ hơn để bổ sung thêm các điểm nút tại vùng lân cận này. Với giải thuật này thì robot di chuyển uyển chuyển hơn khi gần tiếp xúc với vật cản. Giai đoạn truy vấn và hoạch định quỹ đạo. Trong giai đoạn này, quỹ đạo được hoạch định dựa trên giải thuật Probabilistic Roadmap, sau khi xác định được tọa độ điểm đầu  $S$  và tọa độ điểm kết thúc  $F$  cạnh  $E_s$  và cạnh  $E_f$  sẽ được xây dựng theo giải thuật nối  $S$  với  $F$  vào nút  $N$  của bản đồ Roadmap thông qua điều kiện cạnh  $E_s$  và cạnh  $E_f$  được chọn là ngắn nhất được miêu tả trong Hình 4. Bài toán hoạch định quỹ đạo từ điểm  $S$  đến  $F$  thông qua các cạnh  $E$  và nút  $N$  dựa theo kỹ thuật smoothing và chỉ tiêu đánh giá ước lượng quỹ đạo nào có tổng chiều dài là ngắn nhất.



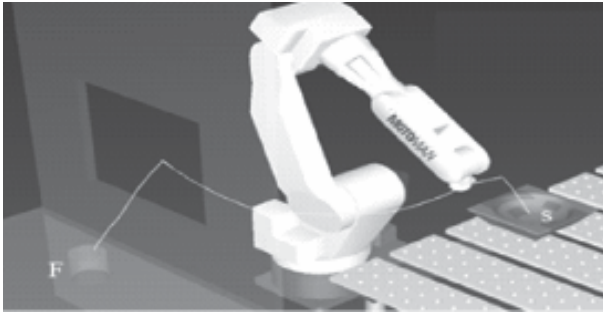
Hình 5. Lưu đồ giải thuật xây dựng bản đồ Roadmap



Hình 6a. Bản đồ Roadmap được mô phỏng cho UP6.



Hình 6b. Lưu đồ xây dựng quỹ đạo bằng giải thuật Probabilistic Roadmap (PRM).



Hình 7. Mô phỏng quỹ đạo được lựa chọn Robot UP6.

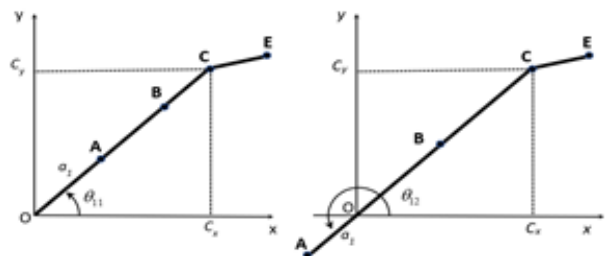
### 3. BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC THUẬN VÀ ĐỘNG HỌC NGƯỢC CHO CÁN TAY ROBOT UP6

Đối với bài toán động học thuận cho cánh tay 6-DOF, người ta thường dùng nguyên tắc Denavit-Hartenberg (D-H) để tính toán tìm vị trí điểm làm việc EE khi ta biết bộ nghiệm góc khớp  $\theta_i$  khá dễ dàng [17]. Trái lại, bài toán động học ngược là một bài toán khó, vì đây là bài toán đa nghiệm và có nhiều đề xuất phương pháp giải cho bài toán này. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp giải bài toán động học ngược theo hai giai đoạn và có sử dụng thêm các chỉ thị về vị trí đã được G. Lee & M. Ziegler đề xuất [18]. Với giải pháp hai giai đoạn, thì ở giai đoạn 1 bài toán giúp ta tìm ra được bốn bộ nghiệm khả dĩ cho ba khớp đầu. Trong giai đoạn 2, dựa trên từng bộ nghiệm đã biết ở giai đoạn 1 và kết hợp với góc hướng roll, pitch, yaw của điểm EE, ta tiếp tục thu được các bộ nghiệm cho ba khớp cuối.

Do đó, từ một yêu cầu 6-DOF trong hệ trục tọa độ (x, y, z) ban đầu cho điểm EE. Bài toán động học ngược cho ta nhiều nhất là 8 bộ nghiệm, hay còn gọi là 8 kiểu cấu hình cánh tay thỏa mãn yêu cầu của điểm EE. Nếu bài toán vô nghiệm tức là điểm EE nằm ngoài vùng hoạt động của cánh tay. Bài toán động học ngược theo vị trí: Xét hình chiếu cánh tay trên mặt

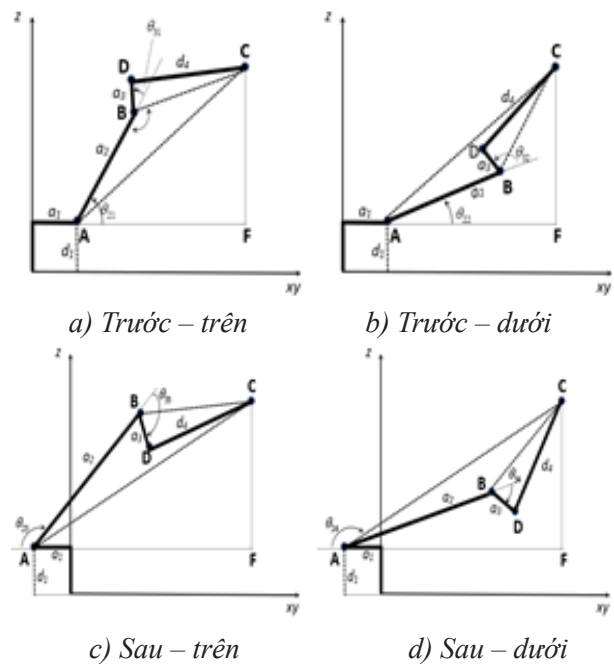
phẳng Oxy như hình Hình 6, ta sẽ có 2 nghiệm góc khớp  $q_{11}$  và  $q_{12}$  tương ứng với 1 vị trí điểm C trên mặt phẳng Oxy. Theo [18] xác định được góc khớp  $q_1$  như sau:

$$\begin{aligned} \tan(\theta_1) &= \frac{p_y}{p_x} \rightarrow \Rightarrow \theta_{11} = \text{Atan} 2(p_y, p_x) \\ &\Rightarrow \theta_{12} = \text{Atan} 2(p_y, p_x) + \pi \end{aligned} \quad (2)$$



Hình 8. Góc khớp  $\theta_1$  theo vị trí điểm C trên mặt phẳng xy

Xét trên mặt phẳng (z, xy), với mỗi giá trị góc khớp  $q_1$  ta sẽ có 2 cặp nghiệm  $q_2, q_3$  tạo thành 4 cấu hình cánh tay như Hình 7 các bộ nghiệm theo vị trí trên và dưới.



Hình 9. Các cấu hình động học Trước, sau – Trên, dưới

Cấu hình 1 (Trước-trên):

$$\begin{aligned}\theta_{11} &= A \tan 2(p_y, p_x) \\ \theta_{21} &= \widehat{CAF} + \widehat{BAC} \\ \theta_{31} &= \widehat{DBC} - (\pi - \widehat{ABC})\end{aligned}\quad (3)$$

Cấu hình 2 (Trước-dưới):

$$\begin{aligned}\theta_{11} &= A \tan 2(p_y, p_x) \\ \theta_{22} &= \widehat{CAF} - \widehat{BAC} \\ \theta_{32} &= \widehat{DBC} + (\pi - \widehat{ABC})\end{aligned}\quad (4)$$

Cấu hình 3 (Sau-trên):

$$\begin{aligned}\theta_{12} &= A \tan 2(p_y, p_x) + \pi \\ \theta_{23} &= \pi - (\widehat{CAF} + \widehat{BAC}) \\ \theta_{33} &= \widehat{DBC} + (\pi - \widehat{ABC})\end{aligned}\quad (5)$$

Cấu hình 4 (Sau-dưới):

$$\begin{aligned}\theta_{12} &= A \tan 2(p_y, p_x) + \pi \\ \theta_{24} &= \pi - (\widehat{CAF} - \widehat{BAC}) \\ \theta_{34} &= \widehat{DBC} - (\pi - \widehat{ABC})\end{aligned}\quad (6)$$

Có thể thấy rằng bài toán động học ngược theo 1 vị trí của điểm EE ta đã xác định được 04 bộ nghiệm của tập hợp 3 góc khớp  $q_1, q_2, q_3$  tạo ra.

Bài toán động học ngược theo góc hướng: Để xác định các góc khớp  $q_4, q_5, q_6$ , ta sử dụng góc hướng biết trước của điểm EE. Trong trường hợp này, ta có nhiều phương pháp miêu tả góc hướng của cánh tay theo từng khâu, trong đó phương pháp xoay Euler và Roll-Pitch-Yaw (RPY) được sử dụng phổ biến. Phần này sử dụng phương pháp xoay RPY để biểu diễn các ma trận xoay của các khớp và tọa độ đầu cuối của cánh tay [18].

Ma trận hàm truyền cho cánh tay  $R_6^0$  được biểu diễn như sau:

$$R_6^0 = R_1^0 R_2^1 R_3^2 R_4^3 R_5^4 R_6^5 = R_3^0 \cdot R_6^3 \quad (7)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}R_1^0 &= \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & s\theta_1 \\ s\theta_1 & 0 & -c\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & R_2^1 &= \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ R_3^2 &= \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & s\theta_3 \\ s\theta_3 & 0 & -c\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & R_4^3 &= \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & -s\theta_4 \\ s\theta_4 & 0 & c\theta_4 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\ R_5^4 &= \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & s\theta_5 \\ s\theta_5 & 0 & -c\theta_5 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & R_6^5 &= \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 \\ s\theta_6 & c\theta_6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Ma trận xoay theo góc quay RPY biểu diễn theo 3DOF góc xoay của điểm cuối EE được thể hiện như sau:

$$R_{(\phi, \theta, \psi)} = R_z(\phi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\psi) \quad (8)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}R_{(\phi, \theta, \psi)} &= \begin{bmatrix} c\phi c\theta & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi & c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi \\ s\phi c\theta & s\phi s\theta s\psi + c\phi c\psi & s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi \\ -s\theta & c\theta s\psi & c\theta c\psi \end{bmatrix} \\ R_z(\phi) &= \begin{bmatrix} c_\phi & -s_\phi & 0 \\ s_\phi & c_\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & R_y(\theta) &= \begin{bmatrix} c_\theta & 0 & s_\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\theta & 0 & c_\theta \end{bmatrix} \\ R_x(\psi) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_\psi & -s_\psi \\ 0 & s_\psi & c_\psi \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Vì 3-DOF góc xoay của điểm EE đã biết, dễ dàng ta xác định được ma trận  $R_{(f, q, y)}$

Mặt khác, ta có:

$$R_6^0 = R_{(\phi, \theta, \psi)} \rightarrow R_6^3 = (R_3^0)^{-1} R_{(\phi, \theta, \psi)} \quad (9)$$

Trong đó, là ma trận được biểu diễn thông qua các góc khớp thông qua  $q_4, q_5, q_6$ .



$$R_6^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 c\theta_5 c\theta_6 - s\theta_4 s\theta_6 & -c\theta_4 c\theta_5 s\theta_6 - s\theta_4 c\theta_6 & c\theta_4 s\theta_5 \\ s\theta_4 s\theta_5 c\theta_6 + c\theta_4 s\theta_6 & -s\theta_4 c\theta_5 s\theta_6 + c\theta_4 c\theta_6 & s\theta_4 s\theta_5 \\ -s\theta_5 c\theta_6 & s\theta_5 s\theta_6 & c\theta_5 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Nên ta có thể xác định được các góc khớp còn lại  $q_4, q_5, q_6$ .

Từ các phương trình trên theo [18] tính được:

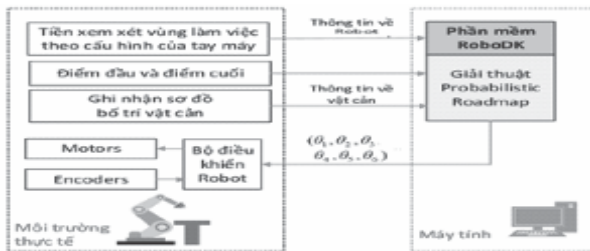
$$\theta_5 = A \tan 2 \left[ \sqrt{1 - R_6^3(3,3)^2}, R_6^3(3,3) \right] \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Trường hợp 1: } sq_5 > 0 \\ \theta_{61} &= A \tan 2 \left[ R_6^3(3,2), -R_6^3(3,1) \right] \\ \theta_{51} &= A \tan 2 \left[ \sqrt{1 - R_6^3(3,3)^2}, R_6^3(3,3) \right] \\ \theta_{41} &= A \tan 2 \left[ R_6^3(2,3), -R_6^3(1,3) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

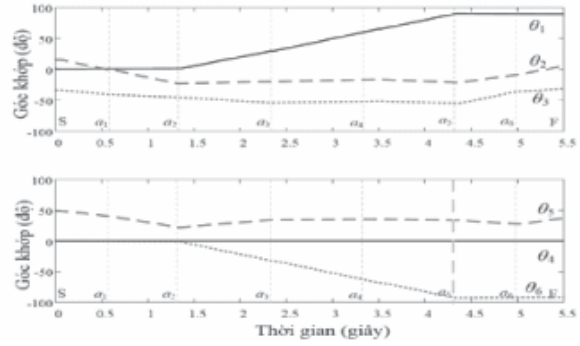
$$\begin{aligned} \text{Trường hợp 2: } sq_5 < 0 \\ \theta_{62} &= A \tan 2 \left[ -R_6^3(3,2), R_6^3(3,1) \right] \\ \theta_{52} &= A \tan 2 \left[ \sqrt{1 - R_6^3(3,3)^2}, R_6^3(3,3) \right] \\ \theta_{42} &= A \tan 2 \left[ R_6^3(2,3), R_6^3(1,3) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

Như vậy, với cánh tay UP6 có 6-DOF và điểm EE biết trước trong vùng không gian  $W_{free}$ , ta có thể xây dựng được tập nghiệm  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$ .

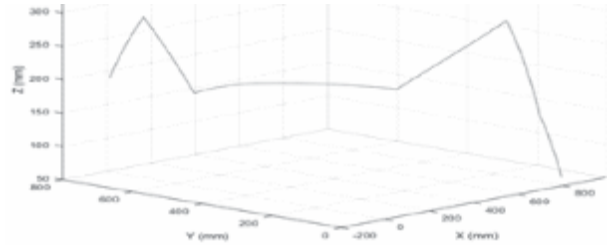
Kết hợp với phần mềm mô phỏng cho cánh tay Robot UP6 trên phần mềm RoboDK, và Matlab [19], ta dễ dàng thu được tập nghiệm nghiệm  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$  được trình bày trong sơ đồ khối ở Hình 11.



Hình 10. Giải pháp điều khiển robot tránh vật cản thông qua huấn luyện robot trong môi trường ảo



Hình 11. Giá trị tập nghiệm  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$  khi di chuyển điểm EE theo quỹ đạo 3D.



Hình 12. Quỹ đạo điểm EE của cánh tay robot di chuyển trong miền không gian  $W_{free}$

#### 4. MỀM HÓA TẬP NGHIỆM “ $q$ ” TRONG MIỀN KHÔNG GIAN $C_{free}$ DỰA TRÊN GIẢI THUẬT CUBIC SPLINE INTERPOLATION

Với giá trị tập nghiệm góc khớp  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$  ở Hình 11, dễ dàng ta truy được điểm gãy của từng tập nghiệm  $q_i$ , với  $i = 1:6$  theo đoạn chương trình được diễn giải trong Hình 13. Sau khi biết được điểm gãy, ta lựa chọn chiều dài tại điểm gãy về hai phía của đoạn thẳng và triển khai phương pháp nội suy spline đa thức bậc 3 được trình bày trong Hình 15.

Bài toán nội suy hàm số  $f$  tại điểm gãy của tập nghiệm  $q_i$  dựa trên hàm spline bậc 3 thuộc lớp  $C^2$  được xem xét như sau: Nếu tại điểm gãy của  $q_i$ , ta phân bổ tập rời rạc  $x_k = [x_0, x_1, \dots, x_N]$ , với các giá trị trong tập  $x_k$  được sắp xếp theo thứ tự tăng dần và tương ứng với

từng giá trị của  $x_k$ :  $f_k = y_k = [y_0, y_1, \dots, y_N]$  theo [20] thì luôn luôn tồn tại hàm bậc 3  $S_j(x)$  liên tục trong khoảng  $x \in [x_j, x_{j+1}]$  với điều kiện (14, 15) được thỏa mãn:

$$\begin{cases} S_j(x_{j+1}) = S_{j+1}(x_{j+1}) \\ S'_j(x_{j+1}) = S'_{j+1}(x_{j+1}) \\ S''_j(x_{j+1}) = S''_{j+1}(x_{j+1}) \end{cases} (0 \leq j \leq N-2) \quad (14)$$

Và kèm thêm điều kiện biên thỏa điều kiện not-a-knot:

$$\begin{cases} S''_0(x) = S''_1(x) \\ S''_{N-2}(x) = S''_{N-1}(x) \end{cases} \quad (15)$$

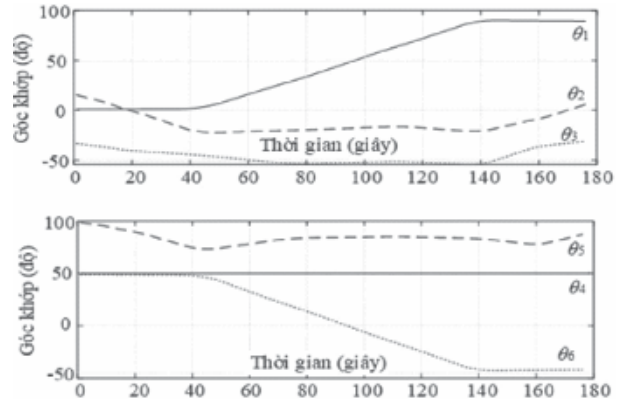
Như vậy, từ điều kiện (15, 16), ta xây dựng được các hàm  $S_j(x)$  trên mỗi khoảng  $[x_j, x_{j+1}]$ , trong đó  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  là hàm nội suy spline bậc 3 của hàm  $f$ . Kết quả thu được sau khi mềm hóa giá trị tập nghiệm góc khớp  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$  ở Hình 11 được thể hiện trong Hình 15 và quỹ đạo điểm EE của cánh tay Robot di chuyển trong miền không gian  $W_{free}$  sau khi mềm hóa được trình bày trong Hình 16.

```
% Tìm các điểm gãy
for k=1:176
    ss=(1:176)';
    slopes = diff(theta(k));
    angle = atan(slopes);
    change_angle = diff(angle);
    % Tìm các điểm gãy khúc
    n = find(abs(change_angle) > 6)+1; % tìm các điểm gãy
    s = [1;ss(1:end),176]; % với 6 degree là ngưỡng lấy=====
    ss(k)=s;
end
% Chia các khoảng điểm gãy thành n phần
n=3; %n>=2*****
indices=[];
for i=1:(length(s)-1)
    if (s(i+1)-s(i))-1 >=n
        for j=1:(n-1)
            value = round((s(i+1)-s(i)-1)/n); % lấy 2 điểm
            indices=[indices,value];
        end
    end
end
indices=indices(2:end-1); %loại bỏ giá trị đầu và cuối
s = [1 indices 176];
slm(k)=s;
```

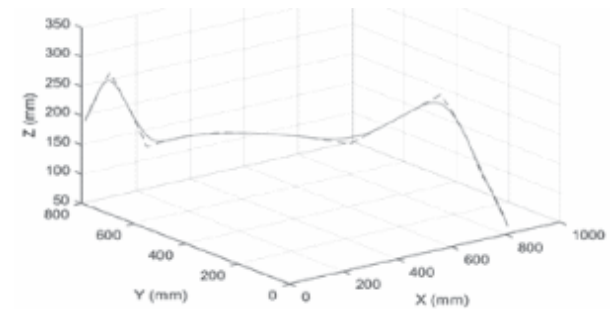
Hình 13. Điểm gãy  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$

```
%figure(1);
%plot(xs,theta(k),xm,thetam(k));
%legend('Before', 'After');
%hold on
spline_result = spline(xm, thetas(k));
x_spline = linspace(1, 176, 176); % điểm trên trục x
theta_spline(k) = ppval(spline_result, x_spline); % tính
%figure(2); %toán giá trị y cho các điểm x_spline
%plot(xm, thetas(k), x_spline(k), y_spline(k));
%legend('Piecewise linear', 'Spline');
%hold on
end
%subplot(2,1,1);
%plot(xs,theta_spline(1), xs,theta_spline(2), xs,theta_spline(3));
%subplot(2,1,2);
%plot(xs,theta_spline(4), xs,theta_spline(5), xs,theta_spline(6));
plot(x_spline, theta(5), x_spline, theta_spline(5));
legend('Piecewise linear', 'Spline');
```

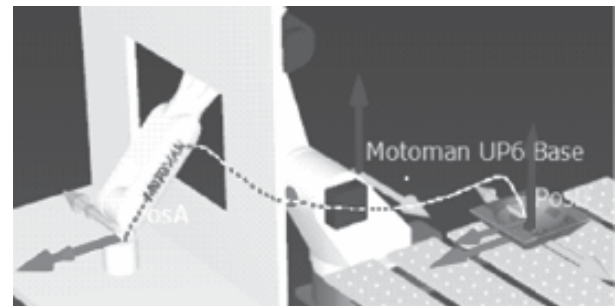
Hình 14. Mềm hóa tập  $q$ , trong miền không gian  $C_{free}$



Hình 15. Giá trị tập nghiệm góc khớp  $q$  trong miền không gian  $C_{free}$  sau khi được mềm hóa.



Hình 16. Quỹ đạo điểm EE di chuyển trong miền không gian  $W_{free}$  sau khi mềm hóa.



Hình 17. Mô phỏng điểm EE của UP6 di chuyển trong miền không gian  $W_{free}$  sau khi mềm hóa.

## 5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đã trình bày kết quả mô phỏng Hoạch định quỹ đạo cho Robot UP6 tránh vật cản theo giải thuật probabilistic roadmap có xem xét độ uyển chuyển của các góc khớp dựa trên phương



pháp nội suy spline đa thức bậc 3. Giải thuật đã được triển khai mô phỏng cho tay máy Robot UP6 trên phần mềm Matlab kết hợp với phần mềm RoboDK. Kết quả cho thấy sau khi triển khai mềm hóa giá trị tập nghiệm  $q_i$ , với  $i = 1:6$  trong miền không gian  $C_{free}$ , ta cũng thu được sự uyển chuyển và mềm mại hơn của điểm EE trong môi trường 3D được thể hiện trong Hình 17, và đặc biệt không có điểm gãy trong miền không gian  $C_{free}$  sẽ giúp cho các góc khớp nâng cao tuổi thọ và các kết cấu khác của cánh tay Robot cơ và giảm thiểu sự rung lắc của điểm EE trong miền không gian  $W_{free}$ .

### Lời cảm ơn:

Tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh; Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Bà Rịa – Vũng Tàu; và Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG – HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 02/11/2023

Ngày phản biện: 28/11/2023

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. J. Vidal, C.-Y. Lin, R. Marti, "6D Pose Estimation Using An Improved Method Based On Point Pair Features", in 2018 4th international conference, automation and robotics, pp. 405-409, IEEE, 2018.
- [2]. T.-T. Le, T.-S. Le, Y.-R. Chen, J. Vidal and C.-Y. Lin, "6D Pose Estimation With Combined Deep Learning And 3D Vision Techniques For A Fast And Accurate Object Grasping", R&A Systems, vol. 141, p. 103775, 2021.
- [3]. L.E. Kavraki, P. Svestka, J.C. Latombe, & M.H. Overmars, "Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces", IEEE transactions on Robotics and Automation, vol. 12, pp. 566-580, 1996.
- [4]. D. Baek, M. Hwang, H. Kim, D. S. Kwon, "Path planning for automation of surgery robot based on probabilistic roadmap and reinforcement learning". In 2018 15th international conference on ubiquitous robots, IEEE, pp. 342-347, June, 2018.
- [5]. N. X. Khoát, P. P. Tùng, L. H. Minh, N. M. Dũng, N. Q. Chí, "Path planning for UP6 arm avoiding obstacles based on probabilistic roadmap algorithm with considering UP6 configuration limits", 5th Conference On Transportation, Science and Technology CTST 2023, 15 May 2023.
- [6]. C. de Boer, "Convergence of cubic spline interpolation with the not-a-knot condition", University of Wisconsin-Madison, Technical Summary Report #2876, October 1985.
- [7]. N. X. Khoát, N. M. Dũng, N. X. Vinh, "Limiting the solution sets of the inverse kinematics problem for a 6-DOF manipulator by considering the working area with configurations". The 6th Vietnam International Conference and Exhibition On Control And Automation, Nov, 2022.
- [8]. S. M. LaValle, J. J. Kuffner, "Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning". Technical Report, Computer Science Department, Iowa State University, 2008.
- [9]. T.Xu, H. Zhou, S. Tan, Z. Li, X. Ju, Y. Peng "Mechanical arm obstacle avoidance path planning based on improved artificial potential field method". Industrial Robot: the international journal of robotics research and application, 49(2), pp. 271-279, 2022.
- [10]. G. J. Giezeman, "PlaGeo a library for planar geometry". Dept. Comput. Sci., Utrecht Univ., Utrecht, the Netherlands. 1993.
- [11]. M. H. Overmars, P. Svestka. "A probabilistic learning approach to motion planning", Utrecht University, Padua 14 P.O. Box 80.089, Netherlands, Book, 1994.
- [12]. Y. Yu, K.Gupta, "Sensor-based probabilistic roadmaps: experiments with an eye-in-hand system", Advanced Robotics, vol. 14(6), pp. 515-536, 2000.
- [13]. T. C. Lai, S. R. Xiao, H. Aoyama, C. C. Wong, "Path planning and obstacle avoidance approaches for robot arm". In 2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan, IEEE, SICE, pp. 334-337. September 2017.
- [14]. P.J. Laumond, M. Taïx, P. Jacobs, "A motion planner for car-like robots based on a mixed global/local approach". Int. Conference Intelligent Robots and Systems. IEEE, (pp. 765-773), July-1990.
- [15]. S. Berchtold, B. Glavina, "A scalable optimizer for automatically generated manipulator motions" In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'94 – IEEE, Vol. 3, pp. 1796-1802, September 1994.
- [16]. R. Zhao, "Trajectory planning and control for robot manipulations". The sis.hal.science University Paul Sabatier – Toulouse, 26 Oct 2016.
- [17]. U. Abubakar, W. Zhongmin, G. Ying, "Kinematic Analysis and Simulation of a 6-DOF Industrial Manipulator". International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN, 2014.
- [18]. S.S.G. Lee, M. Ziegler, "A Geometric Approach in Solving the Inverse Kinematics of Puma Robots". IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, volume: AES-20, pp. 695 – 706, 1984.
- [19]. N.X. Khoát, P.P.Tùng, L.H.Minh, N.M. Dũng, N.Q.Chí, "Path planning for UP6 arm avoiding obstacles based on probabilistic roadmap algorithm with considering UP6 configuration limits". 5th Conference On Transportation, Science and Technology CTST 2023, 15 May 2023.
- [20]. C. Boor, "Convergence of cubic spline interpolation with the not-a-knot condition". Technical Summary Report-University of Wisconsin-Madison, October 1985.

## NGHIÊN CỨU GIA CÔNG BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN BẰNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY

REVIEW ON TECHNOLOGICAL MEASURES IN MANUFACTURING NON-  
CIRCULAR GEAR USING WIRE ELECTRICAL DISCHARGE METHOD

**Hoàng Đức Quân**

Trung tâm Hỗ trợ việc làm và Hợp tác doanh nghiệp, Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội

### TÓM TẮT

*Bánh răng không tròn có tỷ số truyền chính xác và tính năng động tốt nên được sử dụng trong nhiều máy móc quan trọng. Tuy nhiên, chế tạo bánh răng không tròn là một trong những vấn đề khó khăn nhất định trong công nghệ chế tạo. Do khả năng công nghệ hạn chế của máy móc và công truyền thống, các phương pháp sản xuất trước đây không thể tính toán được hình dạng giả định của đường răng và biên dạng của nó. Gia công cắt dây (WEDM) là phương pháp hiệu quả để chế tạo hầu hết các loại bánh răng không tròn. Bài báo trình bày khía cạnh công nghệ của phương pháp cắt dây ứng dụng trong chế tạo bánh răng không tròn.*

**Từ khóa:** Bánh răng không tròn; Phương pháp cắt dây; Gia công bánh răng; Cắt bánh răng không tròn.

### ABSTRACT

*Non-circular gears have the characteristics of gear ratio accuracy and good dynamic performance, so they are used in many important machines. However, the construction and manufacture of non-circular gears is one of the most difficult issues in machine technology. Due to the limited technological capabilities of traditional machines and tools, past manufacturing methods were unable to calculate the assumed shape of the tooth line and its profile. Wire electrical discharge machining (WEDM) can process almost all kinds of non-circular gear. This article presents the technological aspects of wire electrical discharge machining (WEDM) applied to manufacturing non-circular gears.*

**Keywords:** Non-round gears; Wire cutting methods; Gear machining; Cutting non-round gears.

## 1. GIỚI THIỆU

Ý tưởng về bánh răng không tròn có từ lịch sử ban đầu của kỹ thuật. Leonardo Da Vinci phác thảo một số phiên bản không gian của bánh răng không tròn. Vào thế kỷ 18, các bánh răng không tròn được sử dụng trong máy bơm, đồng hồ, hộp nhạc, đồ chơi và các thiết bị khác. Các bánh răng được sản xuất vào thời điểm đó có hình dạng đơn giản, dẫn đến điều kiện ăn khớp không phù hợp. Hiện nay, bánh răng không tròn và cam răng được sử dụng trong máy dệt, bộ truyền động chiết áp phi tuyến tính, hộp số biến thiên liên tục, thiết bị chỉ số Geneva và các cơ cấu khác. Mặc dù các máy điều khiển số (CNC) hiện đại cho phép chế tạo các hình dạng phức tạp, nhưng các phương pháp thiết kế bánh răng không tròn thích hợp lại không sẵn có và thường sử dụng các bánh răng hình elip đơn giản nhất.

Nhiều học giả trên thế giới quan tâm đến bánh răng không tròn. Dù vậy, sự phát triển trong lĩnh vực này vẫn còn chậm do tính chất phức tạp của các phương trình mô tả bánh răng không tròn [1, 2]. Sự phức tạp này đã làm cho việc phân tích các bánh răng không tròn hầu như không thể thực hiện được nếu không có sự trợ giúp của công nghệ máy tính [3, 4].

So với các bánh răng tiêu chuẩn, việc thiết kế và chế tạo các bánh răng không tròn có trục song song còn có thêm một số vấn đề như: Tính toán đường lăn cho cả hai bánh răng phối hợp tốt với nhau, tức là lăn không trượt [5], tính toán các dạng răng mà trục ăn khớp và đường lăn của giá tham chiếu thay đổi vị trí của chúng theo thời gian. Ngoài ra, ở các bánh răng không tròn, mỗi sườn của răng có một đường cơ sở độc lập. Các phương pháp sản xuất hiện đại cho phép tạo ra các bánh răng côn không tròn có biên dạng răng dạng tự do

và răng cong theo hướng dọc của chúng.

Bánh răng không tròn có đặc tính chính xác về tỷ số truyền và tính năng động tốt nhưng khó chế tạo. Gia công cắt dây – Wire electrical discharge machining (WEDM) có thể xử lý hầu hết các loại bánh răng không tròn. Để chế tạo bánh răng không tròn đáp ứng yêu cầu bề mặt, cần nghiên cứu các khía cạnh công nghệ trong quá trình chế tạo. Nghiên cứu này nhằm mục đích khảo sát đặc trưng công nghệ khi tính toán chi tiết phương pháp công nghệ gia công bánh răng không tròn sử dụng phương pháp cắt dây WEDM.

## 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN

Các phương pháp chế tạo bánh răng không tròn cơ bản bao gồm: phay lăn, phay lăn chéo, xọc và cắt dây WEDM. Đã có một số nghiên cứu mô tả quy trình gia công bánh răng không tròn bằng phương pháp phay lăn chéo [6, 7]. Khi phay các bánh răng xoắn không tròn, có một số vấn đề ảnh hưởng đến răng của dao phay như tải trọng tác dụng lên răng dao không đều và độ mòn của dao. Để giải quyết những vấn đề này, mô hình phay lăn sáu trục đồng thời đã được phát triển dựa trên phương pháp phay lăn chéo. Kết quả thực nghiệm cho thấy, phay lăn chéo có một số ưu điểm so với phay lăn không chéo. Bánh răng không tròn cũng được chế tạo bằng phương pháp xọc. Phương pháp xọc được sử dụng trong các trường hợp mà các phương pháp khác không cho phép gia công biên dạng lõm. Phương pháp cắt dây WEDM có ưu điểm là có thể chế tạo hầu hết được các loại bánh răng không tròn. Tuy nhiên, để chế tạo bánh răng không tròn đáp ứng yêu cầu bề mặt cũng là một khó khăn trong quá trình gia công.



### 3. ĐẶC ĐIỂM CÔNG NGHỆ KHI GIA CÔNG BÁNH RĂNG KHÔNG TRÒN SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY (WEDM)

Bánh răng không tròn được biểu diễn dưới dạng hai đường lẩn  $P_1$  và  $P_2$  với tâm quay lẩn lượt ở các điểm  $O_1$  và  $O_2$ . Những đường đó ăn khớp với nhau, lẩn không trượt.

Hình  $P_1$  được mô tả bằng phương trình theo tọa độ cực là hàm của bán kính  $r_1(\varphi_1)$ . Tỷ số truyền được mô tả bởi hàm số:

$$v(\varphi_1) = \frac{\omega_1(\varphi_1)}{\omega_2(\varphi_1)} = \frac{r_2(\varphi_1)}{r_1(\varphi_1)} \quad (1)$$

Trong đó,  $\omega_1(\varphi_1)$  và  $\omega_2(\varphi_1)$  lần lượt là các hàm vận tốc góc của bánh răng thứ nhất và thứ hai.

Khoảng cách trục  $A$  không đổi:

$$A = r_1(\varphi_1) + r_2(\varphi_1) = \text{const} \quad (2)$$

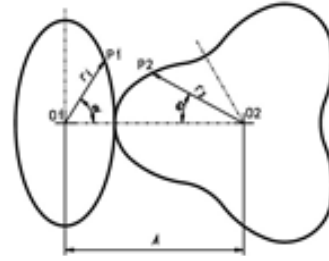
Các đường lẩn làm việc phối hợp với nhau mà không trượt:

$$d\varphi_2 = \frac{r_1(\varphi_1)}{r_2(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (3)$$

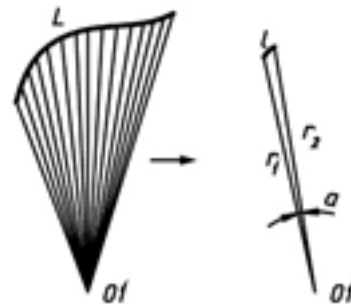
Kết hợp phương trình (1) và (3) và tiến hành tích phân:

$$\varphi_2 = \int_0^{\varphi_1} \frac{r_1(\varphi_1)}{A - r_1(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (4)$$

Hằng số tích phân được tìm thấy từ điều kiện sau: nếu  $\varphi_1 = 0$  thì  $\varphi_2 = 0$ .



Hình 1. Các đường lẩn biểu diễn bánh răng không tròn:  $P_1, P_2$  – Đường lẩn;  $O_1, O_2$  – Tâm xoay.



Hình 2. Đường lẩn được chia thành các đoạn.

Để truyền chuyển động liên tục thì hàm tỷ số truyền phải tuần hoàn và chu kỳ  $T$  của bánh răng phải liên hệ với chu kỳ  $T_1$  và  $T_2$  của bánh răng 1 và 2 tương ứng như sau:

$$T = \frac{T_1}{n_2} = \frac{T_2}{n_1} \quad (5)$$

Trong đó  $n_1$  và  $n_2$  là các số tự nhiên.

Trong trường hợp trên Hình 1, chu kỳ  $T$  của hàm tỷ số truyền  $v(\varphi_1) = \pi$ ,  $T_1 = 2\pi$ , và  $T_2 = 3\pi$ ; do đó, khi  $\varphi_1 = \pi$  thì  $\varphi_2 = 2/3\pi$ . Điều này làm cho:

$$\frac{2}{3}\pi = \int_0^{\pi} \frac{r_1(\varphi_1)}{A - r_1(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (6)$$

Giá trị của tham số  $A$  có thể được tính từ công thức (6).  $P_2 = r_2(\varphi_1)$  có thể được tính từ công thức (2) và (3).

Chúng ta giả sử có đường lẩn  $P_1$  mà tại đó cần tìm đường hợp tác  $P_2$  đáp ứng các yêu

cầu được mô tả ở trên. Đường  $P_1$  đã được chia thành  $i$  đoạn  $l_{1i}$  sao cho mỗi đoạn đó có thể được biểu diễn dưới dạng đường xoắn ốc Archimedes với độ chính xác phù hợp (Hình 2).

Đường xoắn ốc Archimedes được mô tả bởi:

$$r = k \cdot x \quad (7)$$

Vì vậy:

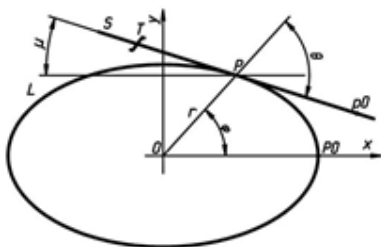
$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{r_1}{k}; \alpha_2 = \frac{r_2}{k}; k = \frac{r_2 - r_1}{\alpha}; dl = \sqrt{(dr)^2 + (rd\alpha)^2}; dr = d(k\alpha) = k d\alpha \\ dl &= \sqrt{(kd\alpha)^2 + (rd\alpha)^2} = \sqrt{(kd\alpha)^2 + (k\alpha d\alpha)^2} = k\sqrt{1 + \alpha^2} d\alpha \\ \int dl &= \frac{k}{2} \left[ \alpha\sqrt{\alpha^2 + 1} + \ln(\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 1}) \right] \\ l &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dl = \frac{k}{2} \left[ \alpha_2\sqrt{\alpha_2^2 + 1} + \ln(\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 + 1}) - \alpha_1\sqrt{\alpha_1^2 + 1} - \ln(\alpha_1 + \sqrt{\alpha_1^2 + 1}) \right] \quad (8) \end{aligned}$$

Nếu các đường  $P_1$  và  $P_2$  lăn không trượt lên nhau và đường  $P_2$  được chia thành  $i$  phần  $l_{2i}$  tương ứng với  $P_1$ , thì dựa vào công thức (3), chúng ta có:  $l_{1i} = l_{2i}$  (9)

Phương trình của đường  $P_2$  được ước lượng từ phương trình (2) đến (9).

Bước tiếp theo là tính toán các dạng răng. Đường lăn của bánh răng không tròn được mô tả bởi  $L = r(\varphi)$ . Có thanh tham chiếu dẫn hướng  $S$  lăn trên đường lăn mà không bị trượt. Biên dạng chữ T của giá tham chiếu được liên kết với đường  $S$  (Hình 3). Tọa độ tiếp điểm  $P$  của các đường thẳng là:

$$P[x, y] = [r(\varphi) \cos(\varphi), r(\varphi) \sin(\varphi)] \quad (10)$$





được lặp lại cho tất cả các mặt của bánh răng không tròn. Mô đun của bánh răng không tròn được tính bằng:

$$m = \frac{|L|}{\pi z} = \frac{\sum_{n=1}^i l_n}{\pi z} \quad (14)$$

Trong đó,  $z$  là số răng của bánh răng.

Mô hình số này được sử dụng để tạo ra các chương trình sản xuất cho máy cắt dây được điều khiển bằng CNC. Các bánh răng được so sánh với mô hình kỹ thuật số bằng máy đo tọa độ (CMM – Coordinate Measuring Machine).

Kết quả của việc gia công các bánh răng không tròn trên bề mặt của chúng sẽ hình thành các nhấp nhô trên bề mặt. Chúng có thể được loại bỏ bằng đầu chà sợi gốm [8].

## 6. KẾT LUẬN

- Đã mô tả đặc điểm công nghệ của các phương pháp cắt dây (WEDM) để chế tạo bánh răng không tròn là công nghệ duy nhất hiện có cho phép chế tạo một bánh răng không tròn thích hợp hơn cả. Đồng thời thực hiện các hình dạng tùy chỉnh cho các phần ở chân răng và các phần đó có thể khác nhau đối với mỗi sườn răng.

- Chỉ ra nhược điểm của phương pháp xọc là cần có các loại máy móc chuyên dụng và hình dạng hình học của dao phức tạp.

- Các kết quả này được đặt làm nền tảng cho việc nghiên cứu sâu hơn về các tính chất cụ thể của bánh răng không tròn như động

học, cũng như các vấn đề liên quan đến độ bền, động lực học và ma sát. ♦

Ngày nhận bài: **12/11/2023**

Ngày phản biện: **08/12/2023**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kong X, Zhang J, Niu M. *Computerized tooth profile generation and undercut analysis of gears manufactured with pre-shaving hobs*. Appl Mech Mater 2009;16–19:1278–82. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.16-19.1278>.
- [2]. Doege E, Meinen J, Neumaier T, Schaprian M. *Numerical design of a new forging press drive incorporating non-circular gears*. Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf 2001;215:465–71. <https://doi.org/10.1243/0954405011518430>.
- [3]. Zheng F, Hua L, Han X, Li B, Chen D. *Synthesis of Shaped Noncircular Gear Using a Three-Linkage Computer Numerical Control Shaping Machine*. J Manuf Sci Eng Trans ASME 2017;139. <https://doi.org/10.1115/1.4035794>.
- [4]. Litvin FL, Gonzalez-Perez I, Fuentes A, Hayasaka K. *Design and investigation of gear drives with non-circular gears applied for speed variation and generation of functions*. Comput Methods Appl Mech Eng 2008;197:3783–802. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2008.03.001>.
- [5]. Laczik B. *Design and Manufacturing of Non-Circular Gears by Given Transfer Function*. Proc ICT 2007:101–109.
- [6]. Liu Y, Han J, Xia L, Tian X. *Hobbing Strategy and Performance Analyses of Linkage Models for Non-Circular Helical Gears Based on Four-Axis Linkage*. Stroj Vestnik/Journal Mech Eng 2012;58:701–8.



# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỆN ÁP ĐẾN TỐC ĐỘ BÓC VẬT LIỆU VÀ CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI MÀI ĐIỆN HÓA THÉP SKD11 BẰNG ĐÁ MÀI KIM CƯƠNG

STUDYING THE EFFECT OF VOLTAGE ON MATERIAL REMOVAL SPEED AND SURFACE QUALITY WHEN ELECTROCHEMICAL GRINDING SKD11 STEEL WITH DIAMOND GRINDING STONE

Ngô Xuân Sơn, Lê Thái Sơn, Lưu Thủy Chung, Mai Tất Lợi

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

## TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến tốc độ bóc vật liệu và chất lượng bề mặt khi mài điện hoá thép chống mài mòn, SKD11, bằng đá mài kim cương không dẫn điện nhằm tìm ra mức điện áp gia công hợp lý. Nhóm nghiên cứu thực nghiệm mài ở các mức điện áp 3V, 6V, 9V và 12V ở các khoảng thời gian 10, 20, 30, 40 phút với dung dịch điện phân NaCl 5%. Kết quả cho thấy khi điện áp tăng cao, năng suất mài tăng lên nhưng chất lượng bề mặt giảm xuống. Ở điện áp 6V cho chất lượng bề mặt cao nhất do sự cân bằng của ăn mòn điện hoá và mài mòn cơ học. Ở điện áp 12V, bề mặt chủ yếu bị phá huỷ do ăn mòn điện hoá.

**Từ khóa:** Điện hoá; Bóc vật liệu; Điện cực.

## ABSTRACT

This paper presents researchs on the influence of voltage on material removal speed and surface quality when electrochemically grinding abrasion-resistant steel, SKD11, with non-conductive diamond grinding wheels to find the reasonable processing voltage level. The research team experimented with grinding at voltage levels of 3V, 6V, 9V and 12V at intervals of 10, 20, 30, 40 minutes with 5% NaCl electrolyte solution. The results show that when the voltage increases, grinding productivity increases while surface quality decreases. At 6V voltage, the surface quality peaked due to the balance of electrochemical corrosion and mechanical abrasion. At 12V voltage, the dominant cause for the destruction of the surface is electrochemical corrosion.

**Keywords:** Electrochemistry; Peel off material; Electrode.



## 1. GIỚI THIỆU

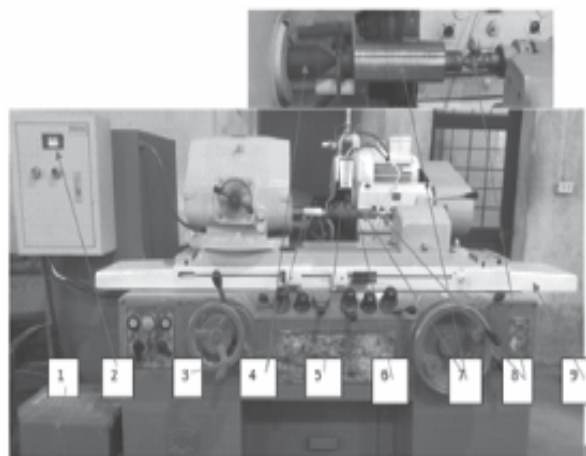
Thép SKD11 là thép hợp kim chống mài mòn thường được sử dụng để làm khuôn, mẫu. Đây là loại vật liệu khó gia công, thông thường để gia công tinh loại vật liệu này phải dùng đá mài kim cương thay cho việc dùng đá cabitsilic [1, 4]. Ngày nay, cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật các nhà khoa học đã đưa ra các phương pháp gia công tiên tiến để gia công thép SKD11 như: Mài điện hóa [2, 3], gia công bằng siêu âm, gia công bằng xung điện, v.v. [7, 8]. Các nghiên cứu về mài điện hóa bằng đá mài kim cương đã chỉ ra rằng ngoài các ảnh hưởng của điện áp, độ hạt, chất kết dính, áp lực đơn vị mài thì ảnh hưởng của điện hóa khi mài là yếu tố vô cùng quan trọng ảnh hưởng đến năng suất và quyết định nhiều đến chất lượng bề mặt vật mài [5, 6].

Để đạt được năng suất, chất lượng, giá thành của quá trình mài điện hóa bằng đá mài Kim cương cần tập trung nghiên cứu về mài điện hóa. Mài điện hóa có thể dùng đá mài dẫn điện, hoặc đá mài không dẫn điện (đá có chất dính kết hữu cơ). Trong nội dung bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu tốc độ bóc tách vật liệu (năng suất) [3] và chất lượng bề mặt sau khi mài [7] với đá mài trung tính (đá không dẫn điện).

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

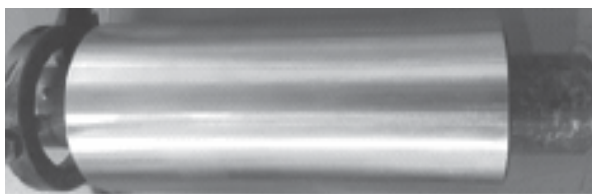
Tác giả sử dụng thí nghiệm là máy mài FS của Đức được cải tạo thành máy mài điện hoá (Hình 1.1). Chi tiết trục mẫu là thép SKD11 của Nhật Bản có kích thước là  $\varnothing 62 \times 200$ . Đá có vận tốc mài  $V = 35 \text{ m/s}$ . Đá mài được sử dụng là đá mài kim cương dạng đĩa  $300 \times 127 \times 20$  ký hiệu PR 300x127x20-40-H, đây là loại đá có kim cương được sản xuất tại Đài Loan, có chất dính kết hữu cơ, dung dịch chất điện phân là

Natri clorua (NaCl) được pha theo tỷ lệ 5% vào nước cất.



Hình 1.1. Máy mài điện hoá:

1. Bộ điều chỉnh điện áp, 2. Màn hình hiển thị vonke, 3. Máy mài điện hóa, 4. Đầu cách điện trước, 5. Đá mài kim cương, 6. Ống dẫn dung dịch NaCl, 7. Phôi mài, 8. Đầu cách điện sau, 9. Bàn máy



Hình 1.2. Phôi làm thí nghiệm

Quá trình mài, chi tiết được phân chia các khoảng đều nhau với các dải điện áp là: 3V; 6V; 9V; 12V. Chi tiết được chống tâm 2 đầu, một đầu được kẹp tốc và được mài sơ bộ khi chưa có điện áp. Thực hiện mài điện hóa với các chế độ mài cho các cấp độ điện áp ra: 3V; 6V; 9V; 12V. Mỗi chế độ điện áp tiến hành mài trong thời gian 10 phút, 20 phút, 30 phút, 40 phút và số liệu được chia trung bình khi kiểm tra và có kết quả đo đường kính chi tiết, sử dụng kính hiển vi điện tử ARCS – KIM 4530U. Độ cứng của phôi được kiểm tra bằng máy đo độ cứng Matsuzawa của Nhật Bản, phôi có độ cứng khoảng 62 HRC.

### 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

#### 3.1. Kết quả

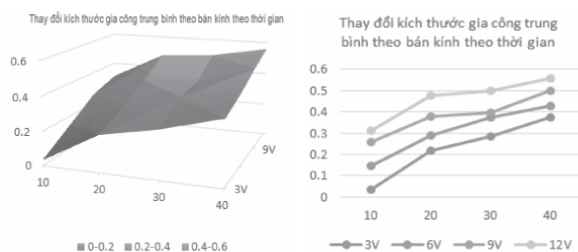
##### 3.1.1. Ảnh hưởng của điện áp đến tốc độ bóc vật liệu và chất lượng bề mặt

Kết quả đo đường kính chi tiết thay đổi lượng dư gia công trung bình theo bán kính và theo thời gian như sau:

Bảng 1-1: Bảng tổng hợp sự thay đổi lượng gia công theo bán kính, theo thời gian, mm.

Thời gian (phút)	Các chế độ điện áp				Ghi chú mm
	3V	6V	9V	12V	
10	0.0334	0.2173	0.2843	0.3754	
20	0.1454	0.2889	0.3765	0.4287	
30	0.257	0.3793	0.3955	0.4976	
40	0.3102	0.4762	0.498	0.5589	

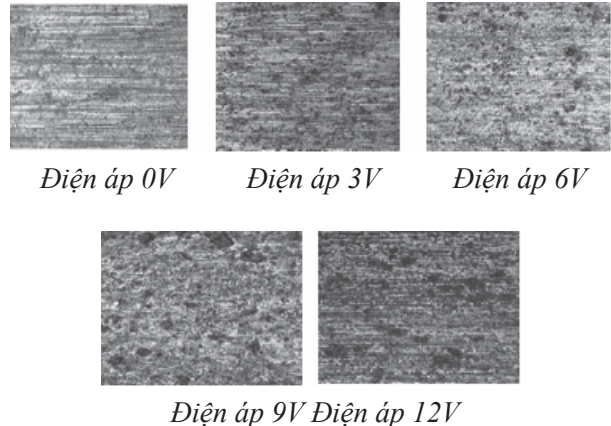
Sử dụng phần mềm Excel, ta vẽ được đồ thị như sau:



Hình 1.3. Đồ thị thay đổi lượng dư gia công trung bình đường kính phôi theo thời gian

##### 3.1.2. Sự thay đổi cấu trúc tế vi bề mặt khi thay đổi các chế độ điện áp mài

Tiến hành chụp ảnh để phân tích cấu trúc, chất lượng bề mặt tại các chế độ điện áp khi mài:



Hình 1.4. Ảnh chụp bề mặt chi tiết ở các chế độ điện áp khác nhau

#### 3.2. Thảo luận

Từ biểu đồ và ảnh chụp trên, ta nhận thấy rằng thay đổi điện áp ảnh hưởng lớn đến độ bóc vật liệu, năng suất mài và chất lượng bề mặt tác động trực tiếp lẫn nhau [6], khi mài điện hóa với điện áp mài tăng, thì năng suất mài tăng nhưng chất lượng bề mặt giảm. Khi thực hiện mài ở các chế độ điện áp khác nhau, ta thấy độ bóc tách vật liệu phụ thuộc vào điện áp rất nhiều. Khi điện áp tăng thì độ bóc tách vật liệu tăng, dẫn đến năng suất mài tăng nhưng chất lượng bề mặt giảm xuống, điều này trùng với các kết luận của [2, 3] khi thực hiện mài điện hóa với đá mài dẫn điện.

Tốc độ bóc vật liệu chi tiết mài phụ thuộc nhiều vào việc thay đổi các chế độ điện áp. Ở mức điện áp 3V, tốc độ bóc vật liệu xảy ra chậm, điện cực đã tác động trên bề mặt của chi tiết nên chất lượng bề mặt nhìn kém hơn so với việc không sử dụng mài điện hóa. Khi tăng điện áp lên 6V, tốc độ bóc vật liệu tăng lên do tác dụng của điện hóa làm nhão bề mặt phôi kết hợp với quá trình cào xước của các hạt mài [8]. Ở mức điện áp 9V, các đỉnh nhấp nhô trên bề mặt liên tục bị bắn phá, bị bong tróc và cuốn ra ngoài theo các hạt mài. Trong giai đoạn này, bề

mặt mài bị mòn nhanh do áp lực đơn vị trong vùng mài lớn, bề mặt được mài của chi tiết liên tục tiếp xúc với bề mặt đá mài và liên tục bị hiện tượng điện hóa, các đỉnh nhấp nhô trên bề mặt chi tiết nhanh chóng bị san phẳng, để các đỉnh nhấp nhô mới được hình thành [5], do đó tốc độ mòn giai đoạn này là rất lớn. Khi thực hiện mài ở chế độ điện áp 12V, ta thấy tốc độ bóc tách vật liệu tăng, tuy nhiên trên bề mặt chi tiết xuất hiện các vùng lõm làm cho bề mặt chi tiết xấu đi nên chỉ phù hợp để mài thô.

## 4. KẾT LUẬN

Với điện áp nguồn một chiều hòa tan Anot từ 3V ÷ 12V: Khi điện áp sử dụng là 12V dẫn tới tăng độ nhấp nhô tế vi bề mặt mài, tăng số lần phóng tia lửa điện, cường độ quá trình hòa tan cực dương tăng, dẫn tới giảm lực cắt, năng suất tăng. Song sự tăng điện áp quá 12V không có lợi vì nó phóng tia lửa mạnh trong vùng mài, làm giảm chất lượng bề mặt gia công và dẫn đến tăng lượng mòn của đá, giảm chất lượng bề mặt. Khi sử dụng mài điện hóa ở chế độ 3V, ta thấy chất lượng bề mặt tốt, song năng suất bóc tách không cao so với quá trình mài ở chế độ điện áp cao hơn.

Như vậy, để đảm bảo độ bóc vật liệu tạo ra năng suất cao khi mài thép SKD11 bằng phương pháp mài điện hóa, ta nên chọn dải điện áp mài 3V với chế độ mài tinh và chọn 9 ÷ 12V với chế độ mài thô là hợp lý nhất. ❖

Ngày nhận bài: 18/11/2023

Ngày phản biện: 05/12/2023

## Tài liệu tham khảo:

[1]. Trần Quốc Hùng, Nguyễn Đình Mẫn (2010); *Nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực mài ở các cấp điện áp đến năng suất và chất lượng khi mài điện hóa Hợp kim cứng TI5K6 bằng đá*

*mài Kim cương*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 13.

- [2]. Lê Thái Sơn, Ngô Xuân Sơn, Đậu Tấn Cương, Trần Văn Giang (2022); *Nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến chất lượng bề mặt khi mài điện hóa hợp kim cứng bằng đá mài kim cương*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam ISSN; 1859 – 0810, Số 295, tháng 10.
- [3]. Lê Thái Sơn, Lưu Thủy Chung, Nguyễn Chương Đạo, Kiều Anh Dũng (2023); *Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến chất lượng bề mặt khi mài điện hóa hợp kim cứng bằng đá mài kim cương*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, ISSN:2815-5505, Số 304, tháng 06.
- [4]. Anthony Beaucamp, Benjamin Kirschb, Wule Zhu (2022), “*Advances in grinding tools and abrasives*”. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 71, Issue 2, Pages 623-646.
- [5]. Tong Shu, Yong Liu a,b, Kan Wang, Tengfei Peng, Wenchao Guan (2022), “*Ultrasonic vibration-aided electrochemical drill-grinding of SLM-printed Hastelloy X based on analysis of its electrochemical behavior*”. Electrochemistry Communications, Volume 135, February, 107208.
- [6]. Suvadeep Roy, Ardhendu Bhattacharyya, Simul Banerjee (2007), “*Analysis of effect of voltage on surface texture in electrochemical grinding by autocorrelation function*”. Tribology International 40, pp 1387–1393.
- [7]. Zhengyang Xu, Yudi Wang (2021), “*Electrochemical machining of complex components of aero-engines: Developments, trends, and technological advances*”, Chinese Journal of Aeronautics, Volume 34, Issue 2, February, Pages 28-53.
- [8]. Piyushkumar B. Tailor, Amit Agrawal, Suhas S. Joshi, Review (2013), “*Evolution of electrochemical finishing processes through cross innovations and modeling*”. International Journal of Machine Tools & Manufacture 66, pp 15–36.



# ỨNG DỤNG ANN ĐỂ DỰ ĐOÁN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC CỦA MẪU ĐÚC ĐƯỢC CHẾ TẠO BẰNG CÔNG NGHỆ IN 3D LCD

## APPLYING ANN TO PREDICTE THE DIMENSIONAL ACCURACY OF CASTING SAMPLE FABRICATED USING 3D LCD PRINTING TECHNOLOGY

**Huỳnh Hữu Nghị, Đinh Thành Luân, Bùi Trọng Hiếu\***

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

*Việc ứng dụng công nghệ in 3D để chế tạo mẫu cho quá trình đúc mẫu chảy (Investment Casting – IC) mang lại nhiều lợi ích do giúp rút ngắn quy trình, tiết kiệm thời gian và chi phí. Đây cũng là lĩnh vực đang được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Một trong những vấn đề quan trọng là sai số kích thước của mẫu đúc do hiện tượng biến dạng, co rút trong quá trình chế tạo mẫu. Bài báo này trình bày quá trình sử dụng phương pháp mạng thần kinh nhân tạo (Artificial Neural Network – ANN) để dự đoán độ chính xác kích thước của mẫu đúc được chế tạo bằng công nghệ in 3D sử dụng vật liệu nhựa lỏng (3D Printing Resin) theo công nghệ LCD (Liquid Crystal Display). Quá trình quy hoạch được thiết kế theo quy hoạch đối xứng dạng B (Face-centered Central composite design – FCCCD) gồm 32 mẫu. Mẫu được chế tạo bằng vật liệu Anycubic Dental Castable Resin, một loại vật liệu giống sáp được sử dụng để đúc các sản phẩm trong nha khoa. Kết quả cho thấy mô hình dự đoán được xây dựng là phù hợp, có mối liên quan chặt chẽ với dữ liệu đầu ra với sai lệch giữa kết quả dự đoán với kết quả thực nghiệm (MAE) là 0,0425.*

**Từ khóa:** IC; LCD; FCCCD; Thông số công nghệ.

### ABSTRACT

*The application of 3D printing technology to create samples for the investment casting process (Investment Casting - IC) brings many benefits because it helps shorten the process, saving time and costs. This is also an area that is being researched by domestic and foreign scientists. One of the important issues is the dimensional error of the cast sample due to deformation and shrinkage during the sample manufacturing process. This article presents the process of using the artificial neural network (Artificial Neural Network – ANN) method to predict the dimensional accuracy of cast sample fabricated using 3D printing technology, using liquid plastic materials (3D Printing Resin) based on LCD (Liquid Crystal Display) technology. The planning process is designed according to symmetrical plan type B (Face-centered Central composite design – FCCCD) including 32 models. The model is made of Anycubic Dental Castable Resin, a wax-like material used to cast dental products. The results show that the built prediction model is suitable, has a close relationship with the output data with the difference between predicted results and experimental results (MAE) being 0.0425.*

**Keywords:** IC; LCD; FCCCD; Technology parameter.





## 1. GIỚI THIỆU

Công nghệ bồi đắp vật liệu (Additive Manufacturing – AM) hay còn được gọi là công nghệ in 3D là một trong những công nghệ tiên tiến và nhiều tiềm năng nhất của thế kỷ 21. Công nghệ này đang phát triển mạnh mẽ và được sử dụng rộng rãi ở nhiều lĩnh vực khác nhau trong đó có lĩnh vực IC. Công nghệ AM có thể giúp rút ngắn quy trình chế tạo mẫu đúc bằng sáp so với các phương pháp truyền thống. Việc quan tâm, sử dụng AM cho lĩnh vực IC bắt đầu ngay từ khi công nghệ này được phát triển. Điều này được thể hiện trong tác phẩm trình bày quá trình sử dụng SLA cho đúc nhanh (Rapid Casting – RC) được thực hiện bởi Paul F. Jacobs đầu năm 1992 [1], trong đó có một số nghiên cứu điển hình về việc chế tạo các mẫu đúc bằng công nghệ SLA (Stereolithography) để thay thế cho mẫu sáp trong quá trình sản xuất đơn chiếc. Một số nhà nghiên cứu [2-4] đã trình bày kết quả nghiên cứu của họ trong việc tìm ra ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ ổn định kích thước của mẫu sáp. Morwood và cộng sự [5] đã nghiên cứu và tìm ra phương pháp sử dụng mẫu sáp đặc ở khoảng nhiệt độ thấp, có độ cứng vừa phải để đảm bảo độ co rút tối thiểu của mẫu sáp. Trong giai đoạn tạo khuôn, Bates và cộng sự [6] đã trình bày việc sử dụng một loại vật liệu phủ là hỗn hợp giữa zircon và vữa để kiểm soát độ dày của khuôn. Bên cạnh đó, Singh và cộng sự [7], và Kumar và cộng sự [8] đã sử dụng kết quả này kết hợp với các yếu tố khác để nghiên cứu về quá trình tạo khuôn đúc mẫu chảy. Trong giai đoạn đúc, Okhuysen và cộng sự [9] đã báo cáo nghiên cứu về hiện tượng sai lệch kích thước có thể xảy ra khi đúc các mẫu bằng vật liệu hợp kim khác nhau. Harste và Schwerdtfeger [10] đã đo độ co rút của thép trong quá trình đông đặc và làm nguội, đồng thời xác định ảnh hưởng của hàm lượng cacbon đến độ co rút.

Ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến độ chính xác kích thước đã được nghiên cứu bởi Farhangi và cộng sự [11] và Seidu và Onigbajumo [12], kết quả nghiên cứu đã xác định rằng việc tăng nhiệt độ rót sẽ làm tăng hiện tượng biến dạng. Về việc ứng dụng công nghệ AM trong việc chế tạo mẫu đúc, Huỳnh Hữu Nghị và cộng sự [13] đã chỉ ra hai vấn đề chính đối với quá trình đúc nhanh đó là sự nứt vỡ của vỏ khuôn trong quá trình nung và các mẫu bị cháy không hoàn toàn sẽ để lại tro và giải phóng các sản phẩm phụ có tác dụng ăn mòn ảnh hưởng đến vỏ khuôn. Trong nghiên cứu, các tác giả đã sử dụng ba thông số gồm số lớp vỏ, mật độ điền đầy và kiểu điền đầy để xác định ảnh hưởng của chúng đến lượng tro còn lại. Các mẫu thử ABS được chế tạo bằng công nghệ FDM. Nhựa ABS được sử dụng vì nó có nhiệt độ cháy cao và thường được sử dụng trong sản xuất công nghiệp. Sau đó, các tác giả đã huấn luyện mạng ANN để dự đoán kết quả của các thử nghiệm và so sánh với kết quả dự đoán theo phương pháp Taguchi bằng cách sử dụng sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE). Kết quả cho thấy sự tương tác giữa mật độ điền đầy và kiểu điền đầy, kiểu điền đầy và số lớp vỏ là quan trọng nhất đối với lượng phần trăm của phần tro còn lại trong khuôn. Phân tích MAPE giữa kết quả dự đoán của phương pháp Taguchi và phương pháp ANN cho thấy rằng phương pháp ANN đáng tin cậy hơn. Bên cạnh đó, nhóm tác giả cũng đề xuất cần cải thiện thêm một vài khía cạnh trong quy trình thực nghiệm. Muslim Mukhtarkhanov, Asma Perveen và Didier Talamona [14] đã xem xét tình trạng hiện tại của công nghệ AM sử dụng vật liệu nhựa lỏng trong sản xuất bằng phương pháp IC. Các tác giả kết luận rằng công nghệ SLA là một công cụ tốt để sản xuất cả khuôn mẫu và dụng cụ, vốn là những yếu tố chính của ngành công nghiệp IC. Bài báo này cũng đã trình bày một vấn đề cần được khắc phục là độ giãn nở nhiệt cao của các loại nhựa

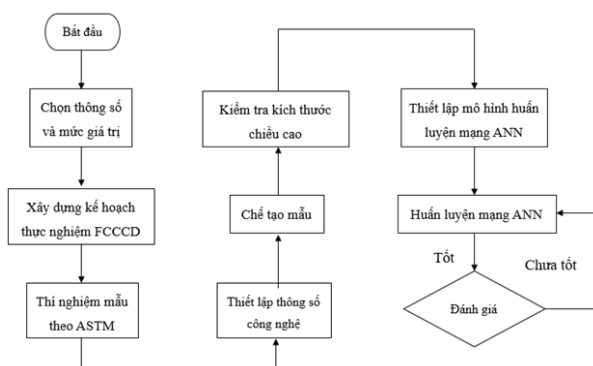
đôi khi gây nứt vỡ khuôn.

Quá trình khảo sát các nghiên cứu trên cho thấy, việc ứng dụng công nghệ in 3D để chế tạo mẫu đúc mang lại nhiều lợi ích tích cực. Trong quá trình này, độ chính xác kích thước của mẫu là chỉ tiêu quan trọng trong việc đánh giá chất lượng của vật đúc. Mục đích của bài báo nhằm tìm hiểu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sử dụng vật liệu nhựa dạng lỏng theo công nghệ LCD và dự đoán độ chính xác kích thước của sản phẩm nhằm giảm thiểu sai số trung gian và tăng chất lượng sản phẩm đúc cuối cùng phục vụ cho quá trình ứng dụng công nghệ in 3D để chế tạo các mẫu đúc tại Việt Nam.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Quy trình thực nghiệm

Để dự đoán độ chính xác kích thước của mẫu đúc được chế tạo bằng công nghệ in 3D LCD. Quy trình thực nghiệm và đánh giá được tiến hành theo lưu đồ được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Lưu đồ quy trình thực nghiệm và đánh giá

### 2.2. Thông số công nghệ

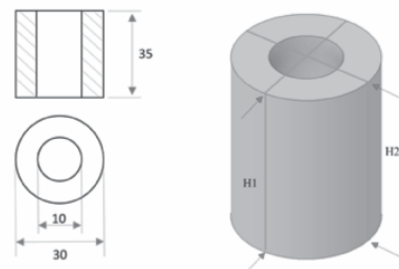
Dựa vào khảo sát các nghiên cứu, các thông số đầu vào được lựa chọn sử dụng trong quá trình thực nghiệm gồm: chiều dày lớp,

gian phơi sáng, mật độ điền đầy, chiều dày vỏ và độ phơi sáng lớp cuối. Theo phương pháp FCCCD, với mỗi thông số ta cần lựa chọn giá trị ở hai mức thấp (-1) và cao (1). Mức trung bình (0) của các thông số sẽ là giá trị trung bình giữa hai mức thấp - cao đã được lựa chọn trước đó. Các thông số còn lại nhận mức giá trị trung bình và được giữ không đổi để tiết kiệm thời gian và vật liệu. Giá trị các thông số được chọn vào các công trình nghiên cứu đã công bố và kinh nghiệm vận hành máy của nhóm nghiên cứu. Các thông số và mức giá trị được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số và mức giá trị thí nghiệm

Thông số	Kí hiệu	Mã hóa	Đơn vị	Thấp (-1)	Trung Bình (0)	Cao (1)
Chiều dày lớp	A	x1	mm	0,05	0,06	0,07
Thời gian phơi sáng	B	x2	s	20	22	24
Mật độ điền đầy	C	x3	%	20	40	60
Chiều dày vỏ	D	x4	mm	1,5	2	2,5
Độ phơi sáng lớp cuối	E	x5	s	60	70	80

### 2.3. Mẫu thí nghiệm



Hình 2. Mẫu thử nghiệm và các vị trí đo kích thước (H) của mẫu



Hiện nay vẫn chưa có mẫu thử nghiệm tiêu chuẩn nào được quy định riêng cho lĩnh vực này. Dựa trên các tài liệu tham khảo, nhóm nghiên cứu đề xuất mẫu thử nghiệm có hình dạng là hình trụ rỗng với kích thước như Hình 2. Mẫu được chế tạo trên thiết bị in 3D LCD dòng PhotonS của hãng ANYCUBIC. Vật liệu được sử dụng là nhựa Anycubic Dental Castable Resin dạng lỏng dùng để chế tạo mẫu phục vụ cho quá trình đúc trong nha khoa. Để đo giá trị kích thước, nhóm sử dụng dụng cụ đo là thước kẹp điện tử của hãng INSIZE với độ chính xác thiết bị là  $\pm 0,03$  mm.

Thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng bậc hai dạng B (Face-centered Central composite design

– FCCCD) là một biến thể của phương pháp CCD [15]. Trong thiết kế này, các điểm sao nằm ở tâm mỗi mặt của không gian giai thừa, do đó  $\alpha = \pm 1$ . Tổng số thí nghiệm  $N = 2^k + 2k$  với thực nghiệm nhân tố toàn phần. Các nhân tố đầu vào được biểu diễn qua phương trình (1):

$$\xi_{ij} = \left( \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\Delta x_i} \right) * 2 \quad (1)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^2 x_{ij}}{2} \text{ and } \Delta x_i = x_{i2} - x_{i1}; \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, K \text{ and } j = 1, 2.$$

Với  $\xi_{ij}$  và  $\bar{x}_i$  là giá trị đã được mã hóa và giá trị thực tương ứng của nhân tố thứ i, mức thứ j và k là số lượng nhân tố đầu vào. Ma trận quy hoạch và kết quả thực nghiệm được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Ma trận quy hoạch và kết quả thực nghiệm

Mẫu thí nghiệm	Nhân tố mã hóa					Chiều cao H, mm	Mẫu thí nghiệm	Nhân tố mã hóa					Chiều cao H, mm
	x1	x2	x3	x4	x5			x1	x2	x3	x4	x5	
1	-1	-1	-1	-1	1	35,48	17	-1	0	0	0	0	35,31
2	1	-1	-1	-1	-1	35,29	18	1	0	0	0	0	35,28
3	-1	1	-1	-1	-1	35,44	19	0	-1	0	0	0	35,12
4	1	1	-1	-1	1	35,39	20	0	1	0	0	0	35,25
5	-1	-1	1	-1	1	35,47	21	0	0	-1	0	0	35,33
6	1	-1	1	-1	-1	35,44	22	0	0	1	0	0	35,24
7	-1	1	1	-1	-1	35,5	23	0	0	0	-1	0	35,18
8	1	1	1	-1	1	35,42	24	0	0	0	1	0	35,2
9	-1	-1	-1	1	1	35,22	25	0	0	0	0	-1	35,26
10	1	-1	-1	1	-1	35,29	26	0	0	0	0	1	35,25
11	-1	1	-1	1	-1	35,19	27	0	0	0	0	0	35,29
12	1	1	-1	1	1	35,25	28	0	0	0	0	0	35,3
13	-1	-1	1	1	1	35,49	29	0	0	0	0	0	35,31
14	1	-1	1	1	-1	35,27	30	0	0	0	0	0	35,26
15	-1	1	1	1	-1	35,24	31	0	0	0	0	0	35,1
16	1	1	1	1	1	35,15	32	0	0	0	0	0	35,19

## 2.4. Xây dựng mô hình dự đoán bằng ANN



Hình 3. Thiết lập mạng ANN trên phần mềm Matlab

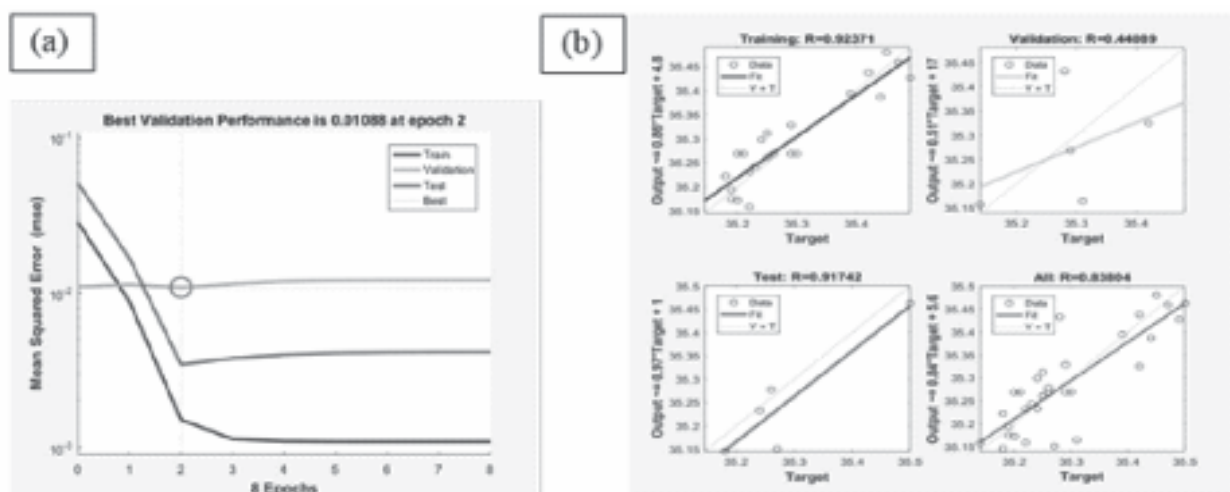
Mô hình ANN được xây dựng với cấu trúc 5-10-1, sử dụng hàm truyền tansig-purelin cùng thuật toán lan truyền ngược Levenberg-Marquardt (LM) để huấn luyện. Cấu trúc mạng được thể hiện như Hình 3. Số liệu thực nghiệm được chia ngẫu nhiên thành các tập dữ liệu như sau: 70% được sử dụng để huấn luyện, 15%

cho việc xác thực và kết thúc sớm đào tạo khi có hiện tượng quá khớp, 15% còn lại để kiểm tra về tính tổng quát.

## 3. KẾT QUẢ – THẢO LUẬN

Kết quả quá trình huấn luyện mạng sẽ hiển thị sai số bình phương trung bình (Mean Square Error – MSE) và hệ số tương quan (R) của các tập dữ liệu. Đồ thị hình 4.a cho thấy, trong quá trình huấn luyện, giá trị MSE của tập xác thực đạt được giá trị tốt nhất ở lần lặp thứ 2 (epoch 2), sau đó bắt đầu tăng. Vì vậy, kỹ thuật kết thúc sớm đã được sử dụng để tránh hiện tượng quá khớp. Giá trị MSE tốt nhất của tập xác thực thu được là 0,01088. Bên cạnh đó, sai số huấn luyện (đường màu xanh dương) và sai số kiểm tra (đường màu đỏ) đều thấp, nghĩa là kết quả dự đoán rất chính xác.

Đồ thị hồi quy của ANN (Hình 4.b) cho thấy hệ số tương quan R cho quá trình huấn luyện (Training) và kiểm tra (Test) đều rất cao ( $R > 0,9$ ), điều này có nghĩa là mạng được huấn luyện tốt, mô hình dự đoán có mối tương quan rất chặt chẽ với dữ liệu đầu ra.



Hình 4. Đồ thị giá trị MSE của 3 tập số liệu trong huấn luyện mạng (a) và Đồ thị hồi quy của mô hình ANN (b)



\* So sánh giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán:

Bảng 3. Bảng so sánh giá trị MAE giữa mô hình ANN và thực nghiệm

Số thứ tự	ANN	Kết quả thực nghiệm	MAE_ANN	Số thứ tự	ANN	Kết quả thực nghiệm	MAE_ANN
1	35,145	35,18	0,034778	17	35,163	35,31	0,14601
2	35,328	35,29	0,03843	18	35,432	35,28	0,152607
3	35,156	35,14	0,01668	19	35,231	35,22	0,011231
4	35,394	35,39	0,004363	20	35,311	35,25	0,061836
5	35,15	35,27	0,119776	21	35,241	35,23	0,01195
6	35,386	35,44	0,053165	22	35,298	35,24	0,058276
7	35,171	35,2	0,028318	23	35,221	35,18	0,041766
8	35,437	35,42	0,017739	24	35,324	35,42	0,095198
9	35,158	35,22	0,061937	25	35,277	35,26	0,017332
10	35,427	35,49	0,062844	26	35,26	35,25	0,010416
11	35,193	35,19	0,00346	27	35,268	35,29	0,021248
12	35,462	35,5	0,037333	28	35,268	35,3	0,031248
13	35,174	35,19	0,015818	29	35,268	35,21	0,058751
14	35,459	35,47	0,010775	30	35,268	35,26	0,008751
15	35,232	35,24	0,007388	31	35,268	35,2	0,068751
16	35,48	35,45	0,03018	32	35,268	35,29	0,021248
<b>MAE</b>			<b>0,042488</b>				

Để đánh giá độ chính xác của mô hình dự đoán, nhóm sử dụng sai số tuyệt đối trung bình (Mean Absolute Error – MAE) giữa bộ dữ liệu của phương pháp ANN với dữ liệu thực nghiệm. MAE đo độ lớn trung bình của các lỗi trong một tập hợp các dự đoán mà không cần xem xét hướng của chúng, đó là giá trị trung bình trên mẫu thử nghiệm về sự khác biệt tuyệt đối giữa dự đoán và quan sát thực tế, trong đó tất cả khác biệt riêng lẻ có trọng số bằng nhau. Giá trị MAE được tính dựa theo công thức [16]:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

Trong đó:

$y$  là giá trị quan sát thực tế;

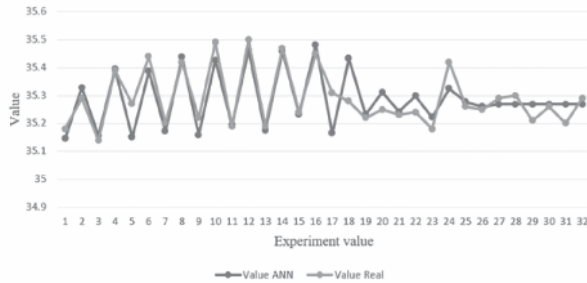
$\hat{y}_i$  là giá trị dự đoán;

$N$  là tổng số thực nghiệm.

Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 3.

Kết quả tính toán độ lệch chuẩn của mô hình dự đoán theo ANN so với giá trị thực tế là 0,0424 cho thấy mô hình ANN có khả năng dự báo tốt đối với độ chính xác kích thước của mẫu đúc được chế tạo bằng công nghệ in 3D LCD.





Hình 5. So sánh giá trị thực và giá trị dự đoán bằng phương pháp ANN

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, các tác giả đã sử dụng mô hình ANN để dự đoán độ chính xác kích thước của mẫu đúc được chế tạo bằng công nghệ in 3D LCD với 5 thông số công nghệ đầu vào gồm: chiều dày lớp, thời gian phơi sáng, mật độ điền đầy, chiều dày vỏ và độ phơi sáng lớp cuối với ba mức giá trị. Kết quả cho thấy các thông số này có ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm LCD và mô hình ANN có khả năng dự đoán tốt với độ sai lệch so với giá trị thực nghiệm thấp. Điều này cho thấy khả năng ứng dụng mô hình này để dự đoán cho các chỉ tiêu chất lượng quan trọng khác như: độ nhám bề mặt, các đặc tính cơ học của sản phẩm in 3D LCD nói riêng và các công nghệ in 3D khác nói chung.

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2021-20-01.❖

Ngày nhận bài: 28/10/2023

Ngày phản biện: 20/11/2023

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Jacobs, P.F., *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*, Society of Manufacturing Engineers: Dearborn, MI, USA, 1992; ISBN 0872634256.
- [2]. S. Wang et. al., *A Study of Investment Casting with Plastic Patterns*, Materials and Manufacturing Processes, vol 25, pp 1482-1488, 2010.
- [3]. Robert K. et. al., *Formulations, development and characterization techniques of investment casting patterns*, Reviews in Chemical Engineering, 2018.
- [4]. Paweł Zmarzły et. al., *Design guidelines for plastic casting using 3D printing*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2020.
- [5]. Morwood et al., *Contraction of investment cast H13 tool steel real time measurement*, Int J Cast Metal Res, vol 12, pp 457-467, 2000.
- [6]. Bates CE et. al., *Casting Technologies to Improve the Dimensional Accuracy of Thin-Walled Iron Casting*, Transactions of the American Foundry Society, vol 109, pp 1163-1172, 2001.
- [7]. Singh J. et. al., *Dimensional accuracy and surface finish of biomedical implant fabricated as rapid IC for small to medium quantity production*. J Manuf Process, vol. 25, pp 201-211, 2017.
- [8]. Kumar P. et. al., *Investigations on dimensional accuracy of the components prepared by hybrid investment casting*. J Manuf Process, vol 20, pp 525-533, 2015.
- [9]. Okhuysen VF et. al., *Tooling allowance practices in the investment casting industry*. Investment Casting Institute - 46th annual technical meeting, Orlando, pp.1-17, 1998.
- [10]. Harste K et. al., *Shrinkage of round iron - carbon ingots during solidification and subsequent cooling*. ISIJ Int, vol 43, pp 1011-1020, 2003.
- [11]. Farhangi H. et. al., *Effects of casting process variables on the residual stress in Nibase superalloys*. J Mater Process Tech, vol 153, pp 209-212, 2004.
- [12]. Seidu SO et. al., *Effect of casting wall thickness and pouring temperature on residual stress build up in aluminium 6063 casting*. Leonardo J Sci, vol. 29, pp 148-160, 2016.
- [13]. Nghi Huynh Huu et. al., *Effects of infill, infill patterns and number of perimeter shells on casting patterns fabricated using FDM method*, 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 2018.
- [14]. Muslim et. al., *Application of Stereolithography Based 3D Printing Technology in Investment Casting*, Micromachines (Basel), 2020.
- [15]. N. H. Lộc, "Quy hoạch và phân tích thực nghiệm", NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2011.
- [15]. V. H. Tiệp, "Machine learning cơ bản", NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2018.
- [16]. A. Alberto Quesada, "5 algorithms to train a neural network". Internet: [https://www.neuraldesigner.com/blog/5\\_algorithms\\_to\\_train\\_a\\_neural\\_network](https://www.neuraldesigner.com/blog/5_algorithms_to_train_a_neural_network) (accessed 17/3, 2021).

# XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ KHẢO SÁT DIỄN BIẾN ÁP SUẤT, NHIỆT ĐỘ VÀ QUY LUẬT TỎA NHIỆT CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG BỔ SUNG NHIÊN LIỆU ETHANOL

BUILDING MODEL AND SURVEYING PRESSURE, TEMPERATURE, LAW OF THERMAL ELECTRICITY OF ETHANOL FUEL SUPPLEMENTED GASOLINE ENGINES

Đỗ Duy Hà

Trung tâm Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

## TÓM TẮT

*Xác định diễn biến quá trình cháy và quy luật tỏa nhiệt của quá trình cháy trong xylanh động cơ là rất cần thiết và không thể thiếu được đối với các nghiên cứu mô hình hóa chu trình công tác của động cơ và nghiên cứu hoàn thiện quá trình cháy. Bài báo sử dụng phần mềm AVL Boost để mô hình hóa động cơ xăng sử dụng nhiên liệu Ethanol nhằm xác định diễn biến áp suất, nhiệt độ và tốc độ tỏa nhiệt của động cơ.*

**Từ khóa:** Quy luật tỏa nhiệt; Quá trình cháy của động cơ; Áp suất khí thể.

## ABSTRACT

*Determining the evolution of the combustion process and the law of heat release of the combustion process in the engine cylinder is indispensable for research on modelling the engine's work cycle and studying the completion of the combustion process. The article uses AVL Boost software to model a gasoline engine using Ethanol fuel to determine the engine's pressure, temperature and heat release rate.*

**Keywords:** Release law of heat; Combustion process of the engine; Cylinder pressure.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc nghiên cứu đặc điểm biến thiên áp suất khí thể có vai trò quan trọng trong nghiên cứu hoàn thiện và phát triển động cơ.

Nghiên cứu quá trình nhiệt động của môi chất trong xylanh động cơ được thể hiện trong nghiên cứu [1] đã sử dụng một mô hình tính toán sự hình thành nhân ngọn lửa và sự phát triển ban đầu của nó trong động cơ đánh

lửa cưỡng bức để kiểm tra nguyên nhân của sự biến đổi quá trình cháy giữa các chu kỳ.

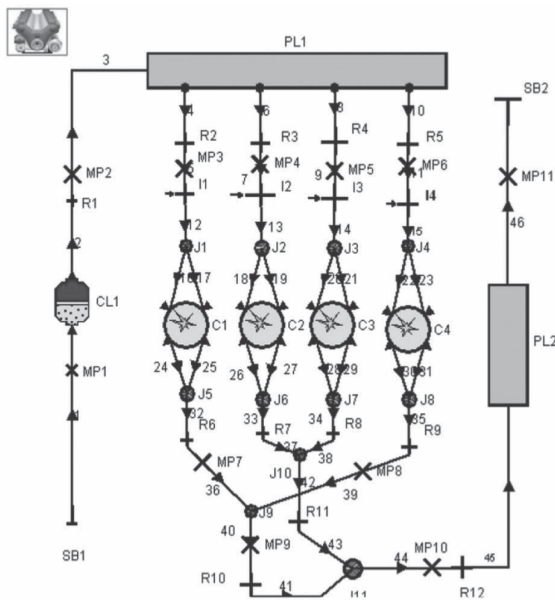
Ưu điểm của mô hình hóa là có thể dễ dàng nghiên cứu sự ảnh hưởng của một thông số bất kỳ đến đặc điểm diễn biến của áp suất cháy trong xylanh động cơ như nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ động cơ đến sự thay đổi áp suất khí thể giữa các chu trình [2, 3], hay nghiên cứu mối liên hệ giữa dao động, rung động và

tốc độ động cơ với đặc điểm thay đổi áp suất khí thải trong xi lanh [4]. Để nâng cao độ chính xác kết quả tính toán bằng mô hình hóa cần xác định được quy luật tỏa nhiệt hay tốc độ cháy của nhiên liệu một cách đáng tin cậy. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm AVL Boost để mô hình hóa động cơ xăng sử dụng nhiên liệu Ethanol nhằm xác định diễn biến áp suất, nhiệt độ và tốc độ tỏa nhiệt của động cơ.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH CHÁY ĐỘNG CƠ XĂNG

### 2.1. Xây dựng mô hình

Tác giả sử dụng động cơ xăng ZY-VE để nghiên cứu, động cơ này có dung tích công tác 1,5 lít; tỷ số nén 10:1; Công suất lớn nhất 76 kW ứng với tốc độ 6000 vg/ph; Mô-men lớn nhất là 137 N.m ứng với tốc độ 4000 vg/ph.

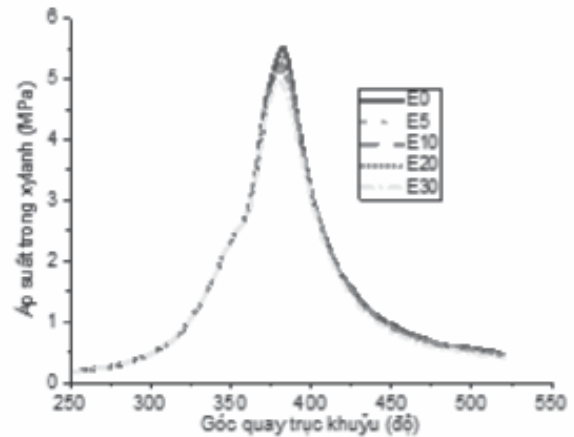


Hình 1. Mô hình mô phỏng động cơ ZY-VE

Mô hình động cơ ZY-VE xây dựng bằng phần mềm AVL Boost sử dụng mô hình cháy Fractal, mô hình truyền nhiệt Woschini như Hình 1.

Kết quả mô phỏng cho thấy sự sai lệch trung bình công suất, suất tiêu hao nhiên liệu tính toán và số liệu catalog theo đặc tính ngoài là 2,5% và 1,8%. Sự sai lệch này không lớn, do đó mô hình mô phỏng động cơ là đáng tin cậy.

### 2.2. Đánh giá kết quả



Hình 2. Diễn biến áp suất.

Hình 2 biểu diễn biến của áp suất trong xylanh động cơ khi sử dụng 05 loại nhiên liệu ở 6000 v/ph.

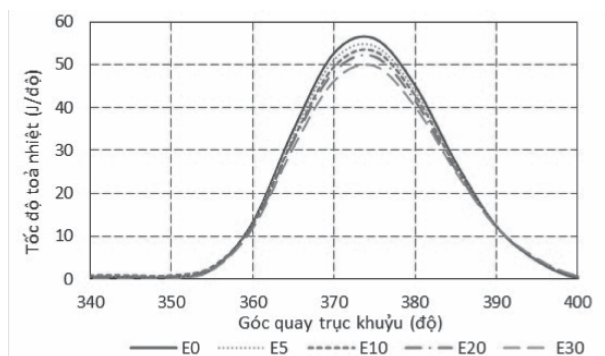
Kết quả cho thấy, khi động cơ sử dụng nhiên liệu E0 và E5 thì không có nhiều sự khác biệt, từ E10 trở đi bắt đầu có sự thay đổi. Cũng có thể nhận thấy rằng, thời gian cháy trễ (góc cháy trễ) giảm đi khi tăng tỷ lệ ethanol trong khi thời gian cháy nhanh lại có chiều hướng tăng lên, nên khi động cơ sử dụng nhiên liệu xăng pha cồn xe chạy êm hơn do tốc độ tăng áp suất nhỏ nên khả năng chống kích nổ cũng được cải thiện.

Ta có tốc độ tỏa nhiệt được tính theo công thức sau:

$$\frac{dQ}{d\varphi} = g_{ct} \cdot Q_H \cdot \frac{dx}{d\varphi}$$



Trong đó:  $g_{ct}$  là lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình;  $Q_H$  là nhiệt trị thấp của nhiên liệu;  $\frac{dx}{d\varphi}$  là tốc độ cháy.



Hình 3. Tốc độ tỏa nhiệt động cơ.

Lượng nhiên liệu cấp cho chu trình không đổi, nhiệt trị thấp và tốc độ cháy của hỗn hợp xăng – ethanol thấp hơn so với xăng, vì vậy có thể chứng minh được tốc độ tỏa nhiệt của động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu xăng pha cồn là nhỏ hơn so với động cơ sử dụng xăng. Và khi càng tăng tỉ lệ ethanol trong nhiên liệu thì tốc độ tỏa nhiệt càng giảm như trên Hình 3.

### 3. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã giới thiệu phương pháp xác định áp suất khí thể trong xy lanh động cơ và quy luật cháy của nhiên liệu.

- Kết quả có ý nghĩa quan trọng cho việc phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình cháy để nghiên cứu hoàn thiện và nâng cao hiệu quả quá trình cháy cũng như hiệu suất của động cơ. ❖

Ngày nhận bài: 27/11/2023

Ngày phản biện: 18/12/2023

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Shen, H., Hinze, P., and Heywood, J., *A Model for Flame Initiation and Early Development in SI Engine and its Application to Cycle-to-Cycle Variations*, SAE Technical Paper 942049, 1994.
- [2]. Francis T. Connolly and Andrew E. Yagle, *Modeling and identification of the combustion pressure process in internal combustion engines*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 8, pp 1-19 (1994).
- [3]. Asok K. Sen, Rafal Longwic, Grzegorz Litak and Krzysztof Górski, *Analysis of cycle-to-cycle pressure oscillations in a diesel engine*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 22, pp 362-373 (2008).
- [4]. C.S. Daw, C.E.A. Finney, M.B. Kennel, F.T. Connolly, *Observing and modeling nonlinear dynamics in an internal combustion engine*, Physical Review E 57 (1998) 2811–2819.

# MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM MÒN CẶP MA SÁT TRỤC – BẠC TRONG HỆ THỐNG LỌC BỤI TĨNH ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

EXPERIMENTAL MODEL OF WEAR OF FRICTION PAIR “C-BUSHING AND SHAFT BUSHING” IN INDUSTRIAL ELECTROSTATIC PRECIPITATOR SYSTEM

Nguyễn Thị Ngọc Huyền<sup>1</sup>, Lê Đức Bảo<sup>1</sup>, KS. Hoàng Tuấn Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Đại học Bách Khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

## TÓM TẮT

Hệ thống lọc bụi tĩnh điện trong công nghiệp là một trong những phương pháp lọc bụi và làm sạch không khí có hiệu quả cao, hiện nay được sử dụng phổ biến trong các nhà máy nhiệt điện. Bên cạnh ưu điểm như vậy thì hệ thống lọc bụi tĩnh điện cũng có nhược điểm lớn do làm việc trong môi trường khắc nghiệt với nhiệt độ cao, môi trường bụi bẩn không được bôi trơn dẫn tới các bộ phận, cụm chi tiết cơ khí của hệ thống lọc bụi tĩnh điện bị mài mòn, hỏng hóc nhanh cần phải bảo dưỡng, thay thế. Do đó, bài báo này đưa ra nghiên cứu về ma sát, mòn cặp trục – bạc, là một trong các cụm chi tiết quan trọng của cụm trục búa gõ cực lắng trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện công nghiệp, ảnh hưởng không nhỏ đến hoạt động liên tục và chất lượng lọc bụi. Kết quả bước đầu đã xác định mô hình thực nghiệm thể hiện mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng  $U$  của cặp trục – bạc phụ thuộc đồng thời vào cả ba yếu tố: nhiệt độ ( $T$ , °C), nồng độ bụi ( $B$ , g/m<sup>3</sup>) và tải trọng ( $P$ , N) trong điều kiện làm việc hệ thống lọc bụi tĩnh điện trong nhà máy nhiệt điện.

**Từ khóa:** Lượng mòn; Cặp ma sát trục – bạc; Đặc tính ma sát; Lọc bụi tĩnh điện.

## ABSTRACT

Industrial electrostatic precipitator systems are one of the highly effective dust filtration and air cleaning methods currently commonly used in thermal power plants. Besides such advantages, the electrostatic precipitator system also has major disadvantages due to working in harsh environments with high temperatures and unlubricated dusty environments. This leads to the mechanical parts and assemblies of the electrostatic precipitator system becoming worn and damaged quickly and requiring maintenance and replacement. Therefore, this article presents a study on friction and wear of the shaft – bushings pair, which is one of the important details of the settled percussion hammer shaft assembly in the industrial electrostatic precipitator system, significantly affecting the dust filter performance and quality. The results have identified an experimental model showing the relationship between the total wear of a pair of bearings depending on three factors simultaneously: temperature ( $T$ , °C), dust concentration ( $D$ , g/m<sup>3</sup>) and load ( $P$ , N) under working conditions of electrostatic precipitator system in thermal power factory.

**Keywords:** Linear wear; Journal bearing; Electrostatic precipitation.





## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trục – bạc là cặp chi tiết điển hình trong các kết cấu máy liên quan đến các bộ phận chuyển động, được sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Bạc có chức năng nâng đỡ các bộ phận chuyển động, giảm ma sát và cũng là bề mặt chịu mòn có thể thay thế. Bạc có thể chịu lực hướng tâm, lực dọc trục hoặc vừa chịu lực hướng tâm vừa chịu lực dọc trục, về cơ bản có hai loại được thể hiện ở hình 1 gồm: Bạc trượt (ống lót) (a) và Bạc chống ma sát (b) [1, 2]. Việc sử dụng và chu kỳ thay thế bạc phụ thuộc vào điều kiện làm việc, môi trường, điều kiện bôi trơn, vật liệu và các yếu tố khác. Mòn của cặp ma sát trục – bạc là nguyên nhân chính gây ra hư hỏng và giảm tuổi thọ của các kết cấu cơ khí. Tốc độ mài mòn tăng do độ sai lệch kích thước của các bộ phận (tải không đối xứng, khe hở, quy định của nhà sản xuất) [3]. Mòn của cặp trục – bạc trong hệ thống lọc bụi công nghiệp ảnh hưởng không nhỏ đến hoạt động và chất lượng lọc bụi. Nhiều nghiên cứu của các tác giả trên thế giới về hệ thống lọc bụi chủ yếu tập trung tối ưu hiệu suất và các yếu tố ảnh hưởng.



Hình 1. Hai loại bạc cơ bản

Ảnh hưởng của kích thước hạt bụi, nồng độ bụi hay tốc độ bụi cũng như sự tăng/giảm nhiệt độ, dòng điện áp được nghiên cứu liên quan trực tiếp đến hiệu suất làm việc của toàn bộ hệ thống lọc bụi [4-7]. Tác giả Tadeusz Dziubak, Sebastian Dominik Dziubak và J. Warczek đã cho thấy ba thông số bụi: kích thước hạt, độ cứng và nồng độ bụi trong không khí ảnh hưởng đến độ mài mòn, tăng tốc mòn

của cặp ma sát: piston, vòng piston, ống lót xi-lanh và ổ trượt [8, 9]. Nghiên cứu của Amandine Regis, Jean-Marc Linares và các cộng sự cũng chỉ ra sự mài mòn của ổ trượt do chịu tải trọng động lệch tâm trong môi trường khắc nghiệt của ngành hàng không [10]. Nghiên cứu [11] gần đây nhất đã giới thiệu một phương pháp cải tiến giảm ma sát, mòn ổ trượt không cần bôi trơn bằng cách chế tạo từ vật liệu thép – đồng, trong đó trục là thép hợp kim và bismuth oxit thông qua xử lý laser xung ngắn. Nghiên cứu trong nước [12] nghiên cứu về tối ưu hóa lưu lượng dòng khí trong buồng lọc để nâng cao hiệu suất lọc bụi tĩnh điện. Ngoài ra là các nghiên cứu về ảnh hưởng của môi trường nhiệt ẩm đến các cặp ma sát khác nhau như: đường dẫn hướng, trục vít me đai ốc bi, chổi than – cổ góp, v.v.

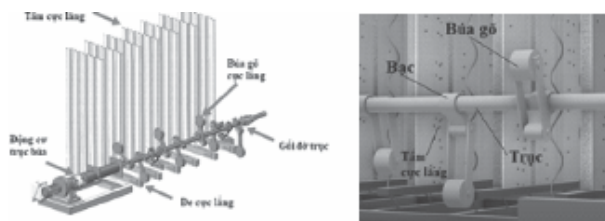
Bài báo này trình bày nghiên cứu đồng thời của các yếu tố vào gồm cả ba yếu tố: nhiệt độ ( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), nồng độ bụi ( $B$ ,  $\text{g/m}^3$ ) và tải trọng ( $P$ ,  $N$ ) đến mòn của cặp trục – bạc cụm trục búa gõ cực lắng trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện, ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động lọc bụi của hệ thống.

## 2. THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

### 2.1. Cặp ma sát trục – bạc (bạc ghép) trong hệ thống lọc bụi [13]

Xử lý bụi công nghiệp là nhiệm vụ quan trọng của các nhà máy sản xuất, đặc biệt là nhà máy nhiệt điện, nhằm giảm thiểu sự phát tán và tác hại của bụi ra môi trường xung quanh. Bên cạnh đó, bụi bám và phủ lên các cụm chi tiết, trang thiết bị sản xuất làm hao mòn, giảm khả năng trao đổi nhiệt, giảm tuổi thọ của thiết bị. Trong các nhà máy nhiệt luyện, thường sử dụng phương pháp lọc bụi tĩnh điện với hiệu suất lọc bụi cao, xử lý bụi lớn, thu hồi được cả

bụi khô và ướt. Trong nội dung nghiên cứu này, cặp trục – bạc được sử dụng trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng, một trong những thiết bị quan trọng có vai trò làm rung theo chu kỳ và làm sạch hàng điện cực lắng tương ứng. Các cặp trục – bạc được bố trí trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng được thể hiện trên hình 2.



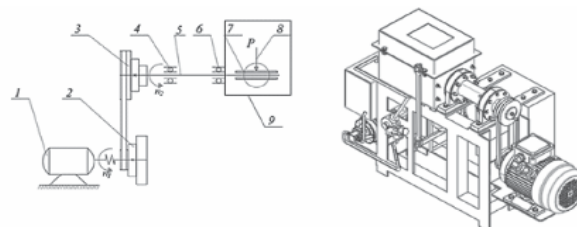
Hình 2. Cụm trục – bạc trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng

Điều kiện làm việc của cặp ma sát bạc lót trục và bạc chữ C: chịu ảnh hưởng của tro, bụi do quá trình đốt than tạo ra, nồng độ bụi đầu vào lên tới  $38,62 \text{ g/m}^3$ ; Nhiệt độ của môi trường làm việc cao, có thể đạt hơn  $120^\circ\text{C}$  do luồng khí tro, bụi được thổi vào từ lò hơi vừa đốt và giảm nhẹ khi qua buồng sấy; Tốc độ dòng không khí  $\leq 0,2 \text{ m/s}$ . Tốc độ quay của trục:  $0,27 \text{ [vòng/phút]}$ . Ngoài ra, các khí thải sinh ra trong quá trình đốt than đá như  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , và  $\text{SO}_2$  cũng là những tác nhân gây oxy hóa, gây mòn nhanh hơn. Tải trọng tác động lên hệ thống gồm có trục búa và búa. Mỗi trục búa  $\varnothing 50 \text{ mm}$  dài  $5200 \text{ mm}$  và gồm có 17 búa và 4 bộ đỡ trục. Do đó, tải tổng cộng tác động lên bộ đỡ trục là  $165 \text{ kg}$ .

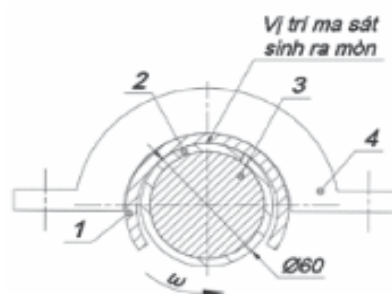
## 2.2. Thiết bị thực nghiệm

Thiết bị thực nghiệm được thể hiện ở hình 3. Bạc ghép (7) được lắp cố định trên trục (5) và được đặt trong hộp tạo môi trường bụi và nhiệt độ cao, chuyển động của trục – bạc được dẫn động bằng động cơ điện thông qua bộ truyền đai. Kích thước của cặp trục – bạc thử nghiệm được thể hiện hình 4. Nhiệt độ làm việc trong hộp 9 được khống chế bởi dây may

so nhiệt. Tải trọng (8) được tạo bởi cơ cấu thủy lực. Vận tốc gió được xử lý nhờ quạt gió đặt trong hộp 9, nồng độ bụi được đưa vào đạt phù hợp với điều kiện làm việc tại nhà máy nhiệt điện.



Hình 3. Hệ thống thiết bị thử nghiệm



Hình 4. Mặt cắt cặp ma sát trục – bạc ghép (bạc lót và bạc chữ C), trong đó: 1 - Bạc chữ C; 2 - Bạc lót; 3 - Trục; 4 - Gối đỡ bạc chữ C

Đặc tính kỹ thuật của máy thử mòn:

- Kích thước khuôn khổ máy (Dài x Rộng x Cao):  $1156 \times 486 \times 750 \text{ mm}$ ;
- Tải trọng lớn nhất:  $P_{\max} = 4000 \text{ N}$ ;
- Công suất động cơ chính:  $N_1 = 5 \text{ KW}$  ( $n_1 = 1440 \text{ v/ph}$ );
- Công suất động cơ bơm dầu:  $N_2 = 1,5 \text{ KW}$  ( $n_2 = 1440 \text{ v/ph}$ );
- Kích thước buồng thử tạo môi trường (Dài x Rộng x Cao):  $320 \times 250 \times 260 \text{ mm}$ ;
- Nhiệt độ thử:  $(80 \div 120)^\circ\text{C}$ ;
- Tải trọng thử:  $(300 \div 500) \text{ N}$ .

Kết quả đo độ mòn của cặp chi tiết bạc chữ C và bạc lót trục được đo bằng thước kẹp điện tử Mitutoyo  $150 \text{ mm}$  độ chính xác  $0,01 \text{ mm}$ .

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Thiết kế thực nghiệm được thực hiện theo phương pháp quy hoạch Box-Behnken với ba yếu tố ảnh hưởng: nhiệt độ (T), nồng độ bụi (B), tải trọng (P), số các thử nghiệm với tâm là 3, do đó số thí nghiệm cần thực hiện  $n = 2k(k-1) + C_0$  (trong đó, k là số thông số đầu vào,  $C_0$  là số thí nghiệm ở tâm quy hoạch) tương ứng là 15 thí nghiệm. Yếu tố thứ nhất là tải trọng thay đổi từ 300 ÷ 500 N, hai yếu tố nhiệt độ và nồng độ bụi có phạm vi biến đổi phù hợp với điều kiện làm việc của cặp ma sát trong hệ thống lọc bụi: nhiệt độ thay đổi từ 80 ÷ 120°C, nồng độ bụi 40 ÷ 100 g/m<sup>3</sup>. Hàm mục tiêu đầu ra là lượng mòn tổng cộng của bạc ghép sau quãng đường ma sát L = 11km.

Xác định các yếu tố đầu vào cho mô hình lý thuyết ba yếu tố như bảng 1.

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng

Các yếu tố ảnh hưởng	Giá trị mã hóa		
Tải trọng P (N)	300	400	500
Nhiệt độ T (°C)	80	100	120
Nồng độ bụi N (g/m <sup>3</sup> )	40	70	100

Kết quả đo mòn của mẫu bạc ghép thử gồm bạc lót và bạc chữ C được làm bằng thép 30X13, trục là thép 40X được đưa vào bảng 2.

Bảng 2. Bảng dữ liệu kết quả đo mòn bạc ghép

STT	Các thông số vào			Hàm mục tiêu
	Tải trọng P (N)	Nhiệt độ T (°C)	Nồng độ bụi B (g/m <sup>3</sup> )	Lượng mòn U (mm)
1	400	100	70	3.83
2	400	80	40	3.57
3	300	100	40	2.43
4	400	120	100	3.97
5	300	80	70	2.31
6	500	100	100	4.75
7	500	80	70	4.35
8	400	100	70	3.85
9	300	100	100	2.90
10	400	120	40	3.86
11	400	80	100	3.65
12	300	120	70	2.86
13	500	100	40	4.53
14	400	100	70	3.86
15	500	120	70	4.83

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Xử lý số liệu bằng phần mềm Design – Expert, ta thu được kết quả về mô hình hồi quy và phân tích phương sai. Phân tích phương sai dữ liệu được thể hiện ở bảng 3. Kết quả cho thấy mô hình phù hợp với dữ liệu và đảm bảo độ tin cậy quyết định bởi giá trị P-value (< 0.05).

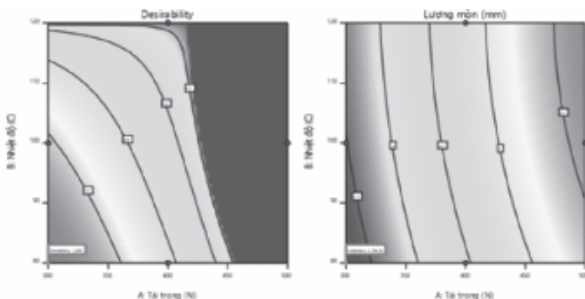
Bảng 3. Phân tích phương sai

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
Model	8.5	9	0.9448	87.69	< 0.0001
P-Tải trọng	7.92	1	7.92	735.08	< 0.0001
T-Nhiệt độ	0.3260	1	0.3260	30.26	0.0027
B-Nồng độ bụi	0.1024	1	0.1024	9.50	0.0274
PC	0.0012	1	0.0012	0.1137	0.7497
PT	0.0156	1	0.0156	1.45	0.2824
TB	0.0008	1	0.0008	0.0702	0.8016
P <sup>2</sup>	0.1216	1	0.1216	11.28	0.0201
T <sup>2</sup>	0.0223	1	0.0223	2.07	0.2098
B <sup>2</sup>	0.0006	1	0.0006	0.0553	0.8233

Do đó, mô hình hồi quy phù hợp là:

$$U = -4.25833 + 0.02395 \cdot P + 0.010094 \cdot T + 0.003771 \cdot B - 0.000018 \cdot P^2 \quad [1]$$

Từ phương trình hồi quy thực nghiệm [1] cho thấy hàm hồi quy thể hiện mối quan hệ giữa lượng mòn phụ thuộc đồng thời rõ rệt vào ba yếu tố tải trọng, nhiệt độ và nồng độ bụi và ở mức độ khác nhau. Lượng mòn tăng khi tăng tải là phù hợp tuân theo quy luật thực nghiệm đã có trong các nghiên cứu công bố. Sử dụng phần mềm này có thể xác định bộ thông số phù hợp để giảm mòn được thể hiện trên hình 5. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của nồng độ bụi là đáng kể, với giá trị nồng độ bụi tại vùng ma sát thấp nhất thì lượng mòn giảm. Sự tác động của nồng độ bụi và nhiệt độ là đồng thời.



Hình 5. Đường đồng mức với bộ thông số tối ưu

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm về mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng với các thông số đầu vào tải trọng, nhiệt độ và nồng độ bụi. Mô hình hồi quy cho thấy sự tác động đồng thời của ba yếu tố và cho thấy yếu tố nồng độ bụi trong vùng ma sát ảnh hưởng đáng kể đến quá trình ma sát, mòn cặp trục – bạc trong điều kiện làm việc thực tế tại nhà máy nhiệt điện. Đây là cơ sở để thực hiện dự báo mòn và tuổi thọ của bạc để đề xuất chu kỳ thay thế cũng như nghiên cứu vật liệu phù hợp nâng cao năng suất lọc bụi, đảm bảo tiến độ hoạt động của hệ thống. ❖

Ngày nhận bài: 15/11/2023

Ngày phản biện: 25/12/2023

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8287-1: 2009 (ISO 4378-1: 2009) về Ổ trượt – Thuật ngữ, định nghĩa, phân loại và ký hiệu – Phần 1: Kết cấu, vật liệu ổ và cơ tính của vật liệu.
- [2]. Chu Thế Quan, Lưu Văn Hy, Nguyễn Phước Hậu, Huỳnh Kim Ngân, Đỗ Tấn Dân, “Bạc và đệm lót”, NXB. Giao thông Vận tải, 2003.

- [3]. VS,GS,TSKH. Nguyễn Anh Tuấn, PGS,TS. Phạm Văn Hùng, “*Kỹ thuật ma sát*”, NXB. Bách Khoa, 2023.
- [4]. Hsunling Bai, Chungsyng Lu & Chung Liang Chang (1995), “*A Model to Predict the System Performance of an Electrostatic Precipitator for Collecting Polydisperse Particles*”, Journal of the Air & Waste Management Association, 45:11, 908-916, DOI: 10.1080/10473289.1995.10467423.
- [5]. Gao, M., Zhu, Y., Yao, X., Shi, J., & Shanguan, W. (2019), “*Dust removal performance of two-stage electrostatic precipitators and its influencing factors*”, Powder Technology, 348, 13-23, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.03.016>.
- [6]. Xi Xu, Xiang Gao, Pei Yan, Weizhuo Zhu, Chenghang Zheng, Yi Wang, Zhongyang Luo, Kefa Cen; “*Particle migration and collection in a high-temperature electrostatic precipitator*”. Separation and Purification Technology 143, (2015),184-191,<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.01.016>.
- [7]. N. Grass; W. Hartmann; M. Klockner, “*Application of different types of high-voltage supplies on industrial electrostatic precipitators*”. DOI: 10.1109/TIA.2004.836298.
- [8]. Tadeusz Dziubak and Sebastian Dominik Dziubak, *A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation*, <https://doi.org/10.3390/en15031182>.
- [9]. R. Burdzik\*, P. Folega\*, B. Łazarz\*, Z. Stanik\*, J. Warczek, *Analysis of the impact of surface layer parameters on wear intensity of friction pairs*, December 2012 Archives of Metallurgy and Materials 57(4):987-993.
- [10]. Amandine Regis, Jean-Marc Linares, Santiago Arroyave-Tobon, Emmanuel Mermoz; *Numerical model to predict wear of dynamically loaded plain bearings*. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204467>
- [11]. Kharanzhevskiy, E.V., Ipatov, A.G., Makarov, A.V. et al.; *Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication*. Sci Rep 13, 17362 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44702-6>.
- [12]. Hoàng Văn Gọt, Triệu Quý Huy; *Tối ưu hóa lưu lượng dòng khí trong buồng lọc để nâng cao hiệu suất lọc bụi tĩnh điện*. ISSN 0866 – 7056, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 7, năm 2015.
- [13]. Hoàng Kim Cơ; *Kỹ thuật lọc bụi và làm sạch khí*, NXB. Giáo dục, 1999.



# TỐI ƯU HÓA CẤU TRÚC CỦA MÁY IN 3D FDM DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH PHẦN TỬ HỮU HẠN

## THE OPTIMIZATION OF FDM 3D PRINTER STRUCTURE BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS

**Đoàn Kim Bình, Bùi Minh Hoàng**

Trường Đại học Mở – Địa chất

### TÓM TẮT

*Bài báo này nghiên cứu về cách cải thiện độ chính xác của máy in 3D thông qua việc tối ưu hóa cấu trúc của máy in 3D. Nghiên cứu tập trung vào máy in 3D và sử dụng phần mềm Solidworks để tạo mô hình máy in 3D. Sau đó, mô hình được phân tích trên phần mềm để xác định tính biến dạng ảnh hưởng đến cấu trúc máy in dưới tác dụng của áp lực, xác định tần số rung tự nhiên ảnh hưởng đến chất lượng in. Dựa trên phân tích này, các thông số sau được tối ưu hóa như đường kính trục dẫn, đường kính vít me, đường kính ổ, tăng độ cứng vững và giảm độ võng của khung, lựa chọn vật liệu có độ bền và độ cứng tốt hơn, đảm bảo chuyển động cân bằng và ổn định. Quá trình tối ưu hóa dẫn đến sự cải thiện đáng kể về tính chất cơ học tổng thể của máy in, trên cơ sở đó tối ưu được kết cấu tổng thể của máy in đã giúp tăng độ chính xác đáng kể của các chi tiết được in.*

**Từ khóa:** Máy in 3D FDM; Mô phỏng Solidwork; Ansys.

### ABSTRACT

*This article studies how to improve the accuracy of 3D printers through optimizing the printer's structure. The research focuses on 3D printers and uses Solidworks software to create 3D printer models. Then, the model is analyzed on software to determine the deformation affecting the printer structure under the effect of pressure, and determine the natural vibration frequency that affects print quality. Based on this analysis, the following parameters are optimized such as shaft diameter, lead screw diameter, drive diameter, increasing stiffness and reducing deflection of the frame, selecting materials with durability and stiffness better, ensuring balanced and stable movement. The optimization process results in a significant improvement in the overall mechanical properties of the printer, on that basis optimizing the overall structure of the printer has helped significantly increase the accuracy of printed parts.*

**Keywords:** FDM 3D printer; Solidwork simulation; Ansys.



## 1. GIỚI THIỆU

Máy in 3D sử dụng công nghệ FDM (Fused Deposition Modeling) được ứng dụng rộng rãi trên thị trường nhờ độ chính xác cao, giá thành thấp và dễ dàng tìm kiếm vật liệu in. Mặc dù công nghệ FDM có xu hướng trưởng thành, nhưng vẫn còn nhiều hạn chế trong quá trình tạo mẫu và sản xuất như độ chính xác của khuôn, loại vật liệu, v.v. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác tạo mẫu của máy in 3D loại FDM có thể chia thành 04 nhóm: Phần mềm, thuật toán điều khiển, cấu trúc cơ học, v.v. Hiện nay, nghiên cứu về cấu trúc cơ học của máy in chủ yếu tập trung vào các bộ phận riêng lẻ như vòi phun, cột, v.v., ít quan tâm đến cấu trúc tổng thể của máy in 3D, thiếu tính toàn diện và độ sâu nghiên cứu chưa đủ [1].

Bài báo này chọn một máy in 3D dạng core XY làm đối tượng nghiên cứu. Đầu tiên, mô hình tổng thể của máy in 3D được tạo mô hình. Thứ hai, phân tích cơ học tĩnh và phân tích cơ học động của mô hình máy in đã được thiết lập, được thực hiện bằng cách sử dụng phần mềm Ansys Workbench để có được đồ thị biến dạng, tần số tự nhiên và hình dạng mô hình của mô hình máy in. Cuối cùng, kết quả của phân tích phần tử hữu hạn được sử dụng làm tham khảo để tối ưu hóa cấu trúc cơ học của máy in.

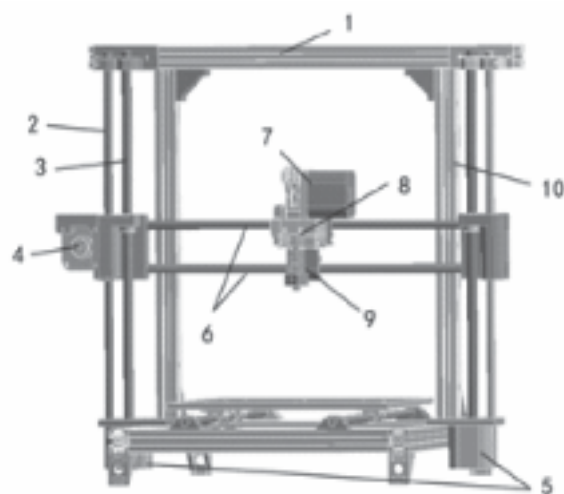
## 2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN MÁY IN 3D

### 2.1. Xây dựng mô hình CAD cho máy in 3D

Dòng máy in core XY là một trong những dòng máy in FDM phổ biến nhất hiện có trên thị trường [2]. Ưu điểm của dòng máy này là cấu trúc cơ học đơn giản và độ chính xác cao. Hệ thống đầu phun của máy bao gồm

chức năng nạp và nung chảy, trong quá trình hoạt động của máy, nó di chuyển dọc theo trục bạc đạn cố định.

Nền tảng tạo mẫu nằm trên trục bạc đạn phía dưới của máy in 3D và hướng chuyển động của nền tảng vuông góc với mặt phẳng chuyển động của hệ thống đầu phun. Để phản ánh chính xác tình huống thực tế của máy in, phần mềm Solidworks được sử dụng để mô hình hóa cấu trúc tổng thể của máy in 3D theo kích thước thực tế của nó. Trong quá trình tạo mô hình, theo mức độ ảnh hưởng đến quá trình phân tích phần tử hữu hạn tiếp theo, cấu trúc máy in được đơn giản hóa. Hai ổ trục vít bên của máy in 3D có thể được thay thế bằng ổ trục trực tiếp tiêu chuẩn giống nhau, bỏ qua dây đai đồng bộ và đơn giản hóa động cơ bước bằng mô hình động cơ có cùng trọng lượng và hình dạng. Chế độ đơn giản hóa của cấu trúc tổng thể máy in 3D và các thành phần chính của nó được minh họa như hình 1.



Hình 1. Mô hình đơn giản hóa của máy in 3D:  
1 – Thanh dầm; 2 – Ổ đỡ trục đứng; 3 – Ổ vít đơn giản hóa; 4, 5 – Động cơ bước; 6 – Ổ trục ngang; 7 – Động cơ cấp liệu; 8 – Điểm đòn; 9 – Bộ phận nung chảy đầu phun; 10 – Thanh dẫn hướng.

## 2.2. Các vật liệu chính của khung máy in 3D

Khung máy in 3D chủ yếu được làm từ hợp kim nhôm (nhôm định hình). Loại hợp kim nhôm là 6060-T5 [3]. Mỗi nối giữa hai thanh nhôm là một giá đỡ cố định và cũng được làm bằng hợp kim nhôm. Để thuận tiện cho việc tính toán, chúng tôi đã thiết lập tính chất của vật liệu một cách thống nhất. Đường kính của ổ trục đứng và ngang của máy in 3D là 8mm và vật liệu là thép chịu lực GCR15 [4]. Trong máy in, phần kết nối của động cơ, phần cố định đầu phun và phần ổ trục ngang cố định là các thành phần có vật liệu PLA [7].

Bảng 1. Tính chất của các vật liệu chính của khung máy in 3D

Loại vật liệu	Khối lượng riêng (Kg/m <sup>3</sup> )	Hệ số bán kính	Mô đun đàn hồi (GPa)
Thép chịu lực	7810	0.3	208
Hợp kim nhôm	2700	0.33	70
PLA	250	0.402	~3.5

## 2.3. Cách xử lý bề mặt tiếp xúc bàn in của máy in 3D

Phương pháp gia công bề mặt tiếp xúc cơ học rất quan trọng đối với cấu trúc cơ học. Mặt tiếp xúc của mô hình máy in có thể được chia thành hai loại chính: tiếp xúc cố định và tiếp xúc không tách rời. Tiếp xúc cố định thích hợp cho các đối tượng có cách chuyển động giống nhau, hai đối tượng không thể tách rời hoặc trượt còn, tiếp xúc không tách rời có thể có khe hở cho phép xoay, nhưng không cho phép di chuyển ngang. Thanh nhôm được liên kết bằng giá đỡ và được vặn chặt bằng vít loại M5\*8. Lực siết trước là 6,4kN, đủ để cố định chắc chắn khung máy in 3D. Do đó, tiếp xúc

của các vít cố định trên cấu trúc máy in được coi là tiếp xúc cố định. Trong hệ thống đầu phun và nền tảng tạo mẫu, bề mặt tiếp xúc với ổ trục ngang sẽ ở trạng thái trơn trượt khi máy in hoạt động.

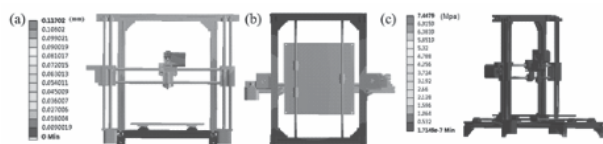
## 3. PHÂN TÍCH PHẦN TỬ HỮU HẠN CỦA CẤU TRÚC MÁY IN 3D

Trước khi thực hiện tính toán phân tích phần tử hữu hạn, cần phải chia lưới cho mô hình máy in, đây là một phần quan trọng của phương pháp phần tử hữu hạn. Chất lượng của lưới sẽ ảnh hưởng đến việc truyền tải lực trong quá trình tính toán phần tử hữu hạn, ultimately có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính toán. Dưới điều kiện mặc định của phần mềm Ansys Workbench, chất lượng của lưới thu được tương đối thô và lưới giữa các thành phần khác nhau có sự chênh lệch lớn. Có nhiều phương pháp chia lưới khác nhau trong phần mềm phân tích phần tử hữu hạn. Phần cơ khí có hình dạng thông thường. Khi tối ưu hóa lưới, người ta sử dụng phương pháp ưu tiên hình lục lăng để tối ưu hóa lưới. Chất lượng lưới trung bình sau khi tối ưu hóa là 73,6%. Mục đích chính của phân tích phần tử hữu hạn là khám phá độ ổn định của cấu trúc cơ học của máy in 3D và phân tích phần tử hữu hạn của toàn bộ cấu trúc máy in 3D chủ yếu có thể được chia thành phân tích tĩnh và phân tích mô hình.

### 3.1. Phân tích kết cấu tĩnh của máy in 3D

Mục đích chính của phân tích tĩnh là phân tích độ tin cậy của cấu trúc cơ học của máy in 3D và thảo luận về các khuyết tật tiềm ẩn trong cấu trúc của máy in. Trong phân tích tĩnh của phần tử hữu hạn, đáy của bốn chân đế hợp kim nhôm dưới máy in được cố định. Sau khi hoàn thành việc đặt điều kiện biên và tối ưu hóa lưới của máy in, kết quả phân tích tĩnh của

máy in dưới trọng lực của chính nó được hiển thị trong Hình 2.



Hình 2. (a) Biểu dạng tổng thể của máy in nhìn từ phía trước (phân tích tĩnh), (b) Biểu dạng tổng thể của máy in nhìn từ phía dưới (phân tích tĩnh), (c) Phân bố áp lực (phân tích tĩnh)

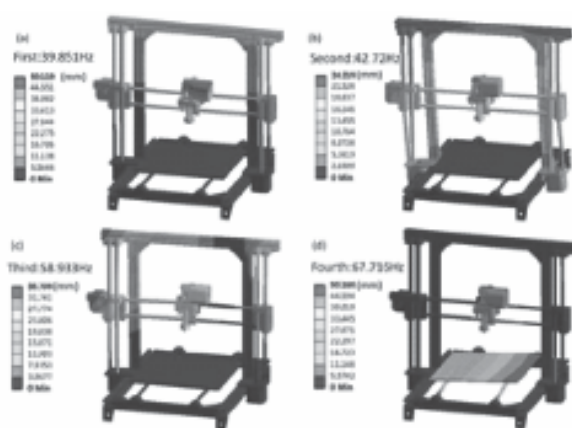
Phân tích kết quả phân tích tĩnh cho kết quả Hình 2c là biểu đồ phân bố áp lực cho thấy các bộ phận chịu tải chính của máy in tập trung ở các điểm tiếp xúc giữa giá đỡ phía dưới và cột trụ, cũng như tiếp điểm của nền tảng tạo mẫu và hệ thống đầu phun với trục quang. Hình 2a cho thấy tổng thể máy in bị biến dạng nhiều nhất ở hệ thống cấp liệu. Xu hướng biến dạng là vươn ra ngoài từ điểm cố định của ổ trục ngang, hình dạng biến đổi tăng dần và biến dạng tối đa đạt 0,117mm. Hình 2b cho thấy biến dạng của nền tảng tạo mẫu có xu hướng không đối xứng. Biến dạng của phía dưới khoảng 0,01mm, trong khi phía trên đạt 0,06mm. Hiện nay, đường kính đầu phun của máy in 3D loại FDM trên thị trường thường là 0,3-0,4 mm và độ chính xác tối đa của máy in có thể đạt 0,1 mm. Ngoài ra, trong thực tế, do đầu phun nóng chảy của máy in không được cố định chắc chắn nên trong quá trình tạo mẫu có thể bị lắc nhẹ. Xét đến ảnh hưởng của các yếu tố này, biến dạng cấu trúc tổng thể của máy in 3D trong phân tích tĩnh sẽ ảnh hưởng lớn đến lỗi tạo mẫu.

### 3.2. Phân tích mô hình của máy in 3D

Trong môi trường hoạt động của máy in 3D, sự kích thích là tải động, và cần tránh trường hợp tần số tự nhiên trùng với sự kích thích bên ngoài [5]. Khi giảm tần số cộng hưởng của cấu trúc cơ học, nó không chỉ có thể

cải thiện độ ổn định của chính máy in mà còn giảm tải cho máy và kéo dài tuổi thọ của máy.

Trong quá trình hoạt động của máy in 3D, nguồn kích thích chính được tạo ra bởi động cơ bước, ở mức tương đối thấp. Trong phân tích mô hình của máy in 3D, đặc tính rung và tần số tự nhiên của bậc 1 đến bậc 4 được chọn và kết quả phân tích mô hình của toàn bộ cấu trúc máy in được thể hiện trong Hình 3. Từ kết quả phân tích mô hình có thể thấy, tần số mô hình từ bậc 1 đến bậc 4 nằm trong khoảng 39-68Hz. Khi tần số thấp, máy in có hiện tượng rung rõ ràng, như hai bên cột máy, phần dầm và hệ thống đầu phun. Khi tiến hành phân tích và tối ưu hóa, cần có những biện pháp tối ưu hợp lý cho các bộ phận này.



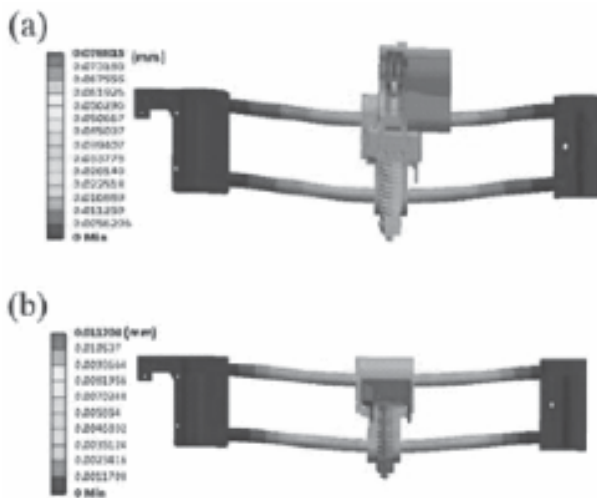
Hình 3. Phân tích mô hình của toàn bộ cấu trúc máy in 3D

### 3.3. Tối ưu hóa hệ thống đầu phun

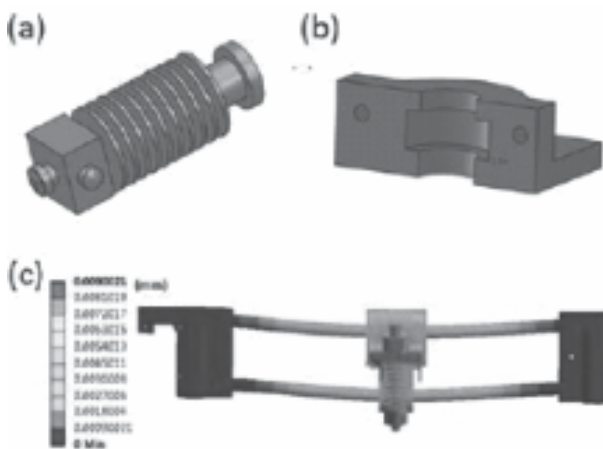
Để kiểm tra tính khả thi của phương pháp, đầu tiên vòi phun được tách ra, sau đó hệ thống vòi phun của máy in trước và sau khi tách được tính toán để thực hiện phân tích tĩnh. Kết quả phân tích tĩnh về biến dạng được thể hiện trong Hình 4 (a), (b). Từ phân tích tĩnh trong Hình 4, có thể thấy biến dạng lớn nhất của hệ thống đầu phun trước khi tách là 0,0788mm và



biến dạng lớn nhất sau khi tách là 0,0117mm. Lượng biến dạng của hệ thống đầu phun sau khi tách ban đầu so với trước khi tách đã thay đổi đáng kể. Do hiệu quả cải thiện của phân tích tĩnh của vòi phun tách rời, thiết kế của bộ phận vòi phun được tối ưu hóa. Trong quá trình hoạt động của máy in 3D, nhiệt độ của PLA nóng chảy là từ 180-210 độ C, quạt làm mát được đặt ở hai bên của vòi phun.



Hình 4. Biến dạng tổng thể của hệ thống đầu phun trước và sau khi tách



Hình 5. (a) Mô hình đầu in và (b) mặt cắt giá đỡ cố định

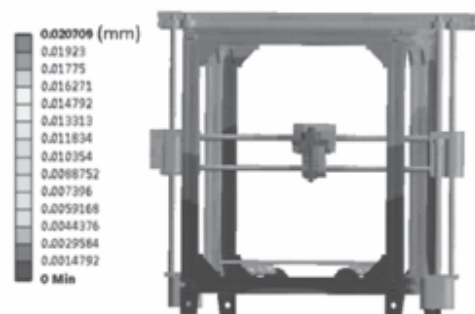
Tóm lại, PLA đáp ứng các yêu cầu về thiết kế giá đỡ cố định hỗ trợ vòi phun về độ

bền cơ học và khả năng chịu nhiệt. Giá đỡ cố định được thiết kế và bộ phận vòi phun được lắp ráp, sau đó thực hiện phân tích cơ học tĩnh của phần tử hữu hạn. Kết quả phân tích được thể hiện trong Hình 5 (c). Sau khi lắp đặt giá đỡ cố định được thiết kế, có thể thấy từ Hình 5 (c) rằng biến dạng tối đa của hệ thống đầu phun là 0,0090mm.

### 3.4. Tối ưu hóa tổng thể cấu trúc máy in 3D

Từ phân tích phần tử hữu hạn tĩnh của toàn bộ cấu trúc máy in 3D, có thể thấy từ Hình 2 (b) rằng biến dạng của nền tảng là không đối xứng. Lý do chính là ổ trục đỡ dưới nền tảng tạo mẫu không đối xứng, cần bổ sung ổ trục tuyến tính cố định ở phía biến dạng lớn hơn của nền tảng để đảm bảo độ đối xứng tốt của nền tảng tạo mẫu.

Để giải quyết những vấn đề này, các cột hai bên máy in được cố định đối xứng bằng vật liệu hợp kim nhôm 2020, cuối cùng, toàn bộ khung của máy in 3D có dạng hình vuông. Trên cơ sở này, sau khi lắp giá đỡ cố định được thiết kế, hệ thống đầu phun được cố định trên toàn bộ khung máy in. Tiến hành phân tích phần tử hữu hạn về tĩnh và động của toàn bộ cấu trúc máy in 3D, biến dạng của phân tích tĩnh của toàn bộ cấu trúc máy in được tối ưu hóa được thể hiện trong Hình 6.

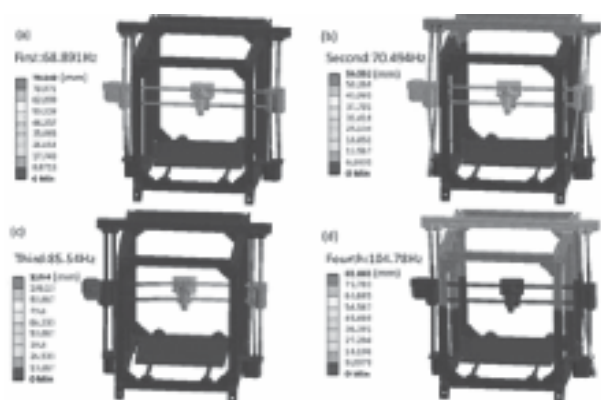


Hình 6. Biến dạng cải tiến của toàn bộ cấu trúc máy in 3D

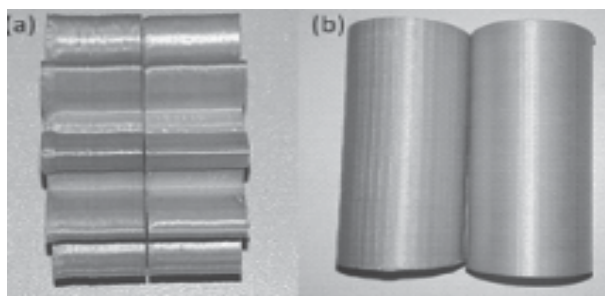




Có thể thấy từ phân tích tĩnh của toàn bộ cấu trúc, biến dạng lớn nhất của máy in 3D được tối ưu hóa là 0,0207mm, nằm ở hệ thống đầu phun. So với biến dạng trước đó là 0,117mm, biến dạng tĩnh của máy in 3D được tối ưu hóa đã được cải thiện tốt hơn. Phân tích mô hình tổng thể của máy in 3D được cải tiến được thể hiện trong Hình 7.



Hình 7. Phân tích mô hình tổng thể của máy in 3D đã cải tiến



Hình 8. Sự tương phản tạo mẫu thực tế của máy in 3D trước và sau khi cải tiến

Trong kết quả phân tích mô hình, tần số tự nhiên của từng bậc của máy in 3D cao hơn so với cấu trúc ban đầu. Khi quan sát các chế độ rung ở mỗi bậc tần số tự nhiên, ở tần số thấp hơn, không có hiện tượng rung nghiêm trọng ở cột và dầm của cấu trúc máy in 3D đã cải tiến, và chỉ ở tần số tự nhiên bậc thứ hai và thứ tư mới có một rung động nhỏ ở dầm. Ngoài ra, thực hiện việc so sánh tạo mẫu giữa máy in 3D trước và sau khi tối ưu hóa, được thể hiện

trong hình 8. Đối tượng được tạo mẫu ở phía bên phải của hai bức ảnh được tạo ra bởi máy in 3D được tối ưu hóa, các điều kiện khác đều giống nhau ngoại trừ sự khác biệt nhỏ về màu sắc của vật liệu tạo mẫu.

## 4. KẾT LUẬN

Từ phân tích cấu trúc tổng thể của máy in 3D, độ cứng của thiết bị cố định cột phụ trợ ban đầu tương đối kém, và trong phân tích phần tử hữu hạn có hiện tượng rung động rõ ràng hơn. Sau khi tối ưu hóa cấu trúc máy in 3D, khung tổng thể của máy in có dạng hình vuông, tần số tự nhiên của từng bậc được cải thiện đáng kể, chế độ rung cũng ổn định hơn, biến dạng tối đa của cấu trúc tổng thể máy in 3D giảm từ 0,117mm xuống 0,021mm, chất lượng bề mặt của vật thể tạo mẫu cũng được cải thiện tốt hơn.

Về hệ thống đầu phun của máy in 3D, cần giảm trọng lượng hợp lý trong quá trình thiết kế, nó có tác dụng rất lớn trong việc giảm tải cho trục quang và nâng cao độ chính xác. Đường kính của ổ trục ngang di động sử dụng cần phù hợp, khi đường kính của ổ trục ngang đạt đến một giới hạn nhất định, khi đường kính tăng lên, các thông số động và thông số tĩnh của hệ thống đầu phun sẽ không thay đổi đáng kể.

Nói tóm lại, sau khi tối ưu hóa cấu trúc của máy in, máy in 3D đã đạt được kết quả tốt trong phân tích phần tử hữu hạn và tạo mẫu thực tế.

## Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở – Địa chất đã hỗ trợ nguồn lực để thực hiện nghiên cứu cơ sở này, mã đề tài T23-09.❖

Ngày nhận bài: 12/11/2023

Ngày phản biện: 23/12/2023

---

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. B. Berman, "3-D printing: The new industrial revolution", Business Horizons, vol. 55, no. 2, pp.155-162, 2012.
- [2]. G. Cesaretti, E. Dini, X. D. Kestelier, V. Colla and L. Pambaguian, "Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology", ACTA ASTRONAUT, vol. 93, no. 1, pp.430-450, 2014.
- [3]. B. T. Wittbrodt, A. G. Glover and J. Laureto et al., "Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers", MECHATRONICS, vol. 23, no. 6, pp.713-726, 2013.
- [4]. B. M. Tymrak, M. Kreiger and J. M. Pearce, "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions", MATER DESIGN, vol. 58, no. 6, pp.242-246, 2014.
- [5]. M. Merzoug, M. Mazari, L. Berrahal and A. Imad, "Parametric studies of the process of friction spot stir welding of aluminium 6060-T5 alloys", MATER DESIGN, vol. 31, no. 6, pp.3023-3028, 2010.

## ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG MÚA RỐI NƯỚC TỰ ĐỘNG TỪ XA

### CONTROLLING WATER PUPPETRY USING TELE-OPERATION INTERFACE

Nguyễn Minh Triều, Đặng Trí Dũng, Nguyễn Trường Thịnh

Viện Công nghệ Thông minh và Tương tác, Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh (UEH)

#### TÓM TẮT

*Việc tích hợp tự động hóa vào múa rối nước tạo ra cách mạng nghệ thuật, mở đầu cho kỷ nguyên mới của nghệ thuật biểu diễn độc lập. Hệ thống tự động hóa vận hành con rối một cách chính xác và duyên dáng, loại bỏ người điều khiển truyền thống. Bộ điều khiển nhỏ gọn, giảm bậc tự do, và tích hợp động tác như chuyển động thẳng đứng, tiến/lùi, quay, và ngang. Thử nghiệm rộng rãi chứng minh hiệu quả và độ chính xác, tạo nên màn trình diễn hấp dẫn dưới nước. Sự kết hợp giữa truyền thống và tự động hóa mở ra nhiều khả năng mới, bảo tồn di sản văn hóa và làm nổi bật sự đổi mới của nghệ thuật Việt Nam.*

**Từ khóa:** Múa rối nước; Tự động; Con rối; Điều khiển từ xa; Nghệ thuật truyền thống.

#### ABSTRACT

*The infusion of automation technology into water puppetry revolutionizes the traditional art, enabling independent performances. This approach eliminates the need for puppeteer control, utilizing a compact and efficient system for automatic puppet movements with precision. The controller employs fewer degrees of freedom than human arms, ensuring seamless and synchronized puppetry. With 4 degrees of freedom, including vertical, forward/backward, rotational, and horizontal movements, experiments confirm the system's effectiveness underwater. This integration marks a significant advancement, expanding the possibilities of water puppetry and preserving Vietnam's cultural heritage with a blend of tradition and innovation. The automated water puppets captivate diverse audiences in various settings, showcasing the fusion of centuries-old artistry with cutting-edge technology.*

**Keywords:** Water puppetry; Automation; Puppet; Tele-operation; Traditional Art.

## 1. TỔNG QUAN

Múa rối nước là một loại hình nghệ thuật độc đáo ở Việt Nam có nguồn gốc sâu xa trong di sản văn hóa của Việt Nam. Nghệ thuật trình diễn truyền thống này xuất hiện vào thế kỷ thứ 11 ở khu vực đồng bằng sông Hồng [1]. Múa rối nước là nguồn kỳ diệu, kết hợp sáng tạo độc đáo của người nông dân Việt Nam và cách kể chuyện về cuộc sống hàng ngày và sự tích dân gian. Như một cửa sổ mở ra về truyền thống và phong tục Việt Nam, nghệ thuật này thông qua con rối nước tinh tế mô tả đời sống nông thôn, từ cày ruộng, chăn trâu đến đánh cá, hòa mình vào bản chất của cuộc sống quê hương [2], [3]. Múa rối nước không chỉ thể hiện đời sống hàng ngày và hoạt động giải trí cộng đồng ở Việt Nam, mà còn tôn vinh lịch sử và văn hóa dân gian. Những buổi biểu diễn kết hợp động tác múa rối, âm nhạc và kể chuyện, tạo nên cảm giác đoàn kết và tinh thần cộng đồng. Múa rối nước không chỉ là biểu tượng của cuộc sống quê hương mà còn là cách bảo tồn và truyền đạt những truyền thuyết lịch sử và thần thoại đặc sắc của Việt Nam, giữ cho những câu chuyện này sống mãi qua thời gian và được chia sẻ với thế hệ sau [4]. Những màn trình diễn múa rối nước là biểu tượng cho sự sáng tạo và khéo léo của những người điều khiển rối trên sân khấu nước. Sự hòa quyện giữa nghệ thuật múa rối, âm nhạc, trang phục màu sắc và thiết kế dàn dựng phức tạp tạo ra cảnh tượng mê hoặc, hấp dẫn khán giả ở mọi độ tuổi. Chuyển động tinh tế của những con rối trên mặt nước không chỉ làm tăng chất lượng biểu diễn mà còn làm cho sự mê hoặc tổng thể trở nên hoàn hảo [5], [6]. Loại nghệ thuật này, lâu đời ở Việt Nam, thể hiện sự khéo léo và sáng tạo của nghệ nhân trong việc đưa những con rối gỗ vào

cuộc sống [4]. Mỗi con rối được chế tác tỉ mỉ từ gỗ sơn mài, tăng độ bền và tính thẩm mỹ. Những con rối không chỉ là những đồ vật vô tri vô giác, chúng có tên gọi riêng, đại diện cho các nhân vật trong đời thực và văn hóa dân gian [4], [7]. Chẳng hạn, chú Tễu là hiện thân của tinh thần người nông dân trẻ trung, kiên cường và nghèo khó, trong khi Rồng tượng trưng cho những sinh linh huyền bí đã ăn sâu vào văn hóa Việt Nam. Các nhân vật rối khác bao gồm Nàng tiên, Cáo, Vịt, v.v. [7-8]. Sự kỳ diệu của múa rối nước nằm ở sự đồng bộ liên mạch của các chuyển động của con rối, đi kèm với âm nhạc sinh động và lời hát. Các con rối múa và biểu diễn nhiều tiết mục hấp dẫn, thu hút khán giả ở mọi lứa tuổi. Những giai điệu và nhịp điệu của âm nhạc truyền thống Việt Nam càng nâng cao trải nghiệm nhập vai, đưa khán giả vào một thế giới đầy mê hoặc và giàu văn hóa. Trong những năm gần đây, việc tích hợp công nghệ robot (RT) đã cách mạng hóa nhiều lĩnh vực khác nhau của đời sống con người, bao gồm công nghiệp, giáo dục và chăm sóc sức khỏe [9]. Bằng cách tích hợp các kỹ thuật robot vào nghệ thuật múa rối nước, chúng tôi đã bắt tay vào một nhiệm vụ đổi mới. Khi kiểm tra kỹ chuyển động của các cánh tay robot, chúng tôi đã phát hiện ra sự tương đồng thú vị giữa mô hình chuyển động của chúng và mô hình múa rối nước, được đặc trưng bởi các chuyển động quay và tịnh tiến [11-13]. Kết hợp cánh tay robot với nghệ thuật múa rối nước đều là một thách thức thú vị và đầy tham vọng trong nghiên cứu của chúng tôi. Sự kết hợp này mở ra thời đại mới, nơi độ chính xác cơ học của robot giao thoa tinh tế với cách kể chuyện và sự tao nhã của múa rối nước. Công nghệ robot đã được tích hợp để bảo tồn và nâng cao loại hình nghệ thuật này, sử dụng hệ thống điều khiển tự động và



phát triển chương trình biểu diễn sáng tạo. Múa rối nước truyền thống, thường đòi hỏi sự tham gia của người điều khiển ẩn sau bức màn tre và ngâm mình trong nước, đã được cải tiến bằng cách sử dụng công nghệ để giữ bí mật hậu trường và tạo ra trải nghiệm mê hoặc và quyến rũ hơn cho khán giả [6]. Ra đời cùng Robot Technology (RT), múa rối nước chứng kiến sự tiến bộ trong hệ thống điều khiển tự động, mang lại độ chính xác và hiệu suất mới. Sự tích hợp của RT đã tạo ra chương trình múa rối đơn giản, hiệu quả, với chuyển động tự động và hành động đồng bộ, làm tăng cường cảnh tượng thị giác và giữ cho màn trình diễn liền mạch và hấp dẫn. Sự kết hợp giữa truyền thống và công nghệ tiên tiến không chỉ bảo tồn nghệ thuật múa rối nước mà còn tạo ra không gian cho sự thử nghiệm và đổi mới. Múa rối nước ngày nay không chỉ là một biểu tượng văn hóa quý báu ở Việt Nam, mà còn là một trải nghiệm hấp dẫn, thu hút khán giả toàn cầu và bảo tồn giá trị văn hóa cho thế hệ tương lai.

## 2. PHÁT TRIỂN RỐI NƯỚC TỰ ĐỘNG

Múa rối nước thường sử dụng nhạc cụ truyền thống như đàn tranh, đàn bầu và đàn tỳ bà, tạo ra âm nhạc phù hợp với câu chuyện. Con rối nước, thường làm từ gỗ thông và bọc lớp bông, được thiết kế độc đáo, mỗi con rối đại diện cho một nhân vật trong câu chuyện. Chúng được gắn vào hệ thống dây phức tạp,

và nghệ nhân sử dụng tay, ngón tay, cánh tay và chân để điều khiển chuyển động của chúng. Việc điều khiển nhiều dây đồng thời đòi hỏi kỹ năng và sự tập trung tuyệt vời. Múa rối nước đòi hỏi sự phối hợp giữa nhạc, ánh sáng và chuyển động của con rối, với nghệ nhân phải tính toán thời gian và điều khiển để tạo ra màn trình diễn hài hòa và lôi cuốn khán giả. Tóm lại, múa rối nước là nghệ thuật phức tạp và độc đáo, nơi nghệ nhân kỳ công điều khiển con rối và kết hợp với âm nhạc và ánh sáng để tạo nên những tác phẩm sống động và gây ấn tượng cho khán giả. Sân khấu biểu diễn của múa rối nước được thiết kế đặc biệt với các yếu tố quan trọng như hồ nước, màn diễn, ánh sáng, âm nhạc và phong cảnh. Trung tâm là hồ nước lớn, tạo điều kiện cho sự di chuyển tự nhiên và mượt mà của các con rối. Nước trong hồ được bơm để tạo hiệu ứng nước như sóng nhẹ. Màn diễn, giữa hồ, che giấu nghệ nhân và cơ cấu kỹ thuật, làm cho buổi biểu diễn trở nên bí ẩn và kỳ diệu. Ánh sáng đóng vai trò quan trọng, tạo không gian huyền ảo và làm nổi bật các con rối. Ngoài ra, sử dụng hình thức nền kịch và phong cảnh đơn giản làm bổ sung cho câu chuyện và tăng thêm hiệu ứng mỹ thuật. Sân khấu biểu diễn không chỉ là không gian hòa quyện giữa nghệ thuật, kỹ thuật và diễn xuất mà còn là nơi truyền thụ và bảo tồn nét văn hóa truyền thống của quê hương thông qua nghệ thuật múa rối nước [4].



Bảng 1. Phân tích các chuyển động của con rối trên cơ sở cơ học.

Con rối nước hình dạng người	Bậc tự do	Con rối nước hình dạng động vật	Bậc tự do
	Tịnh tiến theo trục x và y; Quay xung quanh trục x và z. $X=T(x,y,0)R(x,\alpha)R(z,\beta)$		Quay xung quanh trục z và y, tịnh tiến theo trục x, z. $X=R(y,\phi)R(z,\beta)T(x,0,z)$
	Tịnh tiến theo trục x và y; Quay xung quanh trục x và z. $X=T(x,y,0)R(x,\alpha)R(z,\beta)$		Quay xung quanh trục z và y, tịnh tiến theo trục x, z. $X=R(y,\phi)R(z,\beta)T(x,0,z)$
	Tịnh tiến theo trục x và y; Quay xung quanh trục x và z. $X=T(x,y,0)R(x,\alpha)R(z,\beta)$		Quay xung quanh trục z và y, tịnh tiến theo trục x, y. $X=R(y,\phi)R(z,\beta)T(x,y,0)$
	Tịnh tiến theo trục x và y; Quay xung quanh trục x và z. $X=T(x,y,0)R(x,\alpha)R(z,\beta)$		Quay xung quanh trục x, y và z, tịnh tiến theo trục z. $X=R(x,\alpha)R(y,\phi)R(z,\beta)T(0,0,z)$
	Tịnh tiến theo trục x và y; Quay xung quanh trục x và z. $X=T(x,y,0)R(x,\alpha)R(z,\beta)$		Quay xung quanh trục x, y và z, tịnh tiến theo trục z. $X= R(x,\alpha)R(y,\phi)R(z,\beta)T(0,0,z)$



Các chuyển động của con rối nước khi tự động hóa được thay thế bằng động cơ để tạo nên các chuyển động khác nhau tương tự như cánh tay và bàn tay của người múa rối nước. Những động cơ này sẽ điều khiển và thể hiện các hoạt động của con rối nước bằng các chuyển động quay và tịnh tiến. Hầu hết các con rối chúng ta đều có thể tích hợp lại với 4 bậc tự do với nhiều tổ hợp khác nhau. Mỗi động cơ sẽ tạo chuyển động được điều khiển của các con rối, giúp chúng có những chuyển động tương ứng như cánh tay người như Bảng 1. Qua bảng 1 với các thông số động học các con rối, thấy rằng dù là hai nhóm khác nhau, cơ cấu chuyển động cũng khác nhau nhưng quan trọng là điểm chung đều dựa trên cơ cấu 2 bậc tự do xoay là giống nhau. Do đó, nhóm nghiên cứu sẽ chọn cơ cấu chung nhất của các con rối là cơ cấu xoay 2 bậc tự do trên thân rối để thực hiện nghiên cứu này. Vấn đề động học trên con rối chỉ tạo ra được những cử động phong phú của chúng trong phần trình diễn, tuy nhiên một vấn đề khác cần bàn đến là động học tính vị trí của chúng. Đó là cơ cấu tạo ra chuyển động của cả con rối trong khắp sân khấu, có rất nhiều cơ cấu để có thể sử dụng nhưng trong đề tài này là kết hợp điều khiển tín hiệu từ tay người để truyền sang lệnh cho robot rối nước nên bị giới hạn bởi phạm vi hoạt động phù hợp với tay người nên nhóm nghiên cứu đề ra một số cơ cấu có thể phù hợp với yêu cầu của nghiên cứu này.

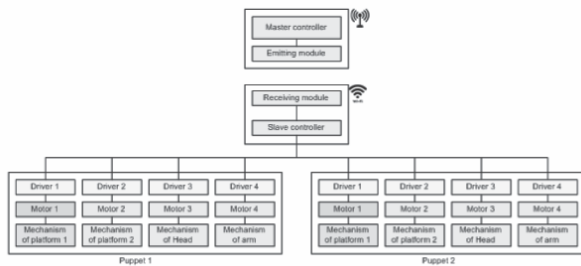
### 3. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN MÚA RỐI NƯỚC TỰ ĐỘNG

Mô hình múa rối nước tự động sử dụng hệ thống điều khiển gọn nhẹ gồm một bộ điều khiển chính (Master) và nhiều bộ vi điều khiển phụ (Slave). Khi các chuỗi chuyển động đã lập trình của mô hình được nhập vào bộ điều khiển Master, với đầu vào là 12V, các thuật toán trong Master sẽ được xử lý và gửi hướng dẫn đến các

bộ vi điều khiển Slave. Các bộ vi điều khiển Slave chịu trách nhiệm điều khiển hoạt động đồng bộ hoặc không đồng bộ của các động cơ dựa trên các yêu cầu cụ thể. Master đóng vai trò là bộ não trung tâm của hệ thống, điều khiển và phối hợp các chuyển động và hành động khác nhau của các con rối nước. Nó xử lý các chuỗi chuyển động được lập trình sẵn, đảm bảo thực hiện chính xác từng chuyển động. Các thuật toán trong Master phân tích các đầu vào và tạo các lệnh tương ứng sau đó truyền đến các bộ vi điều khiển Slave. Các bộ vi điều khiển Slave, được phân phối khắp mô hình, nhận các lệnh từ Master và hoạt động như các đơn vị điều khiển riêng lẻ cho các thành phần hoặc bộ động cơ cụ thể. Chúng xử lý các hướng dẫn và điều khiển các động cơ chịu trách nhiệm tạo ra các chuyển động mong muốn. Tùy thuộc vào nhu cầu cụ thể về hiệu suất, các bộ vi điều khiển Slave có thể phối hợp hoạt động của nhiều động cơ đồng thời hoặc điều khiển chúng một cách độc lập để đạt được các hiệu ứng và hành động khác nhau.

Hệ thống điều khiển phân tán này cho phép quản lý mô hình múa rối nước hiệu quả và linh hoạt. Thiết kế gọn nhẹ của bộ vi điều khiển đảm bảo giảm thiểu sự can thiệp vào chuyển động của con rối đồng thời cung cấp khả năng kiểm soát chính xác đối với hành động của chúng. Bằng cách phân chia trách nhiệm điều khiển giữa bộ vi điều khiển Master và Slave, hệ thống có thể xử lý các chuỗi chuyển động phức tạp và duy trì hiệu suất đồng bộ. Việc sử dụng hệ thống điều khiển giúp nâng cao khả năng tự động hóa của mô hình múa rối nước, giúp các màn trình diễn liền mạch và lôi cuốn. Sự phối hợp chính xác của các chuyển động đạt được thông qua các thuật toán điều khiển bổ sung thêm một lớp tinh tế cho chuyển động của con rối, thu hút khán giả bằng sự uyển chuyển và duyên dáng của chúng. Sự tích hợp của bộ điều khiển Master và Slave thể hiện sự kết hợp giữa

công nghệ tiên tiến và nghệ thuật truyền thống, mở rộng ranh giới của những gì nghệ thuật múa rối nước có thể đạt được (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ bộ điều khiển rối nước tự động từ xa.

#### 4. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Thử nghiệm thực tế đã chứng minh rõ ràng chức năng hoàn hảo và tuổi thọ của mô hình múa rối nước tự động. Thông qua một loạt các thử nghiệm được thực hiện trong các buổi biểu diễn trực tiếp và các cuộc thi múa rối nước truyền thống tại các trường đại học, mô hình này đã nhận được sự hoan nghênh vang dội và tạo ra vô số phản hồi tích cực [10]. Các chuyên gia nhiều kinh nghiệm trong lĩnh vực múa rối nước đã được mời đến chứng kiến những màn trình diễn hấp dẫn, và họ đều cảm thấy hứng thú với loại mô hình mới mẻ này. Mô hình tự động không chỉ gây ấn tượng với hiệu suất làm việc tốt mà còn truyền tải liền mạch bản chất và chiều sâu tường thuật của những câu chuyện được miêu tả. Có lẽ điều đáng chú ý nhất là mô hình múa rối nước tự động đã dễ dàng vượt qua những giới hạn và yêu cầu về thể chất vốn đã đặt ra những thách thức trong lịch sử cho những người biểu diễn là con người. Các chuyên gia ngạc nhiên trước độ chính xác phi thường và sự đồng bộ hoàn hảo của mô hình, vượt qua khả năng của cả những nghệ sĩ múa rối dày dặn kinh nghiệm nhất. Hơn nữa, mô hình thể hiện khả năng biểu diễn cường độ cao không ngừng

nghi, thực hiện các động tác phức tạp mà không mệt mỏi. Đó là một biểu hiện phi thường của sự đổi mới công nghệ đan xen nhuần nhuyễn với nghệ thuật múa rối nước.



Hình 2. Một số hình ảnh thực nghiệm biểu diễn múa rối nước.

Xuyên suốt quá trình thử nghiệm nghiêm ngặt, hệ thống truyền động đã chứng tỏ là một phần cốt lõi của mô hình, các bộ truyền động vận hành êm ái và không gặp trở ngại nào. Đường ray trượt, được thiết kế tỉ mỉ để mang lại sự ổn định và chuyển động trôi chảy, đảm bảo hiệu suất liền mạch và đầy mê hoặc. Ấn tượng không kém là các dây đai cao su được sử dụng trong cơ chế của mô hình, thể hiện độ bền vượt trội khi chúng hoạt động hoàn hảo dưới nước trong thời gian dài, vẫn còn nguyên vẹn mà không có dấu hiệu hao mòn hoặc hư hỏng nhỏ nhất. Việc thử nghiệm và đánh giá toàn diện mô hình múa rối nước tự động đã mang lại thành công vang dội, khẳng định hiệu suất vượt trội và độ tin cậy vững chắc của nó. Hoạt động hoàn hảo của mô hình trong suốt quá trình thử nghiệm đã khơi dậy sự hứng thú và được đánh giá cao là một bước đột phá mới từ

các chuyên gia đáng kính cũng như khán giả. Sự đổi mới công nghệ mang tính đột phá này không chỉ thúc đẩy truyền thống múa rối nước trong tương lai mà còn đảm bảo sự bảo tồn lâu dài và khả năng tiếp cận rộng rãi hơn với khán giả trên toàn cầu. Về bản chất, mô hình múa rối nước tự động là minh chứng cho sự kết hợp hài hòa giữa công nghệ tiên tiến và biểu hiện nghệ thuật. Hoạt động hoàn hảo, màn trình diễn hấp dẫn và độ tin cậy vững chắc đã mở ra một kỷ nguyên mới cho nghệ thuật múa rối nước.

## 5. KẾT LUẬN

Tích hợp công nghệ robot vào múa rối nước mang lại nhiều lợi ích quan trọng. Hệ thống tự động giúp tiết kiệm thời gian và công sức của người múa rối, tăng tính ổn định và độ tin cậy trong biểu diễn. Ngoài ra, việc lưu giữ và chia sẻ kỹ thuật biểu diễn cũng được cải thiện, giúp bảo tồn và phát triển nghệ thuật múa rối nước. Sử dụng vật liệu tái chế trong robot không chỉ giảm chi phí mà còn thể hiện sự sáng tạo và bảo vệ môi trường. Kết quả nghiên cứu chứng minh hiệu suất ổn định của hệ thống và khả năng thực hiện nhiệm vụ múa rối nước một cách thành công. Tóm lại, việc tích hợp công nghệ hiện đại vào múa rối nước không chỉ mang lại hiệu quả về kỹ thuật mà còn hướng tới bảo tồn và phát triển nghệ thuật truyền thống này cho tương lai.

## Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh (UEH). Nghiên cứu này được sự hỗ trợ về tài chính của Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh – UEH. Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp trường có mã số CTD-2023-02 được tài trợ bởi Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh. ❖

Ngày nhận bài: **01/12/2023**

Ngày phản biện: **08/12/2023**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Sam Pack, Michale Eblin, and Carrie Walther, “*Water Puppetry In The Red River Delta And Beyond: Tourism And The Commodification Of An Ancient Tradition*” in ASIA Network Exchange, vol. 19, no. 2, Spring 2012.
- [2]. Kathy Foley, “*The Metonymy of Art: Vietnamese Water Puppetry As a Representation of Modern Vietnam*”, in The Drama Review 45.4, December 2001, pp. 129-141.
- [3]. Gloria Contreras, “*Teaching about Vietnamese Culture: Water Puppetry as the Soul of the Rice Fields*”, in The Social Studies, vol. 86, no.1, pp.25-28, 1995.
- [4]. Nguyen Thi Thuy Linh, “*Water Puppetry And Peasant's Life In Vietnam*”, in Journal Mekong of Societies, 2005.
- [5]. Seb Rumsby, “*Methods of manipulation: Propaganda, ethnicity and representation in Vietnamese water puppetry*”, in Asian Affairs, vol. 46, no. 2, pp. 304-308, 2015.
- [6]. C. Ma Thi, N. Chetcuti-Sperandio, S.Laguerre, Thuy. N. T, and Duy. B. T, “*Towards an Ontology for Vietnamese Water Puppetry*”, in ICDAMT, 2017.
- [7]. Amanda Vander Hyde, “*Vietnamese Water Puppetry The Practical Development of the Structure and Form*”, in Western Oregon University Honors Program, 2018.
- [8]. Derek Gaboriault, “*Vietnamese Water Puppet Theatre: A Look Through The Ages*”, Spring 2009.
- [9]. Linda Baily Synovitz, “*Using Puppetry In A Coordinated School Health Program*”, in J Sch Health, vol. 69, no. 4, 1999.
- [10]. Link to see: <https://www.youtube.com/watch?v=edEN3yZ2Rzo>
- [11]. S. Zimmermann, R. Poranne, James M. Bern, and S. Coros, “*PuppetMaster: Robotic animation of marionettes*”, in ACM Transactions on Graphics, vol. 38, no. 4, pp. 1-11, July 2019.
- [12]. A. Causo, G. T. Vo, E. Toh, I-Ming Chen, S. H. Yeo, and P. W. Tzuo, “*Developing and Benchmarking Show & Tell Robotic Puppet for Preschool Education*”, in ICRA, 2015.
- [13]. E.Jochum, J. Schultz, E. Johnson, and T. D. Murphey, “*Robotic Puppets and the Engineering of Autonomous Theater*”, in Controls and Art, pp. 107-128, 2014.



# MỘT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHỐI LƯỢNG LIỀU THUỐC MÒI

## A METHOD FOR CALCULATING THE MASS OF IGNITER CHARGE

TS. Nguyễn Quang Lượng, TS. Nguyễn Nam Quý, TS. Lê Hữu Ban

Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày một phương pháp tính toán khối lượng thuốc mồi, áp dụng cho thuốc mồi ДПП-2. Kết quả tính toán được so sánh với dữ liệu chuẩn và đánh giá trên động cơ tên lửa nhiên liệu rắn thử nghiệm. Các kết quả tính toán phù hợp với giá trị tiêu chuẩn và thực nghiệm.*

**Từ khóa:** Mồi cháy; Thiết bị mồi; Khối lượng thuốc mồi.

### ABSTRACT

*The article presents a method to calculate the weight of igniter charges, applied to a igniter charge as ДПП-2. Calculation results are compared with standard data and evaluated on an experimental solid-fuel rocket engine. The calculated results are consistent with standard and experimental values.*

**Keywords:** Ignition; Igniter; Mass of igniter charge.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự cháy của liều phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn (ĐTR) được mồi cháy nhờ thiết bị mồi. Các thiết bị mồi tạo ra các điều kiện ban đầu trong buồng đốt để đưa ĐTR vào chế độ làm việc cơ bản, nó cần đảm bảo: Nung nóng bề mặt của liều phóng đến nhiệt độ cần thiết để nhiên liệu bắt đầu cháy, tạo ra gradient nhiệt cần thiết trong nhiên liệu, tạo ra trong buồng đốt áp suất để nhiên liệu cháy ổn định.

Sự mồi cháy của liều phóng và tính toán liều thuốc mồi đã được trình bày trong nhiều tài liệu [1, 3, 4, 5], đã có tiêu chuẩn quân sự về thiết kế, đảm bảo an toàn cho thiết bị mồi

[6], tuy nhiên đối với động cơ cụ thể cần có lựa chọn phương pháp phù hợp.

## 2. SỰ MỒI CHÁY, PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHỐI LƯỢNG LIỀU THUỐC MỒI

### 2.1. Thiết bị mồi và yêu cầu đối với thiết bị mồi

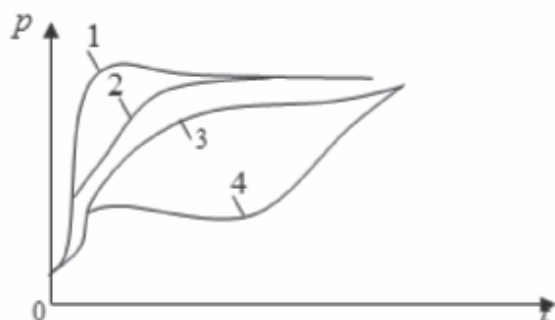
Thiết bị mồi thường có cấu tạo gồm: Hộp thuốc mồi, mồi lửa điện, thuốc mồi. Thiết bị mồi có thể có cấu tạo kiểu hộp, kiểu mặt bích với thân phá hủy, kiểu giỏ hoặc là một động cơ tên lửa làm nhiệm vụ mồi cháy [4]. Thuốc mồi là thuốc phóng đen hoặc các thành phần hoá thuật, ở các động cơ có  $d > 1\text{m}$  là hỗn hợp các kim loại (Al, Mg) và peclorat kali  $\text{KClO}_4$  hoặc nitrat kali  $\text{KNO}_3$ .





Thiết bị môi cần thỏa mãn các yêu cầu đảm bảo môi cháy tin cậy liệu chính trong khoảng rộng của nhiệt độ ban đầu, có kích thước và khối lượng nhỏ, khi làm việc áp suất trong buồng đốt tăng giảm đều đặn, không gây ra vết nứt trong liệu phóng, thời gian môi cháy nhỏ, có khả năng cất giữ lâu dài mà không thay đổi các thông số làm việc. Các đường cong áp suất điển hình trong thời kỳ khởi động động cơ được biểu diễn trên Hình 1 [3].

Loại thuốc môi, khối lượng thuốc môi, vị trí đặt thuốc môi, nhiệt độ ban đầu, thành phần hoá học, thành phần sản phẩm cháy của thuốc môi, tốc độ chuyển động của nó dọc theo bề mặt cháy của liệu chính, hình dạng đường thoát khí, v.v... sẽ ảnh hưởng đến quá trình môi cháy liệu phóng.



Hình 1. Sự thay đổi áp suất theo thời gian trong thời kỳ môi cháy:

1. Sự môi cháy diễn ra với tốc độ lớn; 2, 3. Sự môi cháy với sự trễ về thời gian;
4. Sự môi cháy nhiên liệu sau khi nắp bịt kín bị phá hủy

## 2.2. Phương pháp tính toán khối lượng liệu thuốc môi

Khi thiết kế thiết bị môi cần phải tiến hành một số lựa chọn, tính toán trong đó tính toán khối lượng thuốc môi có ý nghĩa quan trọng. Để tính toán khối lượng thuốc môi, có thể sử dụng các công thức lý thuyết và kinh nghiệm.

Trong đó, một số công thức kinh nghiệm không chính xác cho một số sơ đồ kết cấu ĐTR, cần phải kết hợp với tính toán lý thuyết để đảm bảo độ chính xác, chẳng hạn kết cấu ĐTR với thuốc môi loại ДПИ-2. Bài báo trình bày một phương pháp tính khối lượng thuốc môi dựa trên cơ sở mô hình toán mô tả hiện tượng môi cháy với các giả thiết hợp lý [5].

Đối với các loại thuốc đen được sử dụng trong thực tế, có thể coi tốc độ cháy của chúng không phụ thuộc vào áp suất và là 0,07 m/s. Giả sử rằng tất cả các hạt thuốc cháy đồng thời, thời gian cháy của thuốc môi có thể được xác định từ mối quan hệ:  $t_m = e_m / u_m$ .

Áp suất mà thiết bị môi cung cấp cần nằm trong giới hạn  $p = (0,3 \div 0,5)p_k$ , khối lượng không khí tại thời điểm ban đầu trong buồng đốt được xác định theo biểu thức:  $m_{kk} = \rho_{kk} \cdot W_{k0}$ , trong đó  $\rho_{kk}$ ,  $W_{k0}$  là mật độ không khí và thể tích tự do ban đầu của buồng đốt. Do thể tích tự do của buồng đốt có sự thay đổi nhỏ trong quá trình cháy của thiết bị môi nên ta chấp nhận  $W_k = W_{k0}$ .

Khối lượng cần thiết của thuốc môi  $m_m^{ct}$  được xác định từ kết quả giải hệ phương trình vi phân về cân bằng nhiệt và khối lượng trong quá trình cháy của thuốc môi và được biểu diễn như sau [5]:

$$m_m^{ct} = S_m \rho_m e_m \frac{1 - e^{-m}}{m} \quad (1)$$

Khi tính đến khối lượng không khí trong thể tích tự do của động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, khối lượng của thuốc môi được xác định gần đúng theo biểu thức:

$$m_m = \frac{m_m^{ct}}{\sqrt{1 - \frac{m_{kk}}{m_m^{ct}}}}$$

Trong thời gian thuốc môi cháy, có thể tính toán bề mặt cháy ban đầu cần thiết của thuốc môi  $S_m$ , thời gian  $t_m^{\max}$  để đạt được áp suất lớn nhất  $p_{m_{\max}}$  [5]:

$$S_m = \frac{p_m}{y_{\max}} \left( \frac{y_1}{y_2} \frac{y_{\max} - y_2}{y_{\max} - y_1} \right)^{\frac{c_3 m}{c_1 (y_1 - y_2) t_m}};$$

$$p_m(t) = \frac{y_1 - y_1 e^{-\frac{c_1 (y_1 - y_2) t}{c_3}}}{1 - \frac{y_1}{y_2} e^{-\frac{c_1 (y_1 - y_2) t}{c_3}}} S_m e^{-\frac{t}{\tau_m}};$$

$$t_m^{\max} = \frac{c_3}{c_1 (y_1 - y_2)} \ln \left( \frac{y_1}{y_2} \frac{y_{\max} - y_2}{y_{\max} - y_1} \right). \quad (2)$$

Các hệ số trong biểu thức (1) và (2) có dạng [5]:

$$c_1 = \frac{k_m \cdot A_{km}^2 \cdot F_{th}^2}{u_m^2 \cdot \rho_m^2} \left( 1 - n \cdot \frac{m_{kk}}{m_m} \right)^{-1},$$

$$c_2 = (k_m - 1) \frac{\psi \cdot \alpha_m}{R_m} \frac{F_{tlp}}{u_m} \frac{1}{\rho_m},$$

$$c_{21} = c_2 - \frac{m W_{cs}}{t_m \cdot u_m \cdot \rho_m},$$

$$c_3 = \frac{W_{cs}}{u_m \rho_m}, \quad c = (k_m - 1) Q_m,$$

$$y_{1,2} = -\frac{c_{21}}{2c_1} \pm \sqrt{\left( \frac{c_{21}}{2c_1} \right)^2 + \frac{c}{c_1}},$$

$$y_{\max} = -\frac{c_2}{2c_1} + \sqrt{\left( \frac{c_2}{2c_1} \right)^2 + \frac{c}{c_1}},$$

$$A_{km} = \sqrt{k_m \left( \frac{2}{k_m + 1} \right)^{\frac{k_m + 1}{k_m - 1}}}.$$

Trong đó,  $0 < n < 1$  là hệ số xét đến ảnh hưởng của không khí trong buồng đốt,  $m$  là hệ số suy biến của hình dạng thuốc đen. Giá trị  $m$  giới hạn trong khoảng  $0 < m < 3$ , giá trị  $m$  lớn đặc trưng cho thuốc đen hình cầu. Hệ số truyền nhiệt  $\alpha_m$  đối với thành cách nhiệt có thể lấy  $\alpha_m = 0,13 \text{ kJ.m/(s.K.kg)}$  và đối với thành thép  $\alpha_m = 0,42 \text{ kJ.m/(s.K.kg)}$ . Hệ số  $\psi$ , đặc trưng cho tỷ số nhiệt độ thành buồng đốt và sản phẩm cháy, lấy trong khoảng  $0,5 \div 0,7$ .

Bề mặt của không gian trước loa phụt  $F_{tlp}$ , bao gồm cả phần côn của loa phụt, có thể xác định từ biểu thức  $F_{tlp} \approx 2,5 \cdot \pi \cdot D_k^2 / 4$  [5], trong đó  $D_k$  là đường kính trong của buồng đốt. Đối với thuốc đen, ta có:  $\rho_m = 1750 \text{ kg/m}^3$ ;  $Q_m = 3,06 \text{ MJ/kg}$ ;  $k_m \approx 1,1$ ; tốc độ cháy trung bình của thuốc đen  $u_m \approx 0,07 \text{ m/s}$ ; hằng số khí  $R_m = 250 \text{ J/(kg.K)}$ . Có thể lấy hệ số suy biến của hình dạng thuốc đen  $m = 2$ .

Ví dụ tính toán khối lượng thuốc môi loại ДПИ-2 cho động cơ thí nghiệm có các thông số: Áp suất làm việc  $p_k \approx 9,0 \text{ MPa}$ ; đường kính trong của buồng đốt  $D_k = 0,04 \text{ m}$ ; Đường kính tiết diện tới hạn của loa phụt  $d_{th} = 0,008 \text{ m}$ ; Thuốc phóng RSI-12M hình trụ một lỗ, đường kính ngoài và trong là  $d_{ng} = 0,035 \text{ m}$ ,  $d_{tr} = 0,014 \text{ m}$ , chiều dài thổi thuốc  $L_{th} = 0,12 \text{ m}$ ; thể tích tự do ban đầu của buồng đốt  $W_{k0} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  [2].

Xác định thời gian cháy của thuốc đen ДПИ-2 có bề dày cháy  $e_m \approx 0,002 \text{ m}$ :

$$t_m = \frac{e_m}{u_m} = \frac{0,002}{0,07} = 0,028 \text{ s.}$$



Bề mặt của không gian trước loa phụt:

$$F_{típ} = 2,5 \frac{D_k^2}{4} = 2,5 \frac{0,04^2}{4} = 0,001$$

Từ (2), áp suất mà thiết bị môi cần đảm bảo:  $p_m = 0,4.p_k = 0,4.9,0 = 3,6$  MPa.

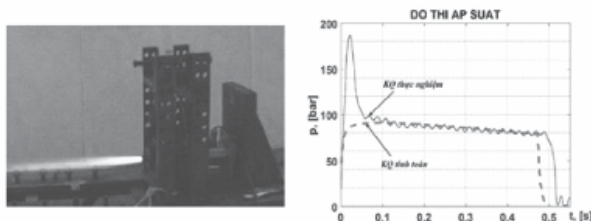
Thay các thông số của thuốc môi ДПП-2 vào công thức (3), tìm được giá trị các hệ số như sau:  $A_{km} = 0,628$ ;  $c = 0,306.106$  J/kg.

Bỏ qua ảnh hưởng của không khí đến quá trình môi cháy ( $n = 0$ ), ta có:

$$c_1 = 7,3.10^{-14}; c_2 = 2,55.10^{-7}; \\ c_{21} = -5,8.10^{-5}; c_3 = 0,816.10^{-6}; y_1 = 2,4828.10^9; \\ y_2 = -1,6883.10^9; y_{max} = 2,0456.10^9.$$

Thay các hệ số vừa tìm được vào (2), thu được: Thời gian đạt áp suất lớn nhất của khí thuốc môi:  $t_m^{max} = 6,78.10^{-3}$  (s); bề mặt cháy ban đầu cần thiết của thuốc môi:  $S_m = 2,85.10^{-3}$  m<sup>2</sup>;  $m_m^{ct} = 4,31.10^{-3}$  kg;  $m_m = 4,53.10^{-3}$  kg.

Kết quả thử nghiệm động cơ với các thông số như ví dụ tính toán cho thấy: Với khối lượng thuốc môi  $4,5.10^{-3}$  kg, động cơ môi cháy tin cậy, làm việc ổn định, các đặc trưng của quá trình làm việc, hình ảnh làm việc của động cơ thể hiện trên Hình 2 [2].



Hình 2. Động cơ trên giá thử và quy luật thay đổi áp suất trong buồng đốt

## 3. KẾT LUẬN

Phương pháp được giới thiệu ở trên có thể sử dụng để tính toán khối lượng thuốc môi cho các động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, phục vụ cho các giai đoạn thử nghiệm động cơ.

Nội dung của phương pháp cho phép đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến đặc trưng của giai đoạn môi cháy như thời gian cháy của thuốc môi, thời gian khí thuốc môi đạt áp suất lớn nhất,... ♦

Ngày nhận bài: **12/10/2023**

Ngày phản biện: **20/12/2023**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Thiện Hân, Mai Quang Huy, Nguyễn Hải Minh, Nguyễn Quang Tuấn; *Động cơ tên lửa nhiên liệu rắn*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2012.
- [2]. Nguyễn Thế Dũng, Báo cáo tổng kết đề tài “*Nghiên cứu, tính toán, thiết kế và chế tạo mẫu động cơ tên lửa nhiên liệu rắn lớp lực đẩy nhỏ đa mục đích*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2021.
- [3]. А.М. Вилицкий Ракетные двигатели на твердом топливе, Машиностроение, Москва, 1973.
- [4]. И.О. Толкачев, М.А. Максимов, И.Е. Никитина, Исследование и расчет РДТТ, Ч.1, Исследование и расчет автономного горения воспламенителя, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2011.
- [5]. Б. В. Орлов, Г. Ю. Мазинг, Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе, Машиностроение, Москва, 1979.
- [6]. MIL-STD-1901, Munition Rocket And Missile Motor Ignition System Design, Safety Criteria For.

# XÁC ĐỊNH PHƯƠNG ÁN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO CỠ NHỎ CHO HỘ GIA ĐÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÍCH HỢP RA QUYẾT ĐỊNH ĐA TIÊU CHÍ

DETERMINING SMALL-SCALE RENEWABLE ENERGY SOLUTIONS FOR  
HOUSEHOLDS USING INTEGRATED MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING

Nguyễn Văn Thành<sup>1</sup>, Nguyễn Hồng Nhung<sup>2</sup>, Thái Hoàng Tuyết Nhi<sup>1</sup>,  
Nguyễn Viết Tịnh<sup>1</sup>, Tống Chí Thông<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Thương mại, Trường Đại học Văn Lang

<sup>2</sup>Viện Quốc tế, Trường Đại học Kinh tế Thành Phố Hồ Chí Minh

## TÓM TẮT

Tình hình năng lượng hiện nay đang đối mặt với nhiều thách thức, đặc biệt là trong việc cung cấp năng lượng cho hộ gia đình. Sự phát triển không đồng đều, sự gia tăng về tiêu thụ năng lượng, và tác động tiêu cực đến môi trường là những vấn đề cấp bách đòi hỏi sự chuyển đổi sang nguồn năng lượng tái tạo. Việc này không chỉ giúp giảm áp lực lên nguồn năng lượng truyền thống mà còn tạo ra lợi ích môi trường và tài chính. Qua đó, nghiên cứu này tập trung vào phát triển một phương pháp tích hợp ra quyết định đa tiêu chí để giúp hộ gia đình chọn lựa phương án năng lượng tái tạo phù hợp nhất. Nghiên cứu nhấn mạnh sự quan trọng của tính toàn diện trong quyết định, bao gồm cả khía cạnh kỹ thuật, tài chính, môi trường và ý kiến của cộng đồng. Điều này giúp đảm bảo rằng giải pháp năng lượng tái tạo được chọn lựa không chỉ đáp ứng nhu cầu cụ thể mà còn đóng góp tích cực vào bối cảnh năng lượng bền vững toàn cầu.

**Từ khóa:** Solar panel; Fuzzy AHP; TOPSIS; Energy.

## ABSTRACT

The current energy landscape is facing various challenges, particularly in supplying energy to households. Uneven development, increasing energy consumption, and adverse environmental impacts are urgent issues that demand a transition to renewable energy sources. This shift not only alleviates pressure on traditional energy sources but also yields environmental and financial benefits. This study aims to develop an integrated multi-criteria decision-making method to assist households in selecting the most suitable renewable energy solution. The research emphasizes the importance of a comprehensive approach to decision-making, incorporating technical, financial, environmental aspects, and community opinions. This ensures that the chosen renewable energy solution not only meets specific needs but also positively contributes to the global context of sustainable energy.

**Keywords:** Solar panel; Fuzzy AHP; TOPSIS; Energy.



## 1. GIỚI THIỆU

Việt Nam đã tiến hành nhiều nghiên cứu về năng lượng tái tạo, tập trung chủ yếu vào quy mô công nghiệp và lưới điện quốc gia. Tuy nhiên, nghiên cứu về năng lượng tái tạo quy mô hộ gia đình vẫn còn hạn chế và thiếu sự tích hợp giữa các tiêu chí quan trọng như hiệu suất, chi phí, và tác động môi trường [1, 2]. Còn đối với các nước phát triển, đã có nhiều nghiên cứu về phương án năng lượng tái tạo cỡ nhỏ cho hộ gia đình. Các công trình nghiên cứu tập trung vào việc phát triển các hệ thống tích hợp sử dụng nhiều nguồn năng lượng tái tạo khác nhau như năng lượng mặt trời, gió, thủy điện, và pin năng lượng. Một số nghiên cứu đã đạt được những kết quả khả thi về việc tích hợp nhiều nguồn năng lượng tái tạo trong hộ gia đình. Điều này đã giúp tăng hiệu suất sử dụng năng lượng và giảm chi phí [3]. Các hệ thống điều khiển thông minh đã được phát triển để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng từ các nguồn khác nhau, đáp ứng nhu cầu năng lượng của hộ gia đình một cách hiệu quả [4].

Tuy nhiên, để có thể đưa ra lựa chọn đầu tư và sử dụng năng lượng tái tạo quy mô hộ gia đình vẫn còn những hạn chế như: Chi phí đầu tư ban đầu để cài đặt các hệ thống năng lượng tái tạo cỡ nhỏ vẫn cao, khiến cho hộ gia đình còn e ngại, thiếu kiến thức và kỹ năng về lĩnh vực năng lượng tái tạo trong cộng đồng là một vấn đề. Người dân cần được phổ cập kiến thức và hỗ trợ để hiểu rõ về lợi ích và cách sử dụng các hệ thống này. Mục đích nghiên cứu của đề tài là nghiên cứu và phân tích các phương án tích hợp năng lượng tái tạo cỡ nhỏ dựa trên các tiêu chí quan trọng như hiệu suất, chi phí, và tác động môi trường bằng cách phát triển mô hình tích hợp và công cụ hỗ trợ quyết định đa tiêu chí để giúp người dân lựa chọn phương án phù hợp nhất cho hộ gia đình của họ. Điều này

có tiềm năng giúp giảm tải lưới điện quốc gia, bảo vệ môi trường, và cải thiện chất lượng cuộc sống của người dân.

## 2. LƯỢC KHẢO TÀI LIỆU

Các mô hình MCDM đã được áp dụng rộng rãi để hỗ trợ những người ra quyết định giải quyết các vấn đề ra quyết định trong nhiều ngành, chẳng hạn như đánh giá và lựa chọn nhà cung cấp [5 – 8], phát triển dự án năng lượng tái tạo [9, 10]. Nhiều nghiên cứu trong số này kết hợp lý thuyết tập hợp mờ vào các phương pháp MCDM để tạo ra các mô hình MCDM mờ cho phép các mô hình này thực hiện trong quá trình ra quyết định không chắc chắn [11-13].

Chia-Nan Wang và cộng sự [14] đã sử dụng kỹ thuật SF-AHP và WASPAS để xếp hạng các địa điểm xây dựng nhà máy điện gió ngoài khơi tại Việt Nam. Kết quả phân tích độ nhạy và phân tích so sánh cho thấy khung quyết định là thực tế và có khả năng phục hồi. Các tiêu chí và kỹ thuật đánh giá được đề xuất trong bài viết này có thể đóng vai trò là nền tảng lý thuyết cho những tiến bộ trong năng lượng gió ngoài khơi và phát triển ven biển. Yasir Ahmed Solangi và cộng sự [15] đã sử dụng phương pháp AHP để đánh giá và ưu tiên các rào cản và rào cản phụ về năng lượng tái tạo. Phương pháp F-TOPSIS sau đó được sử dụng để đánh giá các lựa chọn cho việc áp dụng lâu dài công nghệ năng lượng tái tạo. Kết quả tiếp cận AHP cho thấy những rào cản quan trọng nhất đối với việc triển khai công nghệ năng lượng tái tạo là "Kinh tế & Tài chính", "Chính trị & Chính sách" và "Thị trường". Sonal Sindhu và cộng sự [16] đã kết hợp hai phương pháp Đánh giá Đa tiêu chí (MCE): AHP và F-TOPSIS. Theo nghiên cứu, địa điểm tốt nhất để lắp đặt năng lượng mặt trời là Rohtak, tiếp theo là Chandigarh, Gurgaon và Hisar ở bang Haryana của Ấn Độ. Mục tiêu của



cuộc điều tra là đề xuất một khung hỗ trợ quyết định hiệu quả, hiệu quả và có hệ thống mà các nhà hoạch định chính sách ở Ấn Độ có thể sử dụng để đánh giá lựa chọn địa điểm trang trại năng lượng mặt trời có thể chấp nhận được.

### 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 3.1. Mô hình phân tích thứ bậc mờ - Fuzzy Analytic Hierarchy Process model (FAHP)

Bước 1: Hình thành ma trận so sánh cặp.

$$\widetilde{K}^k = \begin{bmatrix} \widetilde{k}_{11}^J & \widetilde{k}_{12}^J & \dots & \widetilde{k}_{1n}^J \\ \widetilde{k}_{21}^J & \widetilde{k}_{22}^J & \dots & \widetilde{k}_{2n}^J \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widetilde{k}_{n1}^J & \widetilde{k}_{n2}^J & \dots & \widetilde{k}_{nn}^J \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

$\widetilde{K}^J$  là ma trận so sánh cặp của số mờ;

$\widetilde{K}_{nn}^J$  là giá trị trung bình của số mờ hình tam giác khi so sánh cặp ưu tiên giữa các phần tử.

$$I_{\alpha,\beta}(\bar{\alpha}_{ij}) = [\beta \cdot f_{\alpha}(L_{ij}) + (1-\beta) \cdot f_{\alpha}(U_{ij})]; \quad 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2)$$

Trong đó:

$$f_{\alpha}(L_{ij}) = (M_{ij} - L_{ij}) \cdot \alpha + L_{ij} \quad (3)$$

$$f_{\alpha}(U_{ij}) = U_{ij} - (U_{ij} - M_{ij}) \cdot \alpha \quad (4)$$

Đối xứng qua đường chéo trong ma trận, ta có:

$$I_{\alpha,\beta}(\bar{\alpha}_{ij}) = \frac{1}{I_{\alpha,\beta}(\bar{\alpha}_{ji})};$$

$$0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1, i > j \quad (5)$$

Thành lập ma trận số thực như sau:

$$Q = (q_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & 1 & \dots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bước 2: Tính toán giá trị riêng lớn nhất.

$$|Q - \lambda_{\max} \cdot I| = 0. \quad (7)$$

Trong đó:

$\lambda_{\max}$  là giá trị riêng lớn nhất của ma trận. Q là ma trận so sánh cặp giữa các tiêu

chí.

I là ma trận cùng cấp với ma trận Q.

- Bước 4: Kiểm tra lại ma trận.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Kết quả của  $CR \leq 0,1$  thì đạt yêu cầu, ngược lại nếu  $CR \geq 0,1$  thì ta phải tiến hành đánh giá từ đầu.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - a}{a - 1} \quad (9)$$

Trong đó:  $\lambda_{\max}$  là giá trị riêng lớn nhất của ma trận; a là số tiêu chí.

#### 3.2. Phương pháp TOPSIS

Để thực hiện phương pháp TOPSIS, bao gồm 4 bước như sau:

- Bước 1: Hình thành ma trận đánh giá với i lựa chọn và j tiêu chí, ma trận  $[x_{mn}]_{ij}$ .

- Bước 2: Chuẩn hóa ma trận  $[x_{mn}]_{ij}$  để tạo ra ma trận  $Z = (r_{mn})_{ij}$ .

$$s_{mn} = \frac{x_{mn}}{\sqrt{\sum_{m=1}^i x_{mn}^2}}, m = 1, 2, \dots, i; n = 1, 2, \dots, j \quad (10)$$

- Bước 3: Nhân ma trận với trọng số.

$$t_{ij} = s_{ij} \cdot w_j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Trong đó:  $w_j = [0,1]$  và  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ .

- Bước 4: Xác định phương án tích cực và giải pháp lý tưởng tiêu cực.

$$PIS^+ = (t_1^+, t_2^+, \dots, t_n^+) \text{ với}$$

$$t_j^+ = \{ \langle \max(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J'), \min(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J'') \rangle \} \quad (12)$$

$$NIS^- = (t_1^-, t_2^-, \dots, t_n^-) \text{ với}$$

$$t_j^- = \{ \langle \min(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J'), \max(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J'') \rangle \} \quad (13)$$

Trong đó:  $J'$  là tiêu chí lợi ích và  $J''$  là tiêu chí chi phí.

- Bước 5: Tính toán khoảng cách của mỗi lựa chọn so với PIS và NIS.

$$t_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ij} - t_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$t_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ij} - t_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

- Bước 6: Xếp hạng cuối cùng.

$$RANKING_i = \frac{t_j^-}{(t_j^- + t_j^+)} i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

#### 4. KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT

Trước hết, mô hình này xác định rõ các tiêu chí quan trọng như hiệu suất năng lượng, chi phí đầu tư ban đầu, chi phí vận hành, và tác động môi trường. Mỗi tiêu chí được gán trọng số tương ứng dựa trên ưu tiên và quan trọng của nó đối với hộ gia đình cụ thể.

Quá trình ra quyết định đa tiêu chí này sử dụng các phương pháp phân tích so sánh để đánh giá các phương án năng lượng tái tạo. Các phương pháp này bao gồm phương pháp phân tích thứ bậc mờ (FAHP). Phương pháp đều mang lại cái nhìn tổng quan và chi tiết về hiệu suất của từng phương án dựa trên các tiêu chí quan trọng.

Mô hình còn tích hợp ý kiến và đánh giá của các chuyên gia năng lượng, nhằm tối ưu hóa sự chắc chắn và tính khả thi của quyết định. Sự tham gia của cộng đồng và ý kiến của người sử dụng cũng được tính đến để đảm bảo sự chấp nhận và hỗ trợ tốt nhất từ phía cộng đồng sử dụng. Kết quả xếp hạng nhà cung cấp cuối cùng như sau:

Bảng 1. Kết quả từ TOPSIS

Nhà cung cấp	tj+	tj-	RANKING <sub>i</sub>	Xếp hạng
Nhà cung cấp 1	0.1095	0.1737	0.613	2
Nhà cung cấp 2	0.1229	0.1651	0.573	3
Nhà cung cấp 3	0.0815	0.1977	0.708	1
Nhà cung cấp 4	0.1625	0.1647	0.503	4
Nhà cung cấp 5	0.1703	0.1269	0.427	5

Kết quả cho thấy, nhà cung cấp 3 là tối ưu nhất cung cấp năng lượng tái tạo cỡ hộ gia đình. Ngoài ra, nhà cung cấp 1 và 2 cũng khả thi trong sự lựa chọn tiếp theo. Kết quả cuối cùng của mô hình này không chỉ là việc xác định phương án năng lượng tái tạo tốt nhất cho hộ gia đình, mà còn là quá trình đưa ra quyết định mở và minh bạch, giúp tối ưu hóa các lợi ích đa dạng của các yếu tố quan trọng và đáp ứng đầy đủ nhu cầu của cộng đồng sử dụng.

## 5. KẾT LUẬN

Xác định phương án năng lượng tái tạo cỡ nhỏ cho hộ gia đình bằng phương pháp tích hợp ra quyết định đa tiêu chí, mô hình này không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu suất năng lượng, mà còn đảm bảo tính khả thi tài chính, thân thiện với môi trường và đáp ứng nhu cầu cụ thể của hộ gia đình.

Quá trình xác định các tiêu chí và gán trọng số cho chúng đã tạo ra một cơ sở lý luận cân nhắc cẩn thận, đồng thời giúp tập trung vào những khía cạnh quan trọng nhất của quyết định. Sự tích hợp của các phương pháp phân tích so sánh như phân tích tương đối, FAHP và TOPSIS cung cấp cái nhìn đa chiều về các phương án, giúp quyết định được thông suốt và đúng đắn.

Không chỉ dựa vào số liệu và thông tin kỹ thuật, mô hình còn đặt ra ý kiến và đánh giá của cộng đồng và chuyên gia năng lượng, tạo ra quyết định có tính tham gia và hỗ trợ cộng đồng. Điều này đảm bảo rằng phương án năng lượng tái tạo được chọn lựa không chỉ là tối ưu về mặt kỹ thuật mà còn phản ánh các giá trị và mong muốn của cộng đồng sử dụng.

Trong bối cảnh ngày càng tăng cường về ý thức môi trường, mô hình này không

chỉ là một công cụ quyết định mà còn là một phương tiện thúc đẩy sự bền vững và sử dụng năng lượng hiệu quả trong cộng đồng hộ gia đình. Đó là một đóng góp quan trọng trong việc hướng dẫn sự chuyển đổi từ nguồn năng lượng truyền thống sang năng lượng tái tạo trong việc đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng cao của cộng đồng và bảo vệ môi trường.

## Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Văn Lang đã hỗ trợ để thực hiện nghiên cứu này. Các vấn đề liên quan đến nội dung bài báo, độc giả có thể liên hệ qua TS. Nguyễn Văn Thành, thông qua email thanh.nguyenvan@vlu.edu.vn. ❖

Ngày nhận bài: 05/11/2023

Ngày phản biện: 27/12/2023

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. L. T. Liem and P. N. Nhân; “*Các yếu tố ảnh hưởng đến việc ứng dụng mô hình điện năng lượng mặt trời trên mái nhà của hộ gia đình tại Cà Mau*”. Can Tho University Journal of Science, vol. 56(2), p. 161, 2020. doi:10.22144/ctu.jvn.2020.043.
- [2]. H. T. Hanh; “*Biến đổi khí hậu và phát triển ngành năng lượng tái tạo ở Việt Nam*”, 2022. doi:10.31219/osf.io/4cf79.
- [3]. J. Jurasz, J. Mikulik, M. Krzywda, B. Ciapała, and M. Janowski, “*Integrating a wind- and solar-powered hybrid to the power system by coupling it with a hydroelectric power station with pumping installation*”. Energy, vol. 144, pp. 549–563, 2018. doi:10.1016/j.energy.2017.12.011.
- [4]. Q. Lu, S. Lü, Y. Leng, and Z. Zhang, “*Optimal Household Energy Management based on smart residential energy hub considering uncertain behaviors*”. Energy, vol. 195, p. 117052, 2020. doi:10.1016/j.energy.2020.117052.



- [5]. K. Atanassov, "Intuitionistic fuzzy sets", Fuzzy Sets and Systems, vol. 20, no. 1, pp. 87-96, 1986.
- [6]. V. Torra, "Hesitant fuzzy sets", International Journal of Intelligent Systems, vol.25, no. 6, pp. 529-539, 2010.
- [7]. R. Yager, "Properties and Applications of Pythagorean Fuzzy Sets", Imprecision and Uncertainty in Information Representation and Processing, pp. 119-136, 2015.
- [8]. F. Smarandache, "Neutrosophic set - a generalization of the intuitionistic fuzzy set", 2006 IEEE International Conference on Granular Computing.
- [9]. K. Govindan, M. Shankar and D. Kannan, "Supplier selection based on corporate social responsibility practices". International Journal of Production Economics, vol. 200, pp. 353-379, 2018.
- [10]. P. Kieu, V. Nguyen, V. Nguyen and T. Ho, "A Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) Algorithm in Distribution Center Location Selection: A Case Study in Agricultural Supply Chain". Axioms, vol. 10, no. 2, p. 53, 2021.
- [11]. A. Karaşan, İ. Kaya and M. Erdoğan, "Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey". Neural Computing and Applications, vol. 32, no. 9, pp. 4553-4574, 2018.
- [12]. C. Wang, V. Nguyen, J. Kao, C. Chen and V. Nguyen, "Multi-criteria decision-making methods in fuzzy decision problems: a case study in the frozen shrimp industry". Symmetry, vol. 13, no. 3, p. 370, 2021.
- [13]. F. Chien, C. Wang, V. Nguyen, V. Nguyen and K. Chau, "An Evaluation Model of Quantitative and Qualitative Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Hydroelectric Plant Location Selection". Energies, vol. 13, no. 11, p. 2783, 2020.
- [14]. C. Wang, H. Fu, H. Hsu, V. Thanh Nguyen, V. Tinh Nguyen et al., "A Model for Selecting a Biomass Furnace Supplier Based on Qualitative and Quantitative Factors". Computers, Materials & Continua, vol. 69, no. 2, pp. 2339-2353, 2021.
- [15]. Y. Solangi, C. Longsheng and S. Shah, "Assessing and overcoming the renewable energy barriers for sustainable development in Pakistan: An integrated AHP and fuzzy TOPSIS approach". Renewable Energy, vol. 173, pp. 209-222, 2021.
- [16]. S. Sindhu, V. Nehra and S. Luthra, "Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India". Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 73, pp. 496-511, 2017.

# NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC SÚNG PHÓNG LỰU LIÊN THANH SPL-30

## COMPUTATIONAL STUDY ON THE DYNAMICS OF THE SPL-30 ROUND LAUNCH GRENADE

ThS. **Kiều Duy Thanh**, ThS. **Mai Văn An**, ThS. **Tạ Bá Dũng**  
Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

### TÓM TẮT

*Súng phóng lựu liên thanh SPL-30 được thiết kế theo nguyên lý khóa nòng tự do phát hỏa sớm. Đầu khóa nòng được thiết kế thực hiện chức năng tổng, rút đạn (vỏ đạn). Hạt lửa của viên đạn được phát hỏa trước khi viên đạn nằm hoàn toàn trong buồng đạn một khoảng cách nhất định, khi búa va vào vấu phát hỏa trên hộp súng. Xung lượng tiến về phía trước của khóa nòng sẽ triệt tiêu đi một phần lực ban đầu đặt vào nó do khí thuốc tác dụng lên đáy vỏ đạn và như vậy giảm được trọng lượng của khóa nòng và các cơ cấu hấp thụ năng lượng lùi của phát bắn. Bài báo trình bày các bước thành lập hệ phương trình tính toán động lực học cho hệ vũ khí hoạt động theo nguyên lý khóa nòng tự do phát hỏa sớm nói chung, từ đó áp dụng cho súng phóng lựu liên thanh SPL-30.*

**Từ khóa:** Súng phóng lựu liên thanh; Động lực học; Khóa nòng tự do phát hỏa sớm.

### ABSTRACT

*The SPL-30 machine gun grenade launcher is designed according to the principle of free breech and early fire. The breech head is designed to perform the function of ejecting and withdrawing bullets (shell casings). The bullet's fire particles are ignited before the bullet is completely inside the chamber a certain distance, when the hammer hits the firing lug on the gun box. The forward momentum of the breech will cancel out part of the initial force placed on it by the gas acting on the bottom of the shell and thus reduce the weight of the breech and the backward energy absorption mechanisms of the breech shot. The article presents the steps to establish a system of equations to calculate the dynamics for a weapon system operating on the principle of free breech and early fire in general, thereby applying it to the SPL-30 machine gun grenade launcher.*

**Keywords:** Automatic; Dynamic; Self-locking grenade launcher that fires early.



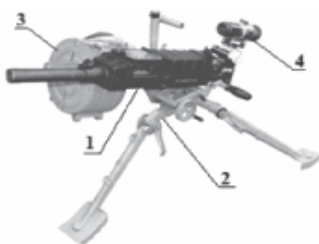


## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Súng phóng lựu liên thanh SPL-30 là loại súng trang bị cho cá nhân dùng để tiêu diệt sinh lực địch trong cự ly 2100m trở lại. Súng dùng đạn 30mm VOG-17, VOG-17M, VOG-30, GPD30. Súng hoạt động theo nguyên lý khóa nòng tự do phát hỏa sớm. Khi bắn, cụm khóa nòng là khâu cơ sở nhận năng lượng từ áp suất khí thuốc sau đáy đạn truyền chuyển động cho toàn bộ cơ cấu của súng hoạt động. Để có cơ sở khoa học cho việc xây dựng tài liệu thiết kế đảm bảo súng sau khi chế tạo luôn hoạt động tin cậy cần thiết phải xây dựng bài toán động lực học (ĐLH) để nghiên cứu ảnh hưởng của các số thông số kết cấu đến hoạt động của súng.

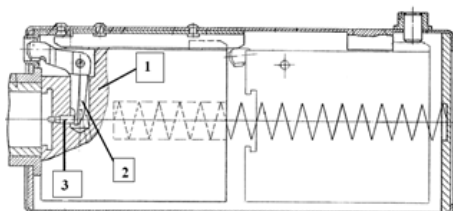
## 2. BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC MÁY TỰ ĐỘNG

### 2.1. Cấu tạo máy tự động súng phóng lựu liên thanh SPL-30



Hình 1. Cấu tạo thân súng phóng lựu liên thanh SPL-30

1 – Cụm thân súng; 2 – Cụm giá súng;  
3 – Hộp tiếp đạn; 4 – Kính ngắm



Hình 2. Cơ cấu phát hỏa của súng phóng lựu liên thanh SPL-30

1 – Khóa nòng; 2 – Búa; 3 – Kim hỏa

Súng phóng lựu liên thanh SPL-30 (hình 1) bao gồm các bộ phận chính: Cụm thân súng, cụm giá súng, Hộp tiếp đạn và Kính ngắm. Nhờ sử dụng nguyên lý phát hỏa sớm (hình 2) để giảm xung tác dụng về cả phía trước và phía sau, từ đó cho phép giảm nhẹ khối lượng các bộ phận như khóa nòng, hộp khóa nòng, giá súng và không cần sử dụng hãm lùi thủy lực. Súng nạp đạn từ dây băng ở trong hộp tiếp đạn bằng cơ cấu kéo dây băng ở trên nắp hộp khóa nòng và tổng đạn bằng cơ cấu tổng đạn trên cụm khóa nòng. Súng phát hỏa nhờ sử dụng một phần năng lượng chuyển động về phía trước của cụm khóa nòng.

Với nguyên lý này việc tính toán thời gian phát hỏa khi máy tự động hoạt động là rất quan trọng. Nó quyết định đến tất cả các kết cấu của thân súng, giá súng... từ đó ảnh hưởng đến tính năng chiến kỹ thuật của súng.

### 2.2. Bài toán động lực học máy tự động

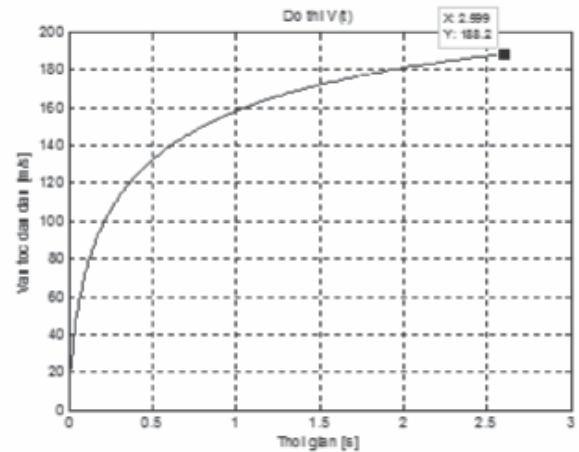
Trên cơ sở các giả thiết cơ bản, kết hợp với kết cấu thực tế của súng, hệ phương trình bài toán động lực học của súng như sau [1], [2]:

$$\begin{cases} \frac{dz}{dt} = s_1 \frac{p}{I_k} \\ \frac{d\psi}{dt} = \chi(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2) \frac{dz}{dt} \\ \frac{dv}{dt} = s_2 \frac{gpS}{\phi q} \\ \frac{dl}{dt} = s_2 \cdot v \\ \frac{dw}{dt} = \frac{1 - \alpha \delta}{\delta} \chi \omega (1 + 2\lambda z + 3\mu z^2) \frac{dz}{dt} + S \frac{dl}{dt} \\ \frac{dp}{dt} = \frac{1}{w} \left[ f \chi \omega (1 + 2\lambda z + 3\mu z^2) \frac{dz}{dt} - p \frac{dw}{dt} - \frac{\theta \phi q v}{g} \frac{dv}{dt} \right] \\ \dot{X}_{kh} = V_{kh} \\ \dot{V}_{kh} = \frac{s_3 p S - \Pi - R_v - P_b}{M_{kh}} \end{cases} \quad (1.1)$$

Trong đó:

- $z$ : Bề dày cháy thuốc phóng;
- $\psi$ : Tốc độ cháy của thuốc phóng;

- $v$ : Vận tốc đầu đạn;
- $l$ : Quãng đường đạn chạy trong nòng;
- $w$ : Thể tích buồng đốt;
- $R_v$ : Lực rút vỏ đạn;
- $M_{kh}$ : Khối lượng cụm khóa nòng;
- $p$ : Áp suất khí thuốc trong lòng nòng;
- $V_{kh}$ : Vận tốc cụm khóa nòng;
- $X_{kh}$ : Hành trình của cụm khóa nòng;
- $S$ : Diện tích đáy đạn;
- $\Pi$ : Lực lò xo đẩy về
- $P_b$ : Lực kéo dây băng;
- $s_1, s_2, s_3$ : Các biến điều khiển.

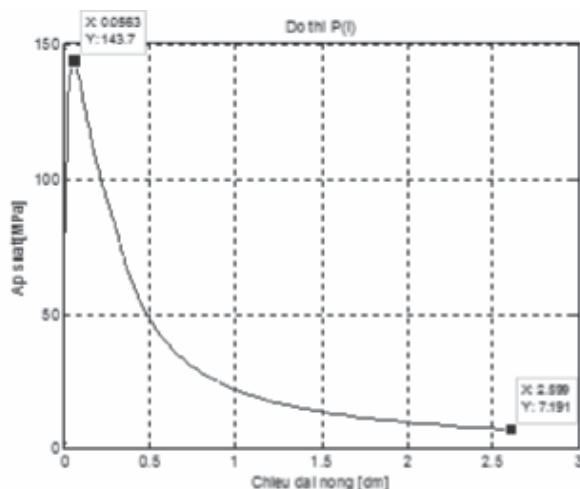


Hình 4. Đồ thị thay đổi vận tốc đầu đạn trong lòng nòng

### 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sử dụng phương pháp tích phân số trên phần mềm MATLAB 2011b giải hệ phương trình 1.1. Với các thông số đầu vào của đạn VOG-17M, thông số kết cấu của súng phóng lựu liên thanh SPL-30 và tham khảo [1], [2] thu được các kết quả như sau:

#### 3.1. Kết quả giải bài toán TPT



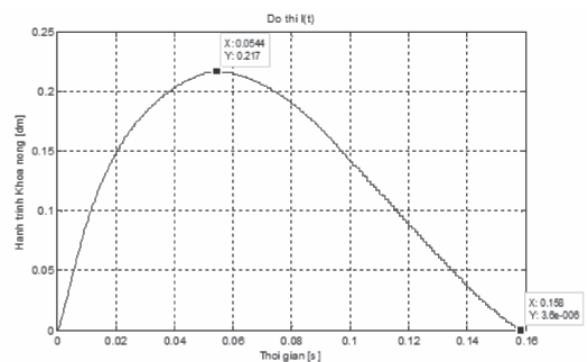
Hình 3. Đồ thị biến thiên áp suất khí thuốc trong lòng nòng

- Sơ tốc đầu đạn:  $v_0 = 188,2$  m/s;
- Áp suất lớn nhất: 143,7 MPa;
- Áp suất khí thuốc tại miệng nòng: 7,191 MPa;

#### 3.2. Kết quả bài toán động lực học máy tự động

##### a. Đồ thị hành trình của cụm khóa nòng theo thời gian.

- Khoảng dịch chuyển của cụm khóa nòng:  $l_{kn} = 217$  mm;
- Thời gian dịch chuyển:  $t_k = 0,158$ s.

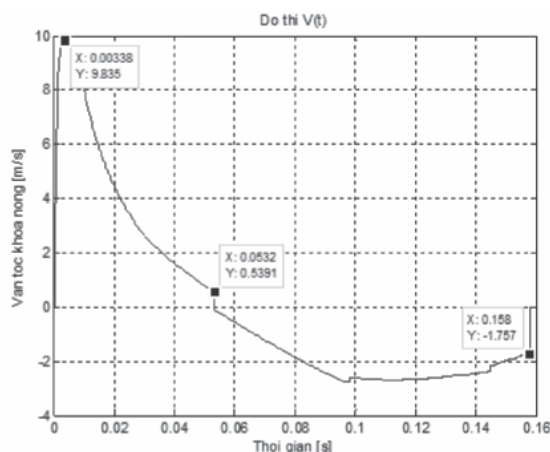


Hình 5. Đồ thị dịch chuyển cụm khóa nòng theo thời gian



## b. Đồ thị vận tốc của cụm khóa nòng theo thời gian.

- Vận tốc cực đại của cụm khóa nòng:  
 $V_{\max} = 9,835 \text{ m/s}$ ;
- Vận tốc của cụm khóa nòng lùi sau cùng:  $V_{\text{vcl}} = 0,5391 \text{ m/s}$ ;
- Vận tốc cuối của cụm khóa nòng đẩy lên:  $V_{\text{vc2}} = 1,757 \text{ m/s}$ .



Hình 6. Đồ thị vận tốc của cụm khóa nòng theo thời gian

Nhận xét kết quả tính toán:

Kết quả tính toán cho thấy các giá trị áp suất lớn nhất, khoảng dịch chuyển mở khóa nòng, vận tốc khóa nòng là hoàn toàn phù hợp. Khóa nòng không bị va chạm vào thân súng khi

lùi, đồng thời khi đẩy lên vận tốc khóa nòng đạt 1,757 m/s trước khi phát hỏa. Vận tốc này là tiền đề tạo xung tiêu hao lực phát bắn tác dụng vào khóa nòng. Như vậy, việc xây dựng các phương trình tính toán và xác định các thông số đầu vào để giải bài toán là sát với thực tế.

## 4. KẾT LUẬN

Súng phóng lựu sử dụng nguyên lý khóa nòng tự do phát hỏa sớm, nguyên lý này giúp giảm đáng kể khối lượng súng, tuy nhiên cần tính toán kỹ lưỡng để kiểm soát thời gian phát hỏa để đạt được yêu cầu đề ra. Qua các kết quả tính toán bài toán thuật phóng trong và động lực học máy tự động ở trên, ta có thể khẳng định các thông số kết cấu của súng là hợp lý. Đảm bảo thời gian phát hỏa hợp lý, đủ năng lượng cho máy tự động hoạt động tin cậy. ❖

Ngày nhận bài: 22/12/2023

Ngày phản biện: 04/01/2024

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ; *Thuật phóng trong của súng pháo*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 1976.
- [2]. Phạm Huy Chương; *Động lực học vũ khí tự động*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2002.

# ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT TỚI ĐỘ NHÁM BỀ MẶT CHI TIẾT KHI MÀI THÉP C45 ĐÃ QUA NHIỆT LUYỆN TRÊN MÁY MÀI TRÒN G20x750

EFFECT OF CUTTING MODE PARAMETERS ON DETAILED SURFACE ROUGHNESS WHEN GRINDING HEAT-TREATED C45 STEEL ON G20x750 ROUND GRINDING MACHINE

ThS. **Đậu Tấn Cường**, ThS. **Ngô Ngọc Sơn**  
Khoa Cơ khí Chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

## TÓM TẮT

*Ngày nay, các sản phẩm cơ khí yêu cầu chất lượng ngày càng cao. Để nâng cao chất lượng sản phẩm, một mặt người ta sử dụng ngày càng nhiều các loại vật liệu có cơ lý tính tốt, mặt khác nâng cao độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt. Mài là phương pháp gia công đáp ứng được các yêu cầu đó nên nó đã, đang và sẽ tiếp tục được nghiên cứu và hoàn thiện.*

*Do đó, việc nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến chất lượng bề mặt chi tiết máy khi mài thép C45 trên máy mài tròn UG20 x750 nhằm đưa ra khuyến cáo cho giảng viên, sinh viên thực hành trên máy có thể chọn đúng các thông số chế độ cắt phù hợp để gia công sản phẩm (bài tập của sinh viên) là vấn đề cần thiết.*

**Từ khóa:** Ảnh hưởng; Chế độ cắt; Chất lượng bề mặt; Máy mài tròn UG20x750.

## ABSTRACT

*Today, mechanical products require increasingly high quality. To improve product quality, on the one hand, people use more and more materials with good mechanical properties, and on the other hand, improve machining accuracy and surface quality. Grinding is a machining method that meets those requirements, so it has been and will continue to be researched and perfected.*

*Therefore, studying the influence of cutting mode on the surface quality of machine parts when grinding C45 steel on the UG20x750 circular grinder is to provide recommendations for lecturers and students practicing on the machine to choose the correct parameters. The number of appropriate cutting modes to process the product (student exercise) is a necessary issue.*

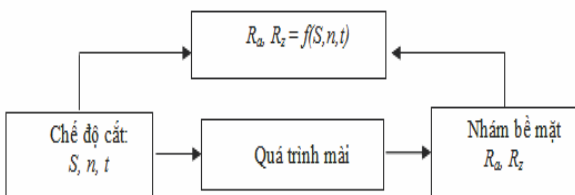
**Keywords:** Affect; Cutting mode; Surface quality; Circular grinder UG20x750.



1. MỞ ĐẦU

Trong gia công cắt gọt nói chung và gia công mài nói riêng, có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt chi tiết máy. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình cắt bao gồm: Hệ thống công nghệ, chế độ cắt, dung dịch trơn nguội, vật liệu làm dụng cụ cắt và vật liệu gia công, v.v...

Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt thể hiện trên hình 1. Trong đó, đầu vào là các thông số của quá trình mài, còn đầu ra là độ nhám bề mặt của chi tiết máy.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm tổng quát.

Thông qua điều chỉnh các thông số chế độ cắt s, v và t, ta xác định độ nhẵn của bề mặt của chi tiết gia công tương ứng với mỗi trị số s, v và t khác nhau, từ đó tìm ra mối liên hệ giữa s, v và t tới độ nhẵn của bề mặt chi tiết gia công.

2. CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VÀ QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM

2.1. Các thông số công nghệ cơ bản của hệ thống thí nghiệm

➤ Máy:

Máy tiện được sử dụng trong các thí nghiệm cắt là máy mài UG20 x750. Các thông số cơ bản của máy trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của máy mài UG20 x750.

Chiều dài tối đa của phôi	Ngoài 750mm
	Trong 100mm
Trọng lượng tối đa của phôi	100kg
Đường kính lớn nhất có thể mài	Φ200mm
Chiều cao tâm	135mm
Khoảng cách tâm	750mm
Tốc độ trục bánh mài	1670v/p
Kích cỡ bánh mài ngoài	Φ400x50x203mm
Kích cỡ bánh mài trong	Φ30x25x10mm
Công suất động cơ đầu mài ngoài	4 Kw
Công suất động cơ đầu gia công	0,75 Kw
Công suất động cơ đầu mài trong	1,1 Kw
Công suất động cơ bơm thủy lực	0,75 Kw
Công suất động cơ làm mát	0,125 Kw

➤ Đá mài:

Đá sử dụng thí nghiệm là đá mài Hải Dương có ký hiệu sau:

Cn46TB<sub>1</sub>400x50x203.45 m/s.

➤

Dụng cụ sửa đá:

Sửa đá bằng đá kim cương loại 7 hạt có ký hiệu sau: 88-C6-8960.

Chế độ sửa đá:  $S_{sd} = 1 \text{ m/p}$ ;  
 $t_{sd} = 0,01 \text{ mm/htđ}$ .



➤ Phương pháp mài:

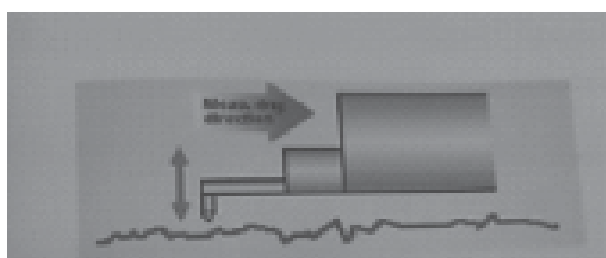
Mài có tâm chạy dao dọc. Với chế độ cắt:  $V_d = 35 \text{ m/s}$ ;  $n_{ct} = 160 \div 240 \text{ v/ph}$ ;  $S_d = 0,45 \div 0,75 \text{ m/p}$ ;  $t = 0,005 \div 0,01 \text{ mm}$  [4].

➤ Dung dịch làm nguội:

Trong khi cắt, sử dụng dung dịch làm nguội emuxin 5% để làm nguội vùng cắt, khi cắt dung dịch được phun trực tiếp vào vùng gia công với lưu lượng 20 (L/phút).

➤ Thiết bị đo độ nhám chi tiết sau gia công:

Việc đo độ nhám của chi tiết sau gia công được thực hiện bằng máy đo độ nhám. Việc đo được thực hiện trên máy đo TR200 của hãng Time Group Inc, xuất xứ Trung Quốc, sử dụng đầu dò cơ học, chọn khoảng dò chuẩn  $L = 3 \text{ mm}$ , đường kính đầu dò  $1 \mu\text{m}$ , kết quả đo lấy theo tiêu chuẩn ISO. Hình ảnh máy và hình ảnh quá trình đo được mô phỏng trên hình 2 của phòng thí nghiệm đo lường Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.



Hình 2. Đầu đo thực hiện đo độ nhám.

## 2.2. Tiến trình thí nghiệm

Quá trình thí nghiệm được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Tại mỗi điểm thí nghiệm tiến hành sửa đá với bộ thông số công nghệ sửa đá sau:  $S_{sd} = 1 \text{ m/p}$ ;  $t_{sd} = 0,01 \text{ mm/htđ}$ .

Bước 2: Tiến hành mài tròn ngoài chạy dao dọc với chế độ công nghệ mài  $V_d = 35 \text{ m/s}$ ;  $n_{ct}$ ,  $S_d$ ,  $t$  thay đổi. Trong quá trình mài tiến hành đo các thông số chất lượng bề mặt gồm  $R_a$ ,  $R_z$ .

Kết quả đo của tất cả các điểm thí nghiệm được tính toán và tổng hợp trong bảng sau:

Bảng 2. Giá trị của  $s$ ,  $n$ ,  $t$  tại các điểm thí nghiệm.

TT	S <sub>d</sub> (m/ph)	n <sub>ct</sub> (v/ph)	t (mm)	R <sub>a</sub> (μm)	R <sub>z</sub> (μm)
1	0,45	160	0,005	0,50	3,30
2	0,75			0,58	3,74
3	0,45	240		0,52	3,42
4	0,75			0,62	4,14
5	0,45	160	0,01	0,68	4,25
6	0,75			0,76	4,89
7	0,45	240		0,71	4,34
8	0,75			0,82	5,03

➤ Xây dựng ma trận quy hoạch thực nghiệm:

Các thông số đầu vào được mã hóa là:  $X_1 = S$ ,  $X_2 = V$ ,  $X_3 = t$ . Khi đó, số điểm thí nghiệm cần thiết  $N$  là:  $N = 2^n$  [3].

Trong đó,  $n$  là thông số đầu vào,  $n = 3$ , do đó  $N = 2^3 = 8$  (điểm). Từ đó, ta tiến hành thí nghiệm với kết quả sau.



Bảng 3. Ma trận thực nghiệm.

TT	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	S <sub>d</sub> (m/ph)	n <sub>ct</sub> (v/ph)	t (mm)	R <sub>a</sub> (μm)	R <sub>z</sub> (μm)
1	-1	-1	-1	0,45	160	0,005	0,50	3,30
2	1	-1	-1	0,75	160	0,005	0,58	3,74
3	-1	1	-1	0,45	240	0,005	0,52	3,42
4	1	1	-1	0,75	240	0,005	0,62	4,14
5	-1	-1	1	0,45	160	0,010	0,68	4,25
6	1	-1	1	0,75	160	0,010	0,76	4,89
7	-1	1	1	0,45	240	0,010	0,71	4,34
8	1	1	1	0,75	240	0,010	0,82	5,03

➤ Xử lý số liệu bằng phần mềm Matlab 7.9.0: C45 đã qua nhiệt luyện.

Phương trình biểu hiện mối quan hệ kết hợp giữa các thông số đầu vào và thông số đầu ra có dạng phương trình [2]:

$$R_a = A_0 \cdot S^{A_1} \cdot n^{A_2} \cdot t^{A_3} \quad (1)$$

Lấy logarit 2 vế, ta có:

$$\log R_a = \log A_0 + A_1 \cdot \log S + A_2 \cdot \log n + A_3 \cdot \log t$$

Đặt:

$$\log R_a = y; \log S = x_1; \log n = x_2; \log t = x_3; \\ \log A_0 = b_0; A_1 = b_1; A_2 = b_2; A_3 = b_3.$$

Ta có:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 \quad (2)$$

Trong phương trình (1), y, x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub> đã biết, các hệ số b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> cần được xác định. Giải phương trình theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm toàn phần dạng 2<sup>k</sup>.

Sử dụng phần mềm Matlab 7.9 giải các phương trình trên, ta được kết quả nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm khi mài tròn ngoài thép

Tóm tắt cách giải như sau:

Hàm lý thuyết có dạng:

$$\tilde{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (3)$$

Chuyển về hệ tọa độ không thứ nguyên. Giá trị của chúng được cho trong bảng sau:

Bảng 4. Các giá trị cơ sở và khoảng biến động của các thông số.

Tính chất	S <sub>d</sub> (m/ph)	n <sub>ct</sub> (v/ph)	t (mm)
Giá trị cơ sở	0,60	200	0,0075
Khoảng biến động	0,15	40	0,0025

Tính các hệ số b<sub>j</sub>, ta tìm được hàm hồi quy thực nghiệm dạng:

$$\hat{y} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1 + \hat{b}_2 x_2 + \hat{b}_3 x_3 \quad (4)$$

Tính t<sub>j</sub> để kiểm định tính có ý nghĩa của các hệ số theo chuẩn số Student.

Kiểm tra sự phù hợp của hàm hồi quy  $\hat{y}$ .

Có:  $S_{ts}^2 = 1,1897.10^{-3}$  và  $S_{du}^2 = 0,4059.10^{-4}$ .

Theo tiêu chuẩn Fisher,  $F_t = \frac{S_{du}^2}{S_{ts}^2}$ , chọn

mức  $\alpha = 0,05$ ; tra bảng tìm  $F_b$ .

Bằng cách giải tương tự với  $R_z$ , kết quả được cho trong bảng sau:

Bảng 5. Các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm.

Hệ số	$R_a (\mu m)$		$R_z (\mu m)$		$T_b$	$F_b$
$b_0$	-0,1939	$F_t = 0,0341$	0,6124	$F_t = 77,9365$	2,306	99,3
	$t = 77,00$		$t = 171,20$			
$b_1$	0,0315		0,0328			
	$t = 12,51$		$t = 9,17$			
$b_2$	0,0122	$F_t = 0,0341$	0,0101	$F_t = 77,9365$	2,306	99,3
	$t = 4,85$		$t = 2,82$			
$b_3$	0,0635	$F_t = 0,0341$	0,0518	$F_t = 77,9365$	2,306	99,3
	$t = 25,22$		$t = 14,48$			

Nhận thấy tất cả các  $t_j$  đều lớn hơn  $T_b$  nên các hệ số  $b_j$  đều có nghĩa. Các  $F_t$  đều nhỏ hơn  $F_b$  nên phương trình phù hợp.

Phương trình hồi quy thực nghiệm:

$$R_a: y = -0,1939 + 0,0315x_1 + 0,0122x_2 + 0,0635x_3;$$

$$R_z: y = 0,6124 + 0,0328x_1 + 0,0101x_2 + 0,0518x_3.$$

Sau khi đổi biến và mũ hóa nhám bề mặt có quan hệ theo dạng:

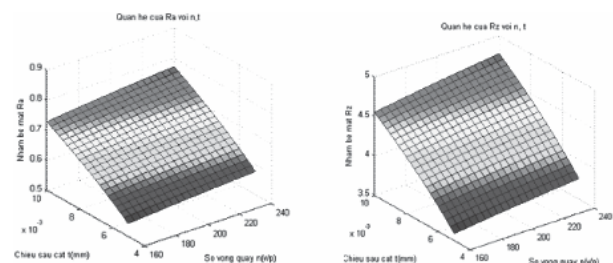
$$R_a = 2,9023.S^{0,284}.n^{0,1386}.t^{0,4219} \quad (5)$$

$$R_z = 14,4313.S^{0,2957}.n^{0,1147}.t^{0,3441} \quad (6)$$

Phương trình (5) và (6) là hàm cụ thể của quan hệ (2.11).

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa nhám bề mặt ( $R_a, R_z$ ) và chế độ cắt ( $S, n, t$ ) tại điểm cơ sở  $S = 0,6 \text{ m/p}$ ;  $n = 200 \text{ v/p}$ ;  $t = 0,0075 \text{ mm}$ .

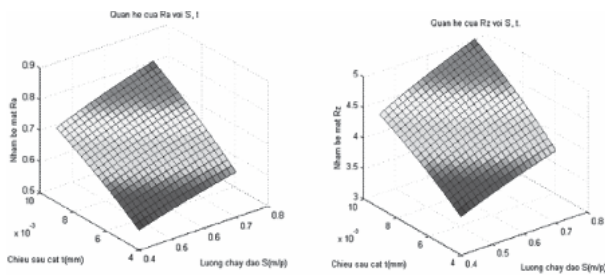
➤ Với  $S = 0,6 \text{ m/p}$ .



Hình 3. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a, R_z$  với  $n, t$  khi  $S = 0,6 \text{ m/p}$ .

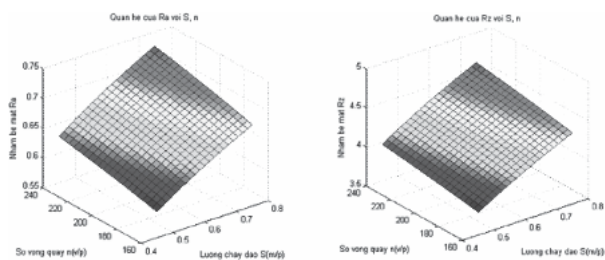


➤ Với  $n = 200$  v/p.



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a$ ,  $R_z$  với  $S$ ,  $t$  khi  $n = 200$  v/p.

➤ Với  $t = 0,0075$  mm.



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa  $R_a$ ,  $R_z$  với  $S$ ,  $n$  khi  $t = 0,0075$  mm.

## 3. KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

➤ Kết luận chung:

- Xây dựng được mối quan hệ giữa nhám bề mặt với chế độ cắt khi mài thép C45 đã qua nhiệt luyện trên máy mài tròn UG20 x

750 là:  $R_a = 2,9023.S^{0,284}.n^{0,1386}.t^{0,4219}$ ;

$$R_z = 14,4313.S^{0,2957}.n^{0,1147}.t^{0,3441}$$

- Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để điều khiển tối ưu hóa quá trình mài hay có thể áp dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tế sản xuất và làm tài liệu tham khảo cho giảng viên giảng dạy và cho sinh viên học tập tại xưởng của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.

➤ Hướng nghiên cứu tiếp theo:

Nghiên cứu ứng dụng kết quả vào thực tiễn sản xuất khi gia công các loại vật liệu khó gia công, đặc biệt là vật liệu chế tạo khuôn mẫu. ❖

Ngày nhận bài: **23/11/2023**

Ngày phản biện: **11/12/2023**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Trọng Bình, Nguyễn Thế Đạt, Trần Văn Định, Nguyễn Văn Huyền, Nguyễn Khắc Lộc, Lê Văn Tiến, Nguyễn Viết Tiếp, Đỗ Đức Túy, Trần Xuân Việt, Lê Văn Vĩnh (2002); *Công chế tạo máy*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Nguyễn Ngọc Đào, Hồ Viết Bình, Trần Thế Sang (2002); *Chế độ cắt gia công cơ khí*, NXB. Đà Nẵng.
- [3]. Trần Văn Định (2003); *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Lưu Văn Nhàn (2003); *Kỹ thuật mài kim loại*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC ĐIỀU KIỆN HÀN NỔ ĐẾN ĐỘ BỀN LIÊN KẾT NHÔM VỚI THÉP

## RESEARCH ON INFLUENCE OF EXPLOSIVE WELDING CONDITIONS ON BOND STRENGTH OF ALUMINUM – STEEL JOINT

Mai Quốc Trường<sup>1</sup>, Nguyễn Ngọc Hưng<sup>1, \*</sup>, Nguyễn Việt Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tổng Công ty Ba Son, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

<sup>2</sup>Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

### TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm ảnh hưởng của các điều kiện hàn nổ đến độ bền liên kết giữa hai lớp nhôm với thép. Độ bền liên kết giữa hai lớp vật liệu nhôm – thép sau khi hàn nổ không chỉ phụ thuộc vào giá trị năng lượng va đập dưới tác động của năng lượng nổ, mà còn phụ thuộc vào tỷ số  $h/H$  giữa chiều dày tấm kim loại hàn (nhôm ở phía trên) và tấm kim loại nền (thép ở phía dưới). Sự hình thành liên kết bền vững giữa lớp nhôm và lớp thép chỉ khi đảm bảo được năng lượng va đập  $W_2 < 1,2 \text{ MJ/m}^2$  và tỷ số  $h/H < 0,20$ .

**Từ khóa:** Hàn nổ; Composite kim loại dạng lớp; Liên kết hàn nổ; Tấm kim loại bay.

### ABSTRACT

This article investigated the influence of explosive welding conditions on bonding strength between aluminum and steel. It has been determined that the bonding strength of explosive-welded aluminum-steel joint depends not only on the energy of the metal plastic deformation, but also on the running phase of the flyer metal plate (ratio  $h/H$ ). The research results show that to obtain a high bonding strength between aluminum and steel, the energy of metal plastic deformation  $W_2 < 1.2 \text{ MJ/m}^2$  and the ratio  $h/H < 0.20$  are required.

**Keywords:** Explosive welding; Layered metal composite; Explosive-welded joint; Welding metal plate.





1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các loại vật liệu bimetal và composite kim loại đa lớp ngày càng được ứng dụng phổ biến để chế tạo các sản phẩm trong chế tạo máy, đóng tàu, năng lượng điện, khai thác và chế biến dầu khí, công nghiệp khai thác mỏ và luyện kim, công nghiệp hoá chất..., làm việc trong điều kiện ăn mòn hoá học cao, trong đó có cả sản phẩm quốc phòng. Công nghệ hàn nỏ cho phép chế tạo các loại tấm bimetal và composite kích thước lớn (tới 30-40m<sup>2</sup>), hiệu quả cao với chi phí thấp [1] ÷ [4].

Nhôm và thép là cặp kim loại khó hàn với nhau nhất, thậm chí bằng công nghệ hàn nỏ do giữa nhôm và sắt hình thành các liên kim loại giòn làm giảm độ bền liên kết hàn [6], [8], [9]. Ngoài ra, nhôm và thép có các tính chất cơ học và tính chất nhiệt rất khác nhau nên cần vận tốc va đập và tiếp xúc lớn khi hàn nỏ, nhưng khi các giá trị vận tốc này lớn, đặc biệt vận tốc tiếp xúc, sẽ dẫn đến khả năng hình thành số lượng lớn các liên kim loại giòn tại biên giới liên kết [4], [5].

Các kết quả nghiên cứu về trạng thái ứng suất trong kim loại ở điều kiện hàn nỏ thấy rằng khi kim loại nhôm là tấm kim loại bay thì

tại biên giới va đập giữa nhôm và thép luôn luôn tồn tại ứng suất kéo [1, 6]. Độ bền liên kết giữa nhôm và thép thu được sau hàn nỏ phụ thuộc vào giá trị ứng suất kéo này. Chính vì vậy cần phải lựa chọn được các điều kiện hàn nỏ (tham số động học hàn nỏ và năng lượng biến dạng dẻo kim loại) phù hợp để giảm ảnh hưởng của ứng suất kéo đến sự hình thành liên kết nhôm với thép.

Trong bài báo này đưa ra một số kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng các tham số động học và năng lượng đến độ bền liên kết giữa nhôm và thép sau hàn nỏ.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để nghiên cứu ảnh hưởng các tham số động học và năng lượng biến dạng dẻo kim loại đến độ bền liên kết giữa nhôm và thép, đã tiến hành một số thực nghiệm hàn nỏ với các tham số được đưa ra trong bảng 1. Sử dụng sơ đồ hàn nỏ dạng song song (hình 1). Tấm kim loại nền là tấm thép 09Г2С kích thước 20x150x350mm, tấm kim loại nhôm AA1050 là tấm kim loại bay có kích thước 8x210x480mm. Sử dụng hỗn hợp thuốc nỏ amôni nitrat NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + TNT với hàm lượng 6% TNT về khối lượng.

Bảng 1. Điều kiện thí nghiệm hàn nỏ nhôm với thép.

STT	Khe hàn hở h, mm	Chiều cao khối thuốc nỏ H, mm	Vận tốc tiếp xúc V <sub>c</sub> , m/s	Tỷ lệ h/H	Vận tốc va đập V <sub>p</sub> , m/s	Năng lượng biến dạng dẻo W <sub>2</sub> , MJ/m <sup>2</sup>
№1.1	3	20	1970	0,15	418	0.928
№1.2	5			0,25	446	1.058
№1.3	7			0,35	459	1,121
№2.1	3	30	2186	0,10	534	1.210
№2.2	5			0,167	584	1.741
№2.3	7			0,23	610	1.903

Các tham số động học (vận tốc va đập, vận tốc tiếp xúc) và tham số năng lượng ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất liên kết hàn nổ [1]. Giá trị vận tốc va đập  $V_p$  được xác định theo mô hình bay một chiều và tính theo công thức sau [1, 4]:

$$V_p = D \left[ 1 - \theta_h - \frac{(1 - \theta_h)^2}{2\theta_h \eta_1} \right] \quad (1.1)$$

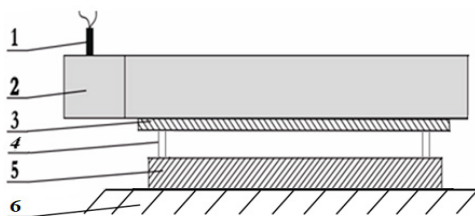
$$\theta_h = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H} \left[ 2\eta_1 + (1 + 2\eta_1) \frac{h}{H} \right]}}{1 - (1 + 2\eta_1) \frac{h}{H}} \quad (1.2)$$

$$\eta_1 = \frac{16\rho_e H}{27\rho_1 \delta_1} \quad (1.3)$$

Trong đó:  $D$ ,  $\rho_e$  – Tốc độ nổ ( $D = V_c$  đối với sơ đồ nổ dạng song song);  $h$  – Khoảng cách hàn nổ;  $H$  – Chiều cao và khối lượng riêng của thuốc nổ;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – Khối lượng riêng và chiều dày tấm kim loại bay và kim loại nền.  $C_o$  – Vận tốc âm trong kim loại.

Giá trị năng lượng biến dạng dẻo kim loại khi hàn nổ được tính theo công thức sau [1]:

$$W_2 = \frac{\rho_1 \cdot \delta_1 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2}{2(\rho_1 \cdot \delta_1 + \rho_2 \cdot \delta_2)} \cdot V_p^2 \cdot \left[ 1 - \frac{V_c^2}{C_o^2} \right] \quad (1.4)$$



Hình 1. Sơ đồ hàn nổ song song hai lớp: 1 – Kíp nổ; 2 – Khối thuốc nổ; 3 – Tấm kim loại bay; 4 – Miếng kim loại cố định khe hàn giữa hai tấm kim loại; 5 – Tấm kim loại cố định; 6 – Đế nổ

Liên kết giữa hai lớp hàn nổ nhôm – thép được thử nghiệm xác định độ bền kéo đứt và độ bền cắt trượt giữa hai lớp bởi các công thức sau [1]:

$$R = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (1.5)$$

Trong đó:  $P$  – Lực tác dụng, N;  $d$  – Đường kính trong của mẫu thử, mm;  $D$  – Đường kính ngoài của mẫu thử, mm.

Độ bền cắt đứt lớp được xác định theo công thức sau [1]:

$$\tau = \frac{P_{cat}}{a \cdot b} \quad (1.6)$$

Trong đó:  $P_{cat}$  – Lực tác dụng;  $a$  – Chiều rộng của mẫu;  $b$  – Chiều dài vùng liên kết hàn.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các kết quả thử nghiệm bền kéo đứt ( $R$ ) và kéo trượt ( $\tau$ ) giữa hai lớp liên kết hàn nổ giữa nhôm và thép cho trong bảng 2. Từ kết quả này thấy rằng khi tăng giá trị  $W_2$  từ 0,928 MJ/m<sup>2</sup> đến 1.741 MJ/m<sup>2</sup> nhưng tỷ số  $h/H$  thấp ( $h/H < 0,20$ ), độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép có giá trị cao, đạt 100 ÷ 138MPa và 62 ÷ 69MPa tương ứng.

Khi hàn nổ với giá trị của năng lượng va đập  $W_2$  thấp ( $W_2 = 1,121$  MJ/m<sup>2</sup> và tỷ số  $h/H$  cao ( $h/H = 0,35$ ), nhận được mẫu thí nghiệm số №1.3. Trong trường hợp khi  $W_2 = 1.903$  MJ/m<sup>2</sup> cao (mẫu thí nghiệm số №1.3) và tỷ số  $h/H$  thấp ( $h/H = 0,23$ ). Kết quả thực nghiệm cho thấy, độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép chỉ đạt 83 ÷ 88 MPa và 50 ÷ 51 MPa. Như vậy, độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép không những phụ thuộc vào giá trị năng lượng va đập khi hàn nổ  $W_2$  mà còn phụ thuộc vào tỷ số  $h/H$ . Để nhận được liên kết

bền giữa nhôm và thép có chất lượng tốt thì cần phải đảm bảo điều kiện hàn nỏ với  $W_2 < 1,2$  MJ/m<sup>2</sup> và tỷ số  $h/H < 0,2 \div 0,25$ . Khi đó có thể

giảm ảnh hưởng của sóng phản xạ đi đến đường liên kết hàn từ bề mặt tự do các tấm kim loại rất đáng kể.

Bảng 2. Độ bền liên kết nhôm với thép.

STT	Tỷ lệ h/H	Vận tốc va đập $V_p$ , m/s	Năng lượng va đập $W_2$ , MJ/m <sup>2</sup>	Độ bền kéo đứt lớp, R, MPa	Độ bền kéo trượt, $\tau$ , MPa
№1.1	0,15	418	0.928	138	69
№1.2	0,25	446	1.058	130	65
№1.3	0,35	459	1,121	83	50
№2.1	0,10	534	1.210	104	62
№2.2	0,167	584	1.741	100	61
№2.3	0,23	610	1.903	88	51

Kết quả chụp kim tương học đường liên kết hàn giữa nhôm và thép được đưa ra trong các hình 2 và hình 3. Nhận thấy rằng đường liên kết giữa nhôm và thép không có hình dạng sóng đặc trưng cho quá trình hàn nỏ [6], [9].

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu này đã lựa chọn điều kiện hàn nỏ ( $W_2 = 1,175$  MJ/m<sup>2</sup>,  $h/H = 0,12$ ) để chế tạo tấm vật liệu bimetal hai lớp nhôm-thép kích thước lớn đến 2200mm (hình 4).

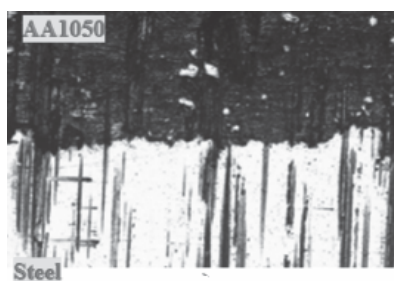
Sau khi hàn nỏ tiến hành cắt mẫu để thử nghiệm cơ tính. Vị trí lấy mẫu dọc theo chiều dài của tấm bimetal nhôm-thép, theo hướng di chuyển của mặt đầu nỏ để đánh giá sự thay đổi

tính chất cơ học của liên kết hàn theo chiều dài tấm bimetal. Kết quả kiểm tra cho thấy, độ bền kéo đứt lớp và cắt đứt lớp giữa nhôm và thép tương ứng đạt  $107 \div 142$  MPa và  $62 \div 66$  MPa (bảng 3). Khi đó, độ bền liên kết tại vị trí đầu tấm vật liệu bimetal đạt giá trị lớn nhất và giảm dần theo chiều dài tấm composite. Kết quả phân tích kim tương học liên kết hàn giữa nhôm và thép thấy rằng cấu trúc đường liên kết hàn giữa nhôm và thép không có sự thay đổi theo chiều dài tấm kim loại, đặc biệt không thấy kim loại nóng chảy và các pha liên kim loại (hình 5). Điều này được khẳng định bằng kết quả xác định độ bền kéo đứt lớp và độ bền cắt đứt lớp (bảng 3).

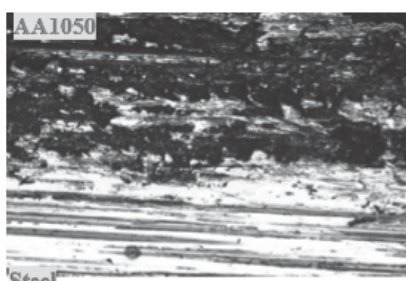
Bảng 3. Độ bền liên kết hai lớp hàn nỏ nhôm – thép theo chiều dài tấm bimetal

Tên mẫu	M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M1.5	M1.6	M1.7	M1.8	M1.9
Vị trí cắt mẫu	L= 200mm	L= 400mm	L= 600mm	L= 900mm	L= 1100mm	L= 1300mm	L= 1600mm	L= 1800mm	L= 2000mm
Độ bền kéo đứt lớp, MPa	132	142	136	118	107	112	110	117	114
Độ bền cắt đứt lớp, MPa	63	66	63	64	62	62	62	63	62

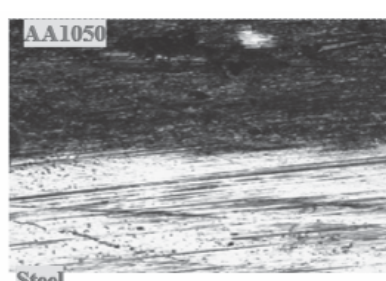




a)



b)



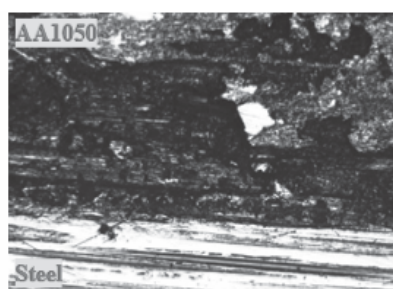
c)

Hình 2. Tổ chức tế vi (x50) đường liên kết hàn nổ nhôm-thép khi với  $H = 20$  mm:

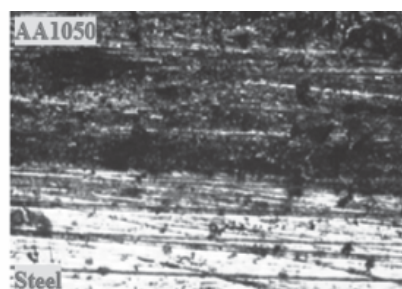
a – Khi  $h = 3$  mm; b – Khi  $h = 5$  mm; c – Khi  $h = 7$  mm.



a)



b)



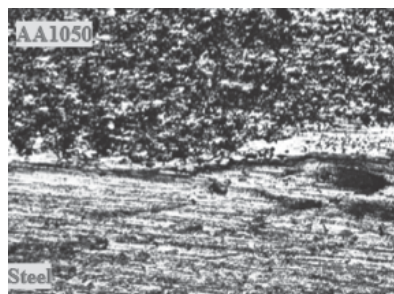
c)

Hình 3. Tổ chức tế vi (x50) đường liên kết hàn nổ nhôm-thép khi với  $H = 30$  mm: a – Khi  $h = 3$  mm;

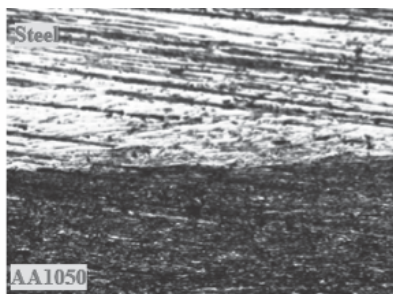
b – Khi  $h = 5$  mm; c – Khi  $h = 7$  mm.



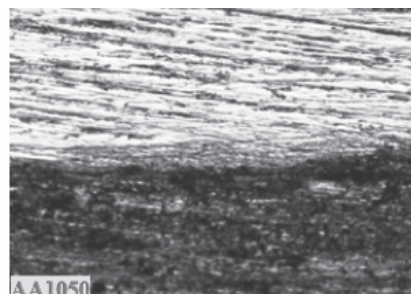
Hình 4. Hàn nổ chế tạo tấm vật liệu bimetal dạng lớp nhôm-thép kích thước lớn



a)



b)



c)

Hình 5. Tổ chức tế vi (x50) biên giới liên kết hàn nổ giữa nhôm và thép tính từ mép đầu tấm bimetal theo hướng di chuyển mặt đầu nổ: a –  $L = 200$  mm; b –  $L = 1200$  mm; c –  $L = 1800$  mm.



## 4. KẾT LUẬN

- Đã xác định được ảnh hưởng điều kiện hàn nổ gồm: Năng lượng biến va đập  $W_2$  và tỷ số chiều dày tấm kim loại hàn (tấm trên bằng nhôm – h) và tấm kim loại nền (tấm dưới bằng thép – H) có ảnh hưởng đồng thời và rất đáng kể đến độ bền liên kết giữa hai lớp sau khi hàn nổ;

- Để nhận được liên kết hàn nổ tấm vật liệu composite dạng lớp nhôm – thép kích thước lớn ứng dụng cho ngành công nghiệp đóng tàu có chất lượng tốt giữa hai lớp cần phải đảm bảo điều kiện năng lượng va đập ở mức  $W_2 < 1,2 \text{ MJ/m}^2$  và tỷ số  $h/H < 0,2 \div 0,25$ .

### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ tài chính của Văn phòng các Chương trình Khoa học và Công nghệ quốc gia và Vụ Hợp tác quốc tế, Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ Nhiệm vụ hợp tác quốc tế theo Nghị định thư, mã số NĐT.20.RU/16.❖

Ngày nhận bài: **23/11/2023**

Ngày phản biện: **11/12/2023**

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lysak, V.I., Kuzmin, S.V., 2005. *Explosive welding*. Mashinostroeniye –1, Moscow.
- [2]. Crossland B., *Explosive welding of metals and its application*, Clarendonpress, Oxford, 1982. 215 p.
- [3]. Lysak, V.I., Kuzmin, S.V., 2003. *Explosive Welding of Metal Layered Composite Materials*. E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev.
- [4]. Deribas, A.A., 1980. *Physics of Strengthening and of Explosive Welding*. Nauka, Novosibirsk.
- [5]. Dobrushin, L.D., 1979. On lower boundary in explosive welding. The Paton Welding Journal ,64–65.
- [6]. B. S. Zlobin. *Explosion welding of steel with aluminum*, Combustion, Explosion and Shock Waves, Vol. 38, No 3, (2002) 374-377.
- [7]. Robinson, J. L., 1975. *Mechanics of wave formation in impact welding*. Philosophical Magazine 31 (28): 587-597.
- [8]. V. Balasubramanian, M. Rathinasabapathi, K. Raghukandan. *Modelling of process parameters in explosive cladding of mildsteel and aluminium*. J Mater Process Technol 1997; 63(1–3):83–88.
- [9]. Acarer, B. Demir. *An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminium-dual phase steel*, Mater lett, Vol. 62, No 25 (2008) 4158-4160.



# KỸ THUẬT DỰ BÁO VÀ ỨNG DỤNG TRONG PHÂN BỐ NHÂN LỰC TRONG LĨNH VỰC SỨC KHỎE

## FORECASTING TECHNIQUES AND APPLICATIONS IN MANPOWER ALLOCATION IN THE HEALTH FIELD

Nguyễn Văn Thành<sup>1</sup>, Nguyễn Hồng Nhung<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Thuận<sup>1</sup>,  
Thái Hoàng Tuyết Nhi<sup>1</sup>, Nguyễn Việt Tịnh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Thương mại, Trường Đại học Văn Lang

<sup>2</sup>Viện Quốc tế, Trường Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Đại dịch Covid-19 đã lắng xuống nhưng sự xuất hiện của những biến thể mạnh hơn có thể khiến đại dịch bùng phát trở lại. Ngoài ra, dịch sốt xuất huyết cũng ngày càng gia tăng, gây áp lực lớn cho ngành y tế trong nước. Trước tình trạng này, tình trạng thiếu nhân lực y tế dẫn đến tỷ lệ y tá trên bệnh nhân ở mức cực kỳ thấp. Tình trạng này dẫn đến sự chậm trễ trong việc chăm sóc, chẩn đoán sai và ảnh hưởng đến sự an toàn của bệnh nhân. Để giải quyết vấn đề này, các tác giả đề xuất mô hình Trung bình trượt tích hợp tự động hồi quy (ARIMA) để hỗ trợ dự báo nhu cầu của bệnh nhân và đề xuất phân bổ số lượng y tá thích hợp cho từng phòng bệnh nhân. Mô hình này được áp dụng tại một bệnh viện Việt Nam, dựa trên các yếu tố như số lượng bệnh nhân, loại bệnh, mức độ nghiêm trọng của bệnh và hình thức chăm sóc. Mô hình này được áp dụng với các tiêu chí và chính sách được phép tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu là dự đoán số lượng bệnh nhân và phân bổ số lượng đội ngũ y tế tối ưu.

**Từ khóa:** ARIMA; Lập kế hoạch phân bổ nguồn lực; Tỷ lệ y tá trên bệnh nhân.

### ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has subsided, but the emergence of more powerful variants could flare up the pandemic again. In addition, dengue fever is also increasing, putting a great deal of pressure on the domestic health sector. Faced with this situation, there is a shortage of medical personnel, leading to a critically low nurse-to-patient ratio. This situation leads to delays in care, missed diagnoses, and compromised patient safety. To address this problem, the authors propose the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model to support forecasting patient needs and recommend allocating the appropriate number of nurses to each patient room. This model is applied at a Vietnamese hospital, based on factors such as the number of patients, type of disease, severity of disease, and type of care. This model is applied with allowed criteria and policies in Vietnam. The research result is to predict the number of patients and allocate the optimal number of medical teams.

**Keywords:** ARIMA; Planning resource allocation; Nurse-to-patient ratio.



## 1. GIỚI THIỆU

Sốt xuất huyết ở người lớn và trẻ em đang gia tăng đều đặn trong những năm gần đây, bên cạnh dịch Covid-19. Bệnh viện đã điều trị được 1.377 ca sốt xuất huyết bệnh nhân sốt, trong đó có 805 người lớn và 572 trẻ em (Duy Tính, Báo Thanh Niên, 2022). Theo số liệu từ Bệnh viện Nhi đồng 1, số trẻ em bị nhiễm sốt xuất huyết cao hơn so với năm 2020 và số bệnh nhân nhập viện điều trị dự kiến sẽ tăng lên. Với áp lực công việc cao và cường độ làm việc của nhân viên y tế, các bệnh viện và nhà quản lý phải đưa ra các giải pháp để phân bổ nguồn nhân lực công bằng, đảm bảo chất lượng dịch vụ y tế. Điều dưỡng là nguồn nhân lực quan trọng góp phần vào hoạt động hiệu quả của bệnh viện đồng thời chăm sóc, theo dõi và kiểm tra bệnh nhân để đảm bảo phân bổ hợp lý. Việc quản lý nhân viên tại các buồng dựa trên số lượng bệnh nhân là rất quan trọng và cấp bách để phân chia hợp lý khối lượng công việc cho điều dưỡng, điều dưỡng để tránh áp lực công việc hoặc làm việc quá sức (Bệnh viện Nhi đồng 1, 2022).

Tỷ lệ y tá trên bệnh nhân là một yếu tố ảnh hưởng đến kết quả sức khỏe của bệnh nhân diễn hình, chẳng hạn như khối lượng công việc mà y tá đảm nhận nhiều công việc hoặc tỷ lệ y tá trên bệnh nhân quá thấp sẽ làm tăng nguy cơ sai sót về thuốc, biến chứng, bệnh mắc phải tại bệnh viện, thời gian nằm viện kéo dài và sự an toàn của bệnh nhân hoặc thời gian làm việc của y tá. Do đó, trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất mô hình Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) để hỗ trợ các nhà quản lý trong các bệnh viện hiện tại trong việc dự đoán số lượng bệnh nhân rồi phân bổ nhân viên trên bệnh nhân để giải quyết các vấn đề chất lượng dịch vụ y tế và giảm tỷ lệ tử vong của bệnh nhân.

## 2. LƯỢC KHẢO TÀI LIỆU

Nhiều nghiên cứu hiện nay sử dụng các mô hình cho lịch trình và nhân sự bệnh viện. Nghiên cứu của Aydas đã dựa trên số lượng và nhu cầu của bệnh nhân, sử dụng lập trình số nguyên ngẫu nhiên để lập kế hoạch và phân bổ nhân viên y tá phù hợp cho đơn vị chăm sóc đặc biệt nhi khoa. Giảm chi phí, tăng sự hài lòng của bệnh nhân và nhân viên hạnh phúc hơn với khối lượng công việc tăng lên là kết quả nghiên cứu (Aydas và cộng sự, 2017). Trong đại dịch Covid-19 ở Trung Quốc, Hong-Fei Ren và cộng sự đã khảo sát các y tá trưởng và y tá trong các phòng bệnh bị cô lập của 117 bệnh viện bằng cách sử dụng lấy mẫu phân tầng, sau đó phân tích sự khác biệt về trình độ của nhân viên điều dưỡng bằng cách sử dụng bài kiểm tra của Kruskal-Wallis và đánh giá mối quan hệ giữa trình độ của nhân viên điều dưỡng và chỉ số hiệu quả bằng cách sử dụng phân tích tương quan Spearman. SPSS 16.0 được sử dụng cho tất cả các phân tích thống kê và ý nghĩa thống kê được xác định bằng cách sử dụng giá trị p là 0,05. Các phát hiện chỉ ra rằng việc phân bổ nhân viên điều dưỡng hợp lý là rất quan trọng để đảm bảo hiệu quả, chất lượng và an toàn cho bệnh nhân (Ren, et. al, 2022).

Đã có nhiều nghiên cứu diễn hình trên thế giới liên quan đến xu hướng tỷ lệ y tá trên bệnh nhân và sự kết hợp giữa y tá và nhân viên y tá (Rassin và Silner, 2007; Sharma và Rani, 2020). Hiện tại, phương pháp ARIMA tại Việt Nam vẫn được sử dụng để nghiên cứu dự báo một số đề tài kinh tế vĩ mô như: Thanh Hiền và cộng sự, 2022; Diệu Uyên và cộng sự, 2014; Quốc Dương và cộng sự, 2020. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn còn một số hạn chế.

### 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng mô hình Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) để phân tích chuỗi thời gian là những ví dụ mô hình được sử dụng để giúp dự đoán nhu cầu của bệnh nhân và cung cấp dữ liệu cho các nhà quản lý lập kế hoạch phân bổ nguồn lực hợp lý. Các bước thực hiện của mô hình ARIMA như dưới đây:

Đường cơ sở của mô hình Hồi quy tự động (AR) được hiển thị trong phương trình (1):

$$\tilde{z}_t = \phi \tilde{z}_{t-1} + \phi \tilde{z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{z}_{t-p} + a_t \quad (1)$$

Mặt khác, mô hình Trung bình trượt (MA) được thể hiện trong phương trình (2):

$$\tilde{z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} \quad (2)$$

Nếu một trong các hệ số lớn hơn 1, điều đó cho thấy dữ liệu dự đoán có thể có độ chính xác lớn do có thể xảy ra biến động. Chúng ta có thể kết hợp các mô hình này để xây dựng "Mô hình trung bình động – Tự hồi quy hỗn hợp", kết hợp các mô hình AR và MA, như được minh họa trong phương trình (3):

$$\tilde{z}_t = \phi \tilde{z}_{t-1} + \phi \tilde{z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{z}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

Các mô hình AR, MA và ARMA đơn giản hóa được thể hiện trong các phương trình (4), (5) và (6), sử dụng toán tử dịch ngược B để giảm hình thức kinh tế. Một mô hình AR đứng yên được biểu diễn bằng điểm đục phương trình (4).

$$\phi(B)\tilde{z}_t = a_t \quad (4)$$

$$\tilde{z}_t = \theta(B)a_t \quad (5)$$

$$\phi(B)\tilde{z}_t = \theta(B)a_t \quad (6)$$

Phương trình (7) biểu thị mức chênh lệch của toán tử tự hồi quy tổng quát (B).

$$(\phi(B) = \phi(B) (1-B)^d \quad (7)$$

Điều này mang lại một dạng không cố định đồng nhất thuộc loại trong phương trình (8) và dạng mở rộng trong phương trình (9):

$$\phi(B) = \phi(B)(1-B)^d \tilde{z}_t = \theta(B)a_t \quad (8)$$

$$\omega_t = \phi_1 \omega_{t-1} + \dots + \phi_1 \omega_{t-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (9)$$

Trong đó  $\omega_t$  được tính như minh họa trong phương trình (10):

$$\omega_t = (1-B)^d z_t = \nabla^d z_t \quad (10)$$

Trong đó:

t là các khoảng thời gian,  $t \in 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ;  
 $z_t$ : Nhu cầu sản phẩm tại thời điểm t;  
p: Độ trễ tạm thời của phần AR của ARIMA,  $p \in 1, 2, 3, \dots, n$ ;


q: Phần MA của ARIMA có độ trễ tạm thời,  $q \in 1, 2, 3, \dots, n$ ;

d: Sai phân xác định bằng phương trình tích phân (10),  $d \in 1, 2, 3, \dots, n$ ;

$\omega_t$ : Dữ liệu dự kiến cho giai đoạn t được tính bằng phương trình (10);

$a_t$ : Sự va chạm hoặc sai số ngẫu nhiên được tính bằng cách lấy  $z_t - \tilde{z}_t$ ;

B: Sau khi tìm thấy p phù hợp, hãy sử dụng toán tử dịch ngược để phóng to phần tự hồi quy của mô hình.

Thông tin về chuỗi thời gian ở trên có thể được tìm thấy trong sách giáo khoa do Tunnicliffe Wilson và cộng sự viết (2016). 

#### 4. KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT

Trước hết, dữ liệu được tác giả thu thập thực tế tại một bệnh viện trong 3 ca làm việc (06:00 sáng – 14:00 chiều, 14:00 chiều – 22:00 tối, 22:00 tối – 6:00 sáng hôm sau). Nghiên cứu này được tính từ ngày 28/09/2022 đến ngày 17/06/2022 với tổng số bệnh nhân ở 03 buồng là: 127609 tương ứng với 11 loại bệnh nhân. Cuối cùng sử dụng phần mềm R để phân tích số liệu và tìm ra số lượng bệnh nhân dự báo theo mô hình ARIMA phù hợp nhất.

Bảng 4.1 miêu tả ba mô hình thích hợp cho 03 buồng bệnh nhân này ARIMA(p,d,q), bao gồm buồng 1 có mô hình ARIMA(1,1,1), buồng 2 có mô hình ARIMA(1,0,3), buồng 3 có mô hình ARIMA(1,1,5).

Bảng 4.1. Kết quả mô hình ARIMA của 03 buồng

Buồng	Kết quả ARIMA
1	Series: b3ts ARIMA(1,1,1) Coefficients: ar1           ma1 0.7217      -0.7863 s.e.   0.1113    0.0995
2	Series: b5ts ARIMA(1,0,3) with non-zero mean Coefficients: ar1           ma1           ma2           ma3           mean 0.9601      -0.0069      -0.0365      0.1150     13.6331 s.e.   0.0073      0.0238      0.0245      0.0221     0.7195
3	Series: b7ts ARIMA(1,1,5) Coefficients: ar1           ma1           ma2           ma3           ma4           ma5 -0.3916      0.2326      -0.2443      0.1836      -0.0509     -0.3077 s.e.   0.0581      0.0569      0.0237      0.0254      0.0329     0.0244

Sau khi thực hiện tính toán trên mô hình ARIMA để dự báo nhu cầu khách hàng ở bệnh viện, mô hình này được áp dụng theo công thức (9) và (10) để dự đoán nhu cầu trong 20 ca (3 ca là 1 ngày) tiếp theo. Kết quả được thể hiện ở Bảng 4.2.

Bảng 4.2. Kết quả số liệu dự báo cho 03 buồng sử dụng mô hình ARIMA

Ca t	Buồng 1	Buồng 2	Buồng 3	Ca t	Buồng 1	Buồng 2	Buồng 3
1	33.04989	15.89880	28.57866	11	33.17432	15.15646	28.90281
2	33.08590	15.80840	28.53113	12	33.17570	15.09564	28.90286
3	33.11189	15.74349	28.63682	13	33.17670	15.03725	28.90284
4	33.13065	15.65923	28.92759	14	33.17741	14.98119	28.90285
5	33.14418	15.57834	28.89316	15	33.17793	14.92736	28.90285
6	33.15395	15.50067	28.90664	16	33.17831	14.87569	28.90285
7	33.16100	15.42611	28.90136	17	33.17858	14.82608	28.90285
8	33.16609	15.35452	28.90343	18	33.17877	14.77845	28.90285
9	33.16976	15.28580	28.90262	19	33.17891	14.73272	28.90285
10	33.17241	15.21981	28.90294	20	33.17902	14.68881	28.90285

Dựa vào kết quả số liệu trên, trong nghiên cứu này, tác giả để tỷ lệ điều dưỡng ở 03 buồng như sau: Ca làm việc 1 là 1:5, ca làm việc 2 là 1:6, ca làm việc 3 là 1:8.

*Bảng 4.3. Lập kế hoạch phân bổ y tá cho bệnh nhân 03 buồng*

Ngày	Ca làm việc	Số lượng y tá của buồng 1	Buồng 1	Số lượng y tá của buồng 2	Buồng 2	Số lượng y tá của buồng 3	Buồng 3
28/09/2022	1	7	33	3	15	6	29
	2	6	33	3	15	5	29
	3	5	33	2	15	4	29
29/09/2022	1	7	33	3	15	6	29
	2	6	33	3	15	5	29
	3	5	33	2	15	4	29
30/09/2022	1	7	33	3	15	6	29
	2	6	33	3	15	5	29
	3	5	33	2	15	4	29
01/10/2022	1	7	33	3	15	6	29
	2	6	33	3	15	5	29
	3	5	33	2	15	4	29
02/10/2022	1	7	33	3	15	6	29
	2	6	33	3	15	5	29
	3	5	33	2	15	4	29

## 5. KẾT LUẬN

Việc sử dụng phương pháp dự báo ARIMA đã được thực hiện trong nghiên cứu này để chứng minh mô hình ARIMA có hiệu quả trong việc dự báo. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng mô hình ARIMA rất hữu ích trong việc hỗ trợ các nhà quản lý đưa ra quyết định về việc phân bổ số lượng nhân viên y tế dựa trên số lượng bệnh nhân ở mỗi buồng. Nghiên cứu này có thể thúc đẩy việc áp dụng khoa học dữ liệu và phương pháp dự báo trong lĩnh vực y tế. Điều này mở ra cơ hội cho việc nghiên cứu và

phát triển các phương pháp dự báo tiên tiến hơn để cải thiện quản lý và dịch vụ y tế.

### Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Văn Lang đã hỗ trợ để thực hiện nghiên cứu này. Các vấn đề liên quan đến nội dung bài báo, độc giả có thể liên hệ qua TS. Nguyễn Văn Thành, thông qua email thanh.nguyenvan@vlu.edu.vn. ❖

Ngày nhận bài: **08/11/2023**

Ngày phản biện: **27/12/2023**





## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Aydas, O. (2017); *Strategic Nurse Allocation Policies Under Dynamic Patient Demand*. UWM Digital Commons.
- [2]. Duy Tính (2022, September 24); “Tình hình các loại dịch bệnh mới nhất tại Thành phố Hồ Chí Minh”. Báo Thanh niên. From <https://thanhnien.vn/tinh-hinh-cac-loai-dich-benh-moi-nhat-tai-tpHCM-post1503245.html>.
- [3]. Nguyễn Thị Thanh Hiền, Nguyễn Tuấn Sơn (2022); “Dự báo chỉ số giá tiêu dùng tại Việt Nam bằng mô hình ARIMA”, Tạp chí Nghiên cứu Tài chính Kế toán, 07(228).
- [4]. Nguyen Ho Dieu Uyen, Nguyen Thi Thanh Hien (2014), “Ứng dụng mô hình ARIMA trong dự báo chỉ số VN-index”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, 12(85).
- [5]. Nguyen Quoc Duong, et al. (2020); “Predicting the pandemic COVID-19 using ARIMA model”, VNU Journal of Science: Mathematics-Physics, 36(4), pp.55-61.
- [6]. Ren, H.-fei, Chen, F.-jiao, He, L.-xiao, Liu, C.-qing, Liu, Y.-ying, Huang, Y.- jia, Han, H., Fu, S., Zhang, M.-guang, & Jiang, Y. (2022). *Nursing allocation in isolation wards of COVID-19 designated hospitals: A nationwide study in China*.
- [7]. Rassin, M., & Silner, D. (2007); *Trends in nursing staff allocation: The nurse- to-patient ratio and skill mix issues in Israel*. International Nursing Review, 54(1), 63–69. <https://doi.org/10.1111/j.1466-7657.2007.00529.x>.
- [8]. Sharma, S. K., & Rani, R. (2020). *Nurse-to-patient ratio and nurse staffing norms for hospitals in India: A critical analysis of national benchmarks*. Journal of Family Medicine and Primary Care, 9(6), 2631. [https://doi.org/10.4103/jfmpe.jfmpe\\_248\\_20](https://doi.org/10.4103/jfmpe.jfmpe_248_20).
- [9]. Tunnicliffe Wilson, G. (2016). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, by George EP Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel and Greta M. Ljung, 2015. Published by John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 712. ISBN: 978-1-118-67502-1. Journal of Time Series Analysis, 37.

# GIỚI THIỆU MỘT SỐ ỨNG DỤNG COMPOSITE TRONG LĨNH VỰC CƠ KHÍ Ô TÔ

INTRODUCING SOME COMPOSITE APPLICATIONS IN THE AUTOMOTIVE AREA

TS. Hoàng Văn Thành  
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

## TÓM TẮT

*Lĩnh vực ô tô đang trải qua một sự phát triển mạnh mẽ, đòi hỏi phải giảm trọng lượng của phương tiện nhằm giảm thiểu tiêu thụ năng lượng. Vật liệu composite có tỷ lệ độ bền trên trọng lượng tốt hơn là một trong những lựa chọn tốt nhất để lập kế hoạch, thiết kế và sản xuất các bộ phận nhẹ. Bài báo này trình bày xem xét các tính chất, phân tích ưu nhược điểm và ứng dụng của các loại vật liệu composite khác nhau vào lĩnh vực ô tô.*

**Từ khóa:** *Vật liệu composite; Giảm trọng lượng; Lĩnh vực ô tô.*

## ABSTRACT

*The automotive sector is experiencing a strong development that requires reducing the weight of vehicles to minimise energy consumption. Composite materials with better strength-to-weight ratios are one of the best options for planning, designing and manufacturing lightweight parts. This paper reviews the properties, analysis of advantages and disadvantages, and applications of different types of composite materials in the automotive area.*

**Keywords:** *Composite materials; Reducing the weight; Automotive area.*

## 1. GIỚI THIỆU VỀ VẬT LIỆU COMPOSITE

Vật liệu composite một ngày nào đó có thể có lợi thế lớn hơn thép trong sản xuất ô tô. Vật liệu tổng hợp đang được coi là tạo ra những chiếc xe nhẹ hơn, an toàn hơn và tiết kiệm nhiên liệu hơn. Vật liệu composite bao gồm sợi cường độ cao như sợi carbon hoặc thủy tinh và vật liệu nền khi kết hợp lại sẽ mang lại tính chất cao hơn hẳn so với bản thân các vật liệu riêng lẻ. Vật liệu tổng hợp sợi carbon nặng khoảng 1/5 so với thép, nhưng tốt hoặc tốt hơn về độ cứng và độ bền theo báo cáo của Đại học Utah-Mỹ [1].

Pha nền là pha liên tục như thường là polymer, kim loại, ceramic [1-3]. Polymer có độ bền và độ cứng thấp, ngược lại thì kim loại có độ bền và độ cứng trung bình nhưng tính kéo sợi cao; còn ceramic có độ bền và độ cứng cao nhưng lại giòn, dễ gãy. Vật liệu nền có chức năng duy trì các sợi trong không gian và hướng thích hợp, sau đó bảo vệ chúng trước môi trường và sự ăn mòn. Với các composite nền ceramic, mục đích làm tăng độ bền được ưu tiên hơn so với độ cứng do đó sự liên kết bề mặt thấp được mong muốn. Loại và số lượng của chất gia cường quyết định các tính chất cuối cùng của vật liệu composite. Composite cấu tạo

từ loại sợi nào thường sẽ mang tên loại sợi đó [4]. Ví dụ: composite carbon (với sợi carbon); composite thủy tinh (với sợi thủy tinh), v.v... Bảng 1 thể hiện tính chất đơn trục của vật liệu composite dạng đơn trục như trong tài liệu của K. Kaw [3].

*Bảng 1. Tính chất cơ học đơn trục của vật liệu composite [3]*

Property	Symbol	Units	Glass/ epoxy	Boron/ epoxy	Graphite/ epoxy
Fiber volume fraction	$V_f$		0.45	0.50	0.70
Longitudinal elastic modulus	$E_1$	GPa	38.6	204	181
Transverse elastic modulus	$E_2$	GPa	8.27	18.50	10.30
Major Poisson's ratio	$\nu_{12}$		0.26	0.23	0.28
Shear modulus	$G_{12}$	GPa	4.14	5.59	7.17
Ultimate longitudinal tensile strength	$(\sigma_1)_{ult}$	MPa	1062	1260	1500
Ultimate longitudinal compressive strength	$(\sigma_1)_{ult}$	MPa	610	2500	1500
Ultimate transverse tensile strength	$(\sigma_2)_{ult}$	MPa	31	61	40
Ultimate transverse compressive strength	$(\sigma_2)_{ult}$	MPa	118	202	246
Ultimate in-plane shear strength	$(\tau_{12})_{ult}$	MPa	72	67	68
Longitudinal coefficient of thermal expansion	$\alpha_1$	$\mu\text{m/m}/^\circ\text{C}$	8.6	6.1	0.02
Transverse coefficient of thermal expansion	$\alpha_2$	$\mu\text{m/m}/^\circ\text{C}$	22.1	30.3	22.5
Longitudinal coefficient of moisture expansion	$\beta_1$	$\text{m/m/kg/kg}$	0.00	0.00	0.00
Transverse coefficient of moisture expansion	$\beta_2$	$\text{m/m/kg/kg}$	0.60	0.60	0.60

## 2. MỘT SỐ ƯU ĐIỂM CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE KHI ỨNG DỤNG CHO LĨNH VỰC CƠ KHÍ Ô TÔ

### 2.1. Độ cứng, độ bền và chống ăn mòn

Bảng 1 cho thấy các tính chất đơn hướng của của vật liệu composite cốt sợi thủy tinh và sợi các bon. Từ bảng này cho thấy theo phương chính thì vật liệu composite có cường độ cao hơn thép nhiều và một ưu điểm nữa nó rất nhẹ. Vật liệu composite có thể mang lại độ cứng và độ bền cao, cho phép các nhà sản xuất thiết kế các bộ phận vừa nhẹ vừa có khả năng chịu được áp lực cơ học. Điều này rất quan trọng để đảm bảo an toàn và hiệu suất ở những khu vực quan trọng của xe.

Không giống như các kim loại truyền thống như thép, vật liệu composite thường có khả năng chống ăn mòn. Đặc tính này làm tăng tuổi thọ của các bộ phận và giảm yêu cầu bảo trì.

### 2.2. Khả năng chống va chạm và giảm rung

Nghiên cứu của Adams [1, 5] tập trung vào cơ học của vật liệu composite dạng sandwich được tạo ra bằng cách gắn hai tấm mặt composite mỏng vào lõi dày, mật độ thấp của gỗ balsa hoặc xốp. Vật liệu composite dạng sandwich được quan tâm cho các ứng dụng sản và mái ô tô. Gần hai thập kỷ trước, Adams đã bắt đầu nghiên cứu cách chế tạo vật liệu sandwich có khả năng “chịu hư hỏng” cao hơn, trong đó cấu trúc vẫn có thể đáp ứng các yêu cầu về tải trọng sau khi đã chịu một số loại hư hỏng ban đầu. Với thiết kế phù hợp, Adams cho biết vật liệu tổng hợp có thể đáp ứng hoặc thậm chí vượt quá yêu cầu an toàn trong một vụ va chạm vì chúng có thể được thiết kế để hấp thụ nhiều năng lượng hơn đáng kể so với kim loại kim loại truyền thống khi bị nghiền nát. Thiết kế bánh sandwich đầu tiên mà Adams và các học trò của ông thực hiện cách đây vài năm đã được đưa vào Chevrolet Corvette [1]. Vật liệu tổng hợp có thể làm giảm rung động và tiếng ồn hiệu quả hơn các vật liệu truyền thống, giúp cải thiện chất lượng lái và giảm độ ồn bên trong.

### 2.3. Giảm trọng lượng

Một trong những lợi ích chính của vật liệu composite là tỷ lệ cường độ trên trọng lượng cao. Bằng cách sử dụng vật liệu tổng hợp, các nhà sản xuất có thể tạo ra các bộ phận nhẹ giúp duy trì tính toàn vẹn của cấu trúc, giúp giảm trọng lượng xe. Một chiếc xe nhẹ hơn cần ít năng lượng hơn để vận hành, nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm lượng khí thải.

## 2.4. Tiết kiệm nhiên liệu

Xe nhẹ hơn tiêu thụ ít nhiên liệu hơn do trọng lượng tổng thể giảm. Điều này đặc biệt quan trọng trong việc ngành công nghiệp ô tô theo đuổi việc đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải và tiết kiệm nhiên liệu nghiêm ngặt hơn.

## 2.5. Tính linh hoạt trong thiết kế

Vật liệu composite có thể được đúc thành các hình dạng phức tạp và phù hợp với các yêu cầu cụ thể. Tính linh hoạt này cho phép các nhà thiết kế tối ưu hóa các thành phần cả về chức năng và thẩm mỹ.

## 2.6. Giảm chi phí cho vật liệu tổng hợp ô tô

Chi phí sản xuất là một vấn đề quan trọng trong sản xuất ô tô, bao gồm việc tính toán các chi phí liên quan đến toàn bộ vòng đời của ô tô, bao gồm chi phí sản xuất, vận hành và thanh lý. Tính theo pound, chi phí vật liệu của vật liệu tổng hợp sợi carbon cao hơn thép ít nhất 20 lần và ngành công nghiệp ô tô khó có thể sử dụng chúng cho đến khi giá sợi carbon giảm đáng kể [1]. Nguyên liệu thô, năng lượng cần thiết để nung nóng để tạo ra sợi và các thiết bị cần thiết đều góp phần làm tăng chi phí. Kết quả là vật liệu tổng hợp sợi carbon vẫn chưa thể cạnh tranh kinh tế với thép trong ngành công nghiệp ô tô. Adams cho biết: “Việc phát triển sợi carbon chi phí thấp là một lĩnh vực nghiên cứu tích cực có nhiều hứa hẹn”. Ngoài ra, việc phát triển các phương pháp sản xuất chi phí thấp cho vật liệu tổng hợp ô tô cũng đang nhận được rất nhiều sự chú ý. Có những cách sản xuất phụ tùng ô tô composite ít tốn kém hơn cũng làm giảm số lượng khớp nối và ốc vít.

## 3. ỨNG DỤNG VÀO CƠ KHÍ Ô TÔ

Vật liệu composite đã được ứng dụng trong ngành công nghiệp ô tô. Các quy định

của Chính phủ tại Hoa Kỳ và châu Âu tiếp tục yêu cầu các quy định hạn chế chặt chẽ hơn về lượng phát thải phương tiện [6]. Để đáp ứng những yêu cầu này, các nhà sản xuất ô tô ngày càng chuyển sang sử dụng các công nghệ mới. Trong số đó có những vật liệu nhẹ như nhựa và vật liệu tổng hợp. Khi thấy rằng khi tiêu chuẩn tiết kiệm nhiên liệu tăng lên, tổng khối lượng xe và hàm lượng thép giảm xuống và được thay thế bằng vật liệu composite. Nhìn chung, lĩnh vực cảng vận tải chiếm khoảng 25% sản lượng sợi thủy tinh trên toàn thế giới và ô tô sản xuất tại Hoa Kỳ có thể chứa tới 100 kg vật liệu composite, so với ít hơn 30 kg đối với ô tô được sản xuất tại châu Âu. Trong thập kỷ qua, vật liệu tổng hợp sợi tự nhiên của nhựa nhiệt và nhựa nhiệt đã được các nhà sản xuất ô tô châu Âu và Bắc Mỹ sử dụng để chế tạo tấm cửa, lưng ghế, tấm lót đầu, khay đựng đồ, bảng điều khiển và tấm lót cốp. Mặc dù sợi tự nhiên được hưởng lợi từ nhận thức rằng chúng "xanh" hoặc thân thiện với môi trường, nhưng điều quan trọng hơn là khả năng tăng cường độ cứng và giảm âm thanh của chúng với chi phí và mật độ thấp hơn so với sợi thủy tinh và chất độn khoáng. Sợi tự nhiên cũng đang được sử dụng trong vật liệu tổng hợp polyurethane. Ví dụ thương mại đầu tiên là tấm cửa bên trong của chiếc Mercedes-Benz S-Class 1999, được sản xuất tại Đức với 35% chất đàn hồi Baypreg semi-rigid PUR của Bayer và 65% hỗn hợp lạnh, cây gai dầu và salu. Quá trình này đang được sử dụng để chế tạo mái che cửa sổ trời cho một số ô tô. Chất nền trong hầu hết các vật liệu composite sử dụng cho các ứng dụng ô tô thường được làm bằng polyme.

Với xe điện và xe hybrid [7, 8]: Vật liệu composite đặc biệt có lợi cho xe điện và xe hybrid, trong đó việc giảm trọng lượng là rất quan trọng để mở rộng phạm vi hoạt động của pin và hiệu suất tổng thể của xe.



Ứng dụng vật liệu composite làm linh kiện phanh [8, 9]: Vật liệu composite được gia cố bằng sợi carbon được sử dụng trong các hệ thống phanh hiệu suất cao nhờ khả năng chịu nhiệt và khả năng tản nhiệt nhanh, cải thiện hiệu suất phanh.

Ứng dụng vật liệu composite làm các bộ phận kết cấu [8-10]: Một số nhà sản xuất xe sử dụng vật liệu composite cho các bộ phận kết cấu như khung xe và các tấm thân xe. Vật liệu tổng hợp sợi carbon đặc biệt phổ biến cho các ứng dụng này do độ bền đặc biệt của chúng.

Ứng dụng vật liệu composite làm các thành phần nội thất [8, 11]: Vật liệu composite có thể được sử dụng cho các thành phần nội thất để đạt được sự cân bằng giữa tính thẩm mỹ và giảm trọng lượng. Điều này có thể bao gồm bảng điều khiển, tấm cửa và các chi tiết trang trí.

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tóm tắt về một số tính chất cơ bản của vật liệu composite, đồng thời phân tích các ưu điểm của vật liệu composite khi dùng trong lĩnh vực cơ khí ô tô như cường độ và độ bền cao, chống rung, giảm xung động do va chạm, nhẹ, giảm khối lượng của xe, linh hoạt trong thiết kế. Vật liệu composite này đã được sử dụng trong nhiều lĩnh vực cơ khí ô tô như làm các bộ phận linh kiện của xe, vỏ xe, thân xe. ❖

Ngày nhận bài: **18/11/2023**

Ngày phản biện: **08/01/2024**

## Tài liệu tham khảo:

[1]. Utah University of Composites in Cars: Making Vehicles Lighter, Safer and More Fuel-Efficient. The University of Utah; 2012.

- [2]. Cường Nguyễn Đăng. *Composit sợi thủy tinh và ứng dụng*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2011.
- [3]. K. Kaw Autar. *Mechanics of composite materials*, Second Edition 2005.
- [4]. Composite Hoàng Cương; *Vật liệu composite*.
- [5]. Garner David, Adams Daniel. *Test methods for composites crashworthiness: A review*. Journal of Advanced Materials. 2008;40:5-26.
- [6]. Chehroudi Bruce. *Composite Materials and Their Uses in Cars\_Part I*, 1999.
- [7]. Wazeer Adil, Das Apurba, Abeykoon Chamil, Sinha Arijit, Karmakar Amit. *Composites for electric vehicles and automotive sector: A review*. Green Energy and Intelligent Transportation. 2023;2:100043.
- [8]. Rajak Dipen Kumar, Pagar D. D., Behera A., Menezes Padeep L., *Role of Composite Materials in Automotive Sector: Potential Applications*. In: Kumar V, Agarwal AK, Jena A, Upadhyay RK, editors. *Advances in Engine Tribology*. Singapore: Springer Singapore; 2022. p. 193-217.
- [9]. Singh Puran, Raghavender V., Joshi Sudhir, Pooja Vasant Nikale, Awasthi Ankita, Nagpal Amandeep, et al. *Composite material: A review over current development and automotive application*. Materials Today: Proceedings. 2023.
- [10]. Beardmore P., Johnson C. F., *The potential for composites in structural automotive applications*. Composites Science and Technology. 1986;26:251-81.
- [11]. Stojanovic Blaza, Glisovic Jasna. *Application of Ceramic Matrix Composite in Automotive Industry*. In: Brabazon D, editor. *Encyclopedia of Materials: Composites*. Oxford: Elsevier; 2021. p. 275-92.



# ỨNG DỤNG THỊ GIÁC MÁY TÍNH CHO TAY MÁY LẮP RÁP VẬT DI CHUYỂN TRÊN BĂNG CHUYỀN

## COMPUTER VISION FOR ASSEMBLY OBJECT MOVING ON CONVEYOR USING MANIPULATOR

**\*Lê Đức Hạnh, Lê Đức Đạo**

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Ứng dụng xử lý ảnh để nhận dạng vị trí của vật và điều khiển tay máy để lắp ráp là một trong những ứng dụng rất phổ biến hiện nay. Tuy nhiên, hiện nay, những ứng dụng lắp ráp phổ biến đều là cho vật tĩnh đứng yên trên băng chuyền, hoặc là vật được gắp ra từ băng chuyền và lắp ráp trên vật tĩnh. Điều này làm cho năng suất của hệ thống bị giảm. Nghiên cứu này trình bày phương pháp có thể tăng năng suất cho một dây chuyền lắp ráp bằng cách lắp ráp cho vật động đang chuyển động trên băng chuyền sử dụng xử lý hình ảnh và tay máy. Hệ thống bao gồm một camera đặt trên cao để phát hiện vật cần lắp ráp đặt bất kỳ hướng và vị trí trên băng chuyền. Sau đó, tọa độ và hướng của vật được tính toán. Các dữ liệu tính toán sẽ được truyền xuống cho tay máy để thực thi tác vụ lắp ráp. Quá trình lắp ráp sẽ được thực hiện dựa trên vị trí và hướng của vật đã tính toán và tốc độ của băng tải. Qua thực nghiệm kiểm chứng, độ chính xác cũng như thời gian nhận dạng, hệ thống chứng minh là có khả năng áp dụng vào môi trường công nghiệp lắp ráp giúp tăng năng suất cho hệ thống.

**Từ khóa:** Thị giác máy tính; Lắp ráp; Tay máy; Điều khiển; Xử lý ảnh.

### ABSTRACT

Image processing application to identify the position of objects and control manipulators for assembly is one of the most popular applications today. However, currently, common assembly applications are for stationary objects on a conveyor belt, or the object is picked up from a conveyor belt and assembled on a stationary object. This causes the system's productivity to decrease. This study presents a method that can increase the productivity of an assembly line by assembling moving objects on a conveyor belt using image processing and manipulators. The system includes an overhead camera to detect objects to be assembled in any direction and position on the conveyor belt. Then the coordinates and direction of the object are calculated. The calculation data will be transmitted to the manipulator to perform the assembly task. The assembly process will be performed based on the calculated position and direction of the object and the speed of the conveyor belt. Through experimental verification, accuracy and recognition time, the system proves to be applicable to the assembly industry environment to help increase system productivity.

**Keywords:** Computer vision; Assembly; Manipulator; Control; Image processing.



## 1. GIỚI THIỆU

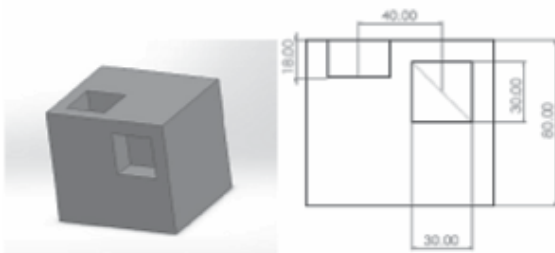
Ngày nay, ở các nhà máy tự động hóa có sử dụng tay máy công nghiệp như ABB, Fanuc, Yakawa, Denso, ở các cụm lắp ráp hay dây chuyền sản xuất, đóng gói các vật thường được di chuyển trên băng chuyền. Tuy nhiên, hiện nay để thực hiện tác vụ lắp ráp hay gấp vật, băng chuyền cần phải dừng lại trong một khoảng thời gian [1-4]. Điều này làm cho năng suất của hệ thống bị ảnh hưởng. Các hãng sản xuất robot hiện nay đang tập trung giải quyết vấn đề trên bằng việc đề xuất mô hình lắp ráp vật di chuyển trên băng tải mà không dừng băng tải như đề xuất của ABB [5]. Việc lắp ráp lúc vật di chuyển là một bài toán thách thức hơn rất nhiều so với vật tĩnh do hệ thống phải đảm bảo sai số nhỏ cũng như khả năng bám đối tượng trong thời gian thực.

Phát hiện đối tượng chuyển động đã được sử dụng rộng rãi trong định vị tự động, giám sát an ninh. Tuy nhiên, ứng dụng trong việc lắp ráp chi tiết trên băng chuyền vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi do phải kết hợp giữa chương trình xử lý ảnh và cơ cấu chấp hành. Trong những năm gần đây, có rất nhiều nghiên cứu về việc bắt đối tượng chuyển động như: Li et al. [6] đã nghiên cứu thuật toán phát hiện đối tượng chuyển động bằng cách sử dụng các đặc điểm ảnh và thông số màu để trích xuất đặc điểm để phân đoạn tiền cảnh chuyển động theo thời gian thực và chính xác trong các cảnh phức tạp như thay đổi độ sáng và nhiều nền động. Jin et al. [7] đã đề xuất phương pháp phát hiện đối tượng chuyển động dựa trên mô hình biểu đồ vùng trong không gian thuộc tính màu, nhằm khắc phục những thiếu sót của phương pháp truyền thống dựa trên đặc điểm màu sắc và điểm ảnh. Đầu tiên, không gian màu RGB được ánh xạ tới không gian thuộc tính màu có chiều thấp mạnh mẽ hơn và biểu đồ được thiết lập

trong phạm vi cục bộ của pixel với thuộc tính màu làm đối tượng đặc trưng. Đồng thời, thông tin của pixel trong mỗi phân vùng của biểu đồ được ghi lại để tạo mô hình nền của từng pixel và mỗi biểu đồ sẽ cho các trọng số khác nhau tùy theo mức độ phù hợp của nó. Tuy nhiên, rất khó để thiết lập các thông số trọng số trong quá trình vận hành thực tế của phương pháp này và kết quả bị ảnh hưởng rất nhiều bởi các thông số trọng số này. Yin et al. [8] đề xuất một thuật toán phát hiện vật dựa trên sự bất thường dựa của những thay đổi thường xuyên. Đầu tiên, thuật toán phân đoạn vùng dựa trên phương pháp khác biệt ba khung hình được sử dụng để phân đoạn hình ảnh thành vùng nền tĩnh và vùng nền động bao gồm các đối tượng chuyển động, đồng thời phân chia vùng nền tĩnh và vùng nền động. Thuật toán Surendra dựa trên ba khung hình khác nhau được sử dụng để trích xuất vùng nền tĩnh thông tin và thiết lập mô hình nền. Ding [9] đề xuất mô hình nền với các tính năng màu sắc và cạnh để giải quyết vấn đề về tính năng đơn lẻ trong mô hình nền truyền thống phương pháp. Vấn đề nhiều, điểm đứt đoạn và lỗ hổng bên trong trong việc phát hiện đối tượng chuyển động dẫn đến phương pháp chênh lệch ba khung hình đã được giải quyết và kết quả xử lý hình ảnh được bù đắp dựa trên phương pháp xử lý hình thái. Nhưng nghiên cứu không giải quyết được vấn đề nhiều hình ảnh gây ra bởi chuyển động của mục tiêu trong hình ảnh video. Mặc dù phép trừ nền truyền thống các thuật toán đã được sử dụng rộng rãi trong các môi trường khác nhau nhưng chúng vẫn phải đối mặt với nhiều thách thức khác nhau [10]. Một trong số đó là vật thể ở tiền cảnh thường không hoàn chỉnh và có nhiều nhiễu, nghĩa là nó chứa các lỗ hoặc mảnh vỡ rải rác [11, 12]. Những khiếm khuyết này có thể gây ra việc phát hiện sai và ảnh hưởng đến hiệu quả của các ứng dụng nâng cao như nhận dạng vị trí mục tiêu và ngoại hình [13, 14, 15].

Bài báo này có sự khác biệt với các nghiên cứu trên, đó là sự kết hợp phát hiện vật chuyển động trên băng chuyền thông qua phân ngưỡng và lọc Morphology để xác định vị trí của vật lắp ráp và kết hợp tay máy để thực hiện việc lắp ráp này.

Lỗ lắp có kích thước độ sâu 18 mm, chiều dài 30 mm và chiều rộng 30 mm. Vật lắp ráp là khối vuông có chiều sâu, dài và rộng là 29 mm.

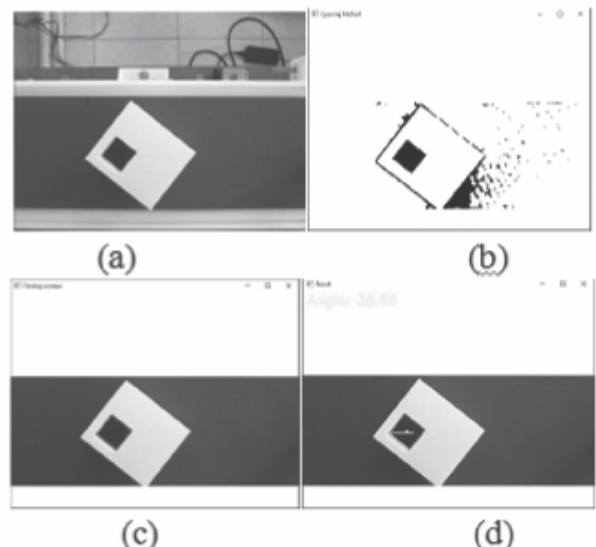


Hình 1. Hình ảnh vật và kích thước các lỗ cần lắp ráp trên vật khi di chuyển

## 2. XỬ LÝ ẢNH

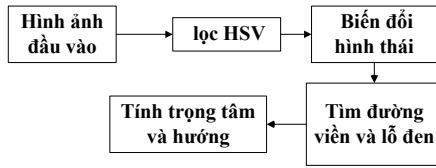
Trong hệ thống này, camera được sử dụng để phát hiện vật thể chuyển động trên băng tải. Sau đó, camera chụp ảnh và PC xử lý ảnh để trích xuất các đặc điểm của đối tượng như hình 2a, sau đó là phát hiện màu đen của lỗ phía trước. Thông thường, hình ảnh được đọc trong không gian màu RGB và phương pháp phân đoạn đơn giản nhất là phân ngưỡng. Từ một hình ảnh trong không gian màu RGB được chuyển sang màu xám và sau đó sử dụng thao tác ngưỡng để phát hiện. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn có quá nhiều nhiễu cũng như phát hiện màu sắc không tốt vì chỉ sử dụng kênh màu xám. Để trích xuất một đối tượng màu, sử dụng không gian màu HSV và đặt ngưỡng hình ảnh HSV cho một phạm vi màu này là một phương pháp hiệu quả vì HSV dễ thể hiện màu hơn không gian màu RGB như hình 2b.

Sau khi trích xuất đối tượng màu đen, phương pháp biến đổi hình thái được sử dụng để có kết quả tốt hơn (loại bỏ nhiễu) trước khi phát hiện đường viền của đối tượng. Các phép biến đổi hình thái được chọn vì nó thường được thực hiện trên ảnh nhị phân. Hai toán tử hình thái cơ bản là Erosion và Dilation được áp dụng để lọc bỏ bớt nhiễu. Để tính trọng tâm và hướng của vật thể cần phải thực hiện nhiệm vụ tìm đường viền. Nhiệm vụ này có thể được giải thích đơn giản là một đường cong nối tất cả các điểm liên tục (đọc theo đường biên), có cùng màu sắc hoặc cường độ. Đường viền là một công cụ hữu ích để phân tích hình dạng, phát hiện và nhận dạng đối tượng. Từ kết quả của bước tìm đường viền, điều cần thiết là chỉ lấy được một đường viền từ ảnh. Vì vậy, ý tưởng là sử dụng diện tích đường viền để chọn như hình 2c. Sau khi tìm được đường viền, ta có được hình chữ nhật bao quanh nó. Áp dụng phương pháp Hu moment, ta tính trọng tâm và hướng của đường viền duy nhất đó và đó cũng chính là vật ta cần tìm như hình 2d. Quá trình xử lý ảnh được tóm tắt như hình 3.



Hình 2. Hình RGB (a), Hình sau khi lọc ngưỡng HSV (b), Hình sau khi tìm đường viền (c), Hình tính tọa độ trọng tâm và góc (d)





Hình 3. Giải thuật nhận dạng vật trên băng chuyển

### 3. TÍNH TOÁN TỌA ĐỘ THẬT CỦA VẬT

#### 3.1. Tính chỉnh camera

Các tác vụ xử lý hình ảnh trả về tọa độ pixel và hướng của đối tượng. Tuy nhiên, robot không thể hiểu giá trị của tọa độ pixel và cần phải hiệu chỉnh camera. Hiệu chỉnh camera là một quá trình để chuyển tọa độ pixel của u, v đến vị trí tương ứng trong tọa độ bàn cờ, ở dạng X, Y và Z. Các giá trị tọa độ được tính toán sau đó sẽ được so sánh với các giá trị đã biết trước đó trên bảng bàn cờ để xác minh tính chính xác của chúng.

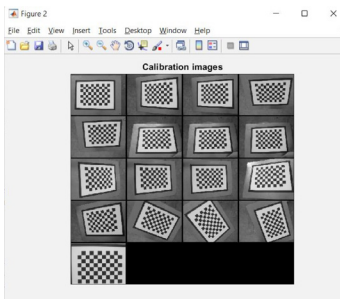
Công thức tổng quát:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

- K: Ma trận thông số nội camera;
- [R T]: Ma trận thông số ngoại camera.

Quá trình calib camera được thực hiện trên Matlab, dùng hàm calib để lấy tất cả các ảnh chụp được ở 16 vị trí khác nhau như hình 4.



Hình 4. Các hình ảnh bàn cờ cho quá trình calib

Sau đó, lấy 04 góc của bàn cờ nhằm tìm ma trận thông số nội, làm liên tục với 15 hình còn lại. Sau khi xong quá trình trên, ta thu được ma trận thông số nội:

$$K = \begin{bmatrix} 667.4 & 0 & 324.4 \\ 0 & 666.5 & 241.05 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sau khi tìm được ma trận thông số nội, ta sẽ đặt bàn cờ lên mặt trên cùng của vật thể lớn và chụp ảnh đó dùng để tìm ma trận thông số ngoại:

$$T = \begin{bmatrix} -91.23 \\ -64.53 \\ 281.94 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 0.0034 & 0 & 0.0197 \\ 1 & -0.0032 & -0.01 \\ -0.01 & 0.0197 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

#### 3.2. Tính toán vận tốc di chuyển của vật

Quá trình tính toán vận tốc được kích hoạt qua điều kiện “Check speed”. Chương trình sẽ liên tục lấy dữ liệu vị trí và thời gian của đối tượng trên băng tải. Khi kết thúc quá trình này sẽ tiến hành tính ra vận tốc của băng tải qua hồi quy tuyến tính. Giá trị vận tốc được cập nhật lên hệ thống để dùng cho các mục đích tính toán khác.

Ta giả định việc setup vận tốc băng tải được thực hiện qua núm xoay biến trở và trong quá trình hoạt động, vận tốc băng tải không đổi bởi các điều kiện khác nhau. Ở phần trước, việc tiền xử lý ảnh đưa ra được các đối tượng trên băng tải, ta có thể tìm được tâm của đối tượng đó qua việc tính các moment ảnh ở mỗi thời điểm khác nhau.

Khi một đối tượng di chuyển trên băng tải, với vận tốc v là hằng số, ta có phương trình:

$$X = v.t + x_0 \quad (4)$$

Từ đó, ta thu thập được bảng số liệu sau:

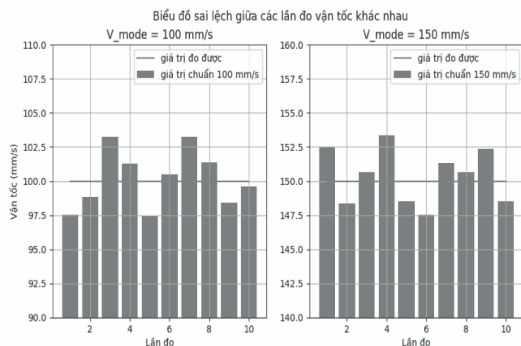
Bảng 1. Bảng số liệu thu thập

Vị trí	Thời gian
X1	T1
X2	T2
.....	.....
X4	T4

Các giá trị thu được là kết quả quan sát của một đối tượng.

Do hệ thống tách biệt vùng làm việc của camera và vùng làm việc của robot nên việc xác định vận tốc của của băng tải hết sức quan trọng. Nó là một thông số quan trọng để xác định vị trí của vật theo thời gian và phải có sai số nhỏ để đảm bảo robot có thể bắt chính xác được vị trí của vật.

Để xác định chỉ tiêu này, ta sử dụng thêm một encoder ngoài hệ thống và cho băng tải chạy ở các mức vận tốc khác nhau để tiến hành so sánh kết quả giữa hai phép đo như hình 5.



Hình 5. Sai số của vận tốc đo bằng camera

### 3.3. Chuyển đổi tọa độ từ bàn cờ về robot

Sau khi hiệu chuẩn đầu tool, ta di chuyển đầu tool ngay trên bàn cờ để xác định tọa độ bàn cờ trong tọa độ gắn với robot. Điểm

đầu tiên là gốc của bàn cờ tuân theo quy ước của quy tắc hiệu chuẩn máy ảnh. Điểm thứ hai và thứ ba lần lượt là các điểm nằm trên trục x và y của bàn cờ.

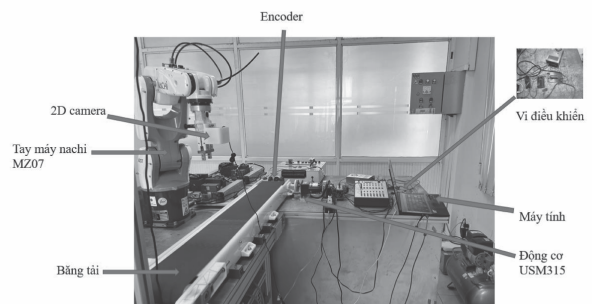
Tọa độ bàn cờ có thể tính toán bởi các điểm bên trên như sau:

$$\begin{aligned} {}^{robot}_{banco} \vec{X} &= \frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|} \\ {}^{robot}_{banco} \vec{Y} &= \frac{P_3 - P_1}{|P_3 - P_1|} \\ {}^{robot}_{banco} \vec{Z} &= {}^{robot}_{banco} \vec{X} \times {}^{robot}_{banco} \vec{Y} \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó: P<sub>1</sub> là gốc, P<sub>2</sub> là điểm nằm trên trục X, P<sub>3</sub> là điểm nằm trên trục Y.

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Quá trình thực nghiệm được thực hiện trên robot Nachi 6 bậc tự do, camera 2D được đặt trên khâu cuối của robot như hình 6. Vật cần lắp nằm trên băng tải. Tốc độ di chuyển của băng tải là 50mm/s. Băng tải không dừng trong suốt quá trình lắp ráp.



Hình 6. Môi trường thực nghiệm

Quá trình hoạt động của thực nghiệm được tóm tắt như sau:

- Bước 1: Tay máy gấp chi tiết nhỏ về vị trí gốc. Camera luôn chụp ảnh ở bước này. PC sử dụng xử lý hình ảnh để phát hiện mẫu vật 🖱️



lớn đang di chuyển trên băng tải như hình 7a. Ngoài ra, các tác vụ xử lý hình ảnh trả về tâm pixel của lỗ phía trước, hướng của nó và tâm pixel của đối tượng lớn.

- Bước 2: Thread 1 của PC được khởi động, kết nối với bộ mã hóa để lấy giá trị vị trí cập nhật. Bộ vi điều khiển nhận lệnh “Bắt đầu” từ bộ mã hóa, sau đó nó đọc và gửi liên tục giá trị mới của bộ mã hóa đến PC. Dựa trên tọa độ pixel và giá trị của bộ mã hóa, PC tính toán vị trí hiện tại của lỗ phía trước trong khung robot. Luồng 2 được khởi động, PC gửi vị trí hiện tại và lệnh di chuyển tới robot. Robot theo dõi chuyển động của vật thể cũng như giảm dần trục Z để thực hiện nhiệm vụ lắp ráp như hình 7b. Nếu robot đạt đến vị trí lỗ phía trước, hãy lắp phôi nhỏ vào như hình 7c.

- Bước 3: Sau khi đưa phôi nhỏ vào, robot sẽ kẹp một phôi nhỏ khác như hình 7d. Vi điều khiển cũng tiếp tục gửi giá trị của bộ mã hóa tới PC. Vị trí lỗ bên hiện tại của lỗ bên được tính toán bằng PC nhờ nội suy liên quan giữa lỗ bên và lỗ bên trước. PC sẽ dự đoán vị trí lỗ bên cách vị trí hiện tại 200 mm, sau đó robot di chuyển đến vị trí này và giảm khoảng cách để hoàn thành công việc chèn như hình 7e và hình 7f.



(a)



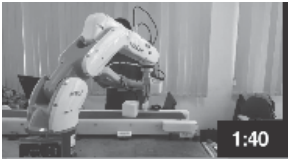
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Hình 7. Quá trình nhận dạng và lắp chai nhựa

Bảng 2. Thời gian xử lý của hệ thống

	Thời gian nhận dạng và tính toán vị trí (ms)	Thời gian robot thực thi (s)
Lần 1	164.67	1.88
Lần 2	180.23	1.91
Lần 3	201.45	2.12
Lần 4	180.1	1.93
Lần 5	188.39	1.88
Lần 6	160.97	2.15
Lần 7	188.31	2.04
Lần 8	178.86	2.13
Lần 9	212.38	1.95
Lần 10	218.75	1.99

Nhận xét:

- Hệ thống hoạt động tốt đối với các vật cần lắp ở vị trí khác nhau.
- Thời gian xử lý ảnh tổng cộng không vượt quá 0,25s, ứng dụng có thể chạy thời gian thực rất tốt.
- Thời gian thực thi của robot trung bình khoảng 2s phù hợp với tác vụ lắp ráp nhanh trên băng chuyền.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày một phương pháp hiệu quả để tự động hóa quá trình lắp ráp vật trong dây chuyền sản xuất bằng cách sử dụng

dụng công nghệ xử lý hình ảnh và tay máy công nghiệp. Từ đây, vật trên băng chuyền không cần phải dừng lại cho quá trình lắp ráp mà vẫn có thể di chuyển liên tục. Qua thực nghiệm có thể thấy phương pháp có thể thay thế việc lắp ráp thủ công hiện nay của người lao động, tăng năng suất cho quá trình lắp ráp cũng như bảo vệ sức khỏe người lao động tốt hơn. Cách làm cũng đơn giản và dễ thực hiện cũng như dễ bảo trì. Để tăng độ chính xác, hệ thống camera có thể dễ dàng thay đổi.

### Xung đột lợi ích:

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

### Đóng góp của tác giả:

- Lê Đức Hạnh: Đưa ra ý tưởng, phân tích và viết bài.
- Lê Đức Đạo: Thực nghiệm, thu thập dữ liệu và phân tích.❖

Ngày nhận bài: 12/12/2023

Ngày phản biện: 02/01/2024

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. *Efficient programming and teaching of DENSO robots*, <https://www.artiminds.com/robot-applications/robot-programming/denso-robot-programming/>
- [2]. *Robotic Solutions for Packaging*, <https://www.motoman.com/en-us/applications/picking-packaging>
- [3]. *Solutions for Robotic Pick and Place and Packaging Automation*, <https://www.fanucamerica.com/solutions/applications/picking-and-packing-robots>
- [4]. *ABB confectionery palletizing solution enhances collaboration and improves productivity by 53 percent*, <https://new.abb.com/news/detail/73220/>
- [5]. *Why robots are focusing on final assembly processes*, <https://new.abb.com/news/detail/74750/why-robots-are-focusing-on-final-assembly-processes>
- [6]. Li Y, Xu X and Chen J (2017); *Application of background update of dynamic feature block matching in motion detection*, Journal of Instrumentation, 38 (2) 445-53.
- [7]. Jin J, Dang J and Wang Y (2019); *Spatial histogram background modeling of regional color attributes*, Chinese Journal of Image Graphics, pp. 714-23.
- [8]. Yin R, Yang J and Lu W (2019); *Research on anomaly detection algorithm based on the background of regular change*, Control Engineering, 26 (8).
- [9]. Ding Z and Lu W (2019), *Moving object detection algorithm based on vibe background modeling*, Computer System Application, 28 (04) 187-91.
- [10]. Di C (2017), *Research on video detection and tracking methods of moving objects based on features*, University of Chinese Academy of Sciences.
- [11]. Yin H, Chen B, Chai Y et al. (2016), *Overview of vision based object detection and tracking*, Journal of Automation, 42 (10) 1466-89.
- [12]. Wang D, Fan Y and Wang X (2017), *A motion detection algorithm based on gradient and vibe algorithm*, Television Technology, 41 (3) 100-04.
- [13]. Zhan Z, An Y and Cui W (2017), *Image threshold segmentation algorithm and comparative study*, Information Communication, (4) 86-89.
- [14]. Chen J (2017), *Research on threshold segmentation of non-uniform illumination image*, Hunan University of Technology.
- [15]. Hu Z, Fan W and Yu G (2017); *Adaptive threshold image foreground extraction based on OpenCV*, Photoelectric Technology Application, 32 (1) 56-59.

## NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÁY ĐÁNH BÓNG GỖ SÁU TRỤC SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ NHÁM CHỎI

A STUDY DESIGN AND MANUFACTURING SIX-AXIS WOOD POLISHING MACHINE USES BRUSH SANDING TECHNOLOGY

Trần Công Thức<sup>1</sup>, Trần Danh Vũ<sup>2</sup>, Tạ Thị Yến<sup>1</sup>, Trần Thị Hồng Anh<sup>1</sup>,  
Vũ Đình Doanh<sup>1</sup>, Trần Thị Thu Hường<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Sinh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Thái Bình

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày kết quả thiết kế, chế tạo máy đánh bóng gỗ sáu trục sử dụng công nghệ nhám chổi. Với hai chổi nhám ngang dài 90mm, sáu chổi nhám dọc, chín quả nhám chổi mặt đầu. Kích thước máy 2800x1680x1800mm, chiều rộng làm việc 900mm, chiều cao làm việc tối đa 150mm. Các trục nhám đều được lắc ngang. Máy đánh bóng được chế tạo để phục vụ sản xuất, với mục đích giảm thời gian, tăng năng suất lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm. Sử dụng các biến tần để điều khiển tốc độ quay của quả lô và tốc độ băng tải. Mô hình máy được thiết kế bằng phần mềm Inventor và đưa ra các bản vẽ chế tạo. Tiến hành chế tạo các chi tiết và lắp ráp chúng lại thành máy hoàn chỉnh.*

**Từ khóa:** Máy đánh bóng gỗ; Công nghệ nhám chổi; Thiết kế; Chế tạo; Lắp ráp.

### ABSTRACT

*This paper presents the results of the design and manufacture six-axis wood polishing machine uses brush sanding technology. Two horizontal sanding rollers 90mm long, six vertical sanding rollers, nine sanding disc. Overall size of the machine is 2800x1680x1800mm, working width 900mm, maximum working height 150mm. The sanding shafts are all shaken horizontally. Wood polishing machine is made for production, for the purpose of reducing cycle time, increase labor productivity, improve product quality. Use inverters to control the rotation speed of the sanding rollers and conveyor speed. The Inventor software is used to design overall model of the machine and detailed drawings. Fabricating the parts and assembling them into a complete Machine.*

**Keywords:** Wood polishing machine; Brush sanding technology; Design; Manufacture; Assembly.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ngành công nghiệp chế biến gỗ đang ứng dụng rất nhiều máy tự động trong sản xuất, với mục đích nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm thiểu nguyên công lao động, an toàn cho người sử dụng, từ đó giảm giá thành để cạnh tranh với các sản phẩm nước ngoài.

Các sản phẩm gỗ sau khi cưa xẻ, trạm khắc, bào xong bề mặt vẫn còn thô chưa bóng mịn, người thợ cần phải chà giấy ráp bằng tay hoặc bằng máy chà cầm tay dẫn đến độ phẳng không đều và độ bóng không cao, năng suất thấp, chi phí trả nhân công nhiều. Do đó, việc thiết kế và chế tạo máy đánh bóng gỗ sáu trục phục vụ cho công nghiệp sản xuất chế biến gỗ là rất cần thiết.

Máy đánh bóng sản phẩm gỗ 6 trục tự động được thiết kế và chế tạo có thể đánh bóng được mọi biên dạng: Rãnh, lồi, lõm, khe, chỉ, mặt nghiêng, hoa văn phức tạp. Không để lại vết xước trên mặt gỗ, không thay đổi cấu trúc, biên dạng gỗ nhất là khi chà hoa văn, phào chỉ, profile [1].



Hình 1. Sử dụng máy chà nhám để tăng tính thẩm mỹ cho sản phẩm

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu các tài liệu về Công nghệ chế tạo máy; cơ sở thiết kế chi tiết máy, trang bị điện trong máy công nghiệp. Nghiên cứu từng quá trình công nghệ, nguyên lý làm việc của từng cụm chi tiết làm cơ sở cho việc thiết kế kết cấu máy [2, 4].

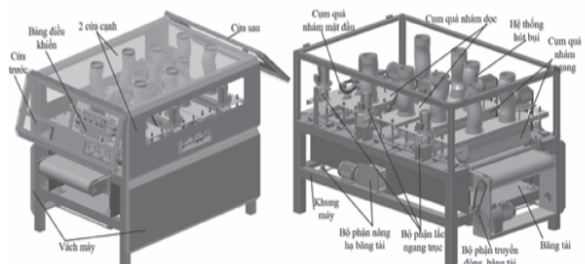
Sử dụng các phần mềm công nghiệp để thiết kế các chi tiết máy, lắp ráp chỉnh sửa hoàn chỉnh mô hình thiết kế. Sử dụng các biến tần để điều khiển thay đổi tốc độ động cơ chổi nhám và động cơ truyền động băng tải. Sử dụng bộ chuyển xích để truyền động bộ nâng hạ mặt bàn băng tải. Sử dụng bộ chuyển đai răng để truyền động các lô nhám chổi. Sử dụng các nguyên vật liệu sẵn có để chế tạo toàn bộ kết cấu máy. Sản xuất thử nghiệm, hiệu chỉnh lại máy [4, 5].

## 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Kết quả thiết kế và chế tạo sản phẩm

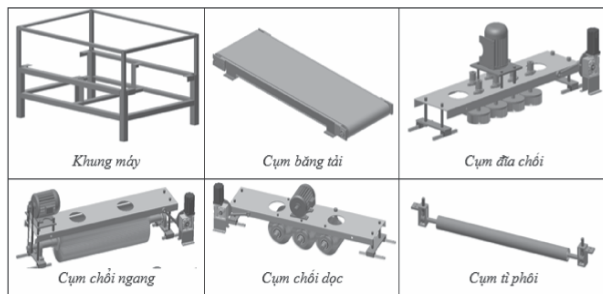
Nghiên cứu các thiết bị có sẵn trên thị trường, để phù hợp với yêu cầu máy đánh bóng sản phẩm gỗ phục vụ trong sản xuất, lựa chọn kết cấu máy (hình 2) gồm các bộ phận cơ bản sau: Khung máy; cụm băng tải và bộ phận nâng hạ băng tải; cụm lô nhám ngang; cụm lô nhám dọc; cụm lô nhám đĩa; cụm truyền động lắc trục; hệ thống hút bụi; hệ thống tủ điện điều khiển và bảng điều khiển.

Hình 2 thể hiện mô hình máy đánh bóng sản phẩm gỗ. Kích thước máy: 2800x1680x1800mm; chiều rộng làm việc 900mm; chiều cao làm việc tối đa 150mm; hai quả lô nhám ngang  $\phi 300\text{mm}$ , dài 900mm; sáu lô nhám dọc dài 300mm; chín đĩa chổi đường kính 180mm; chiều dài băng tải 2800mm, trọng lượng tổng thể 3225Kg.



Hình 2. Mô hình máy đánh bóng sản phẩm gỗ





Hình 3. Các cụm thiết kế chính của máy đánh bóng

Chọn các động cơ điện [3]: Máy được sử dụng các loại động cơ 3 pha, tần số 50Hz.

<p>Động cơ nâng hạ băng tải: Công suất 1,5Kw, tốc độ giảm tốc 20-30 v/p.</p>	<p>Động cơ truyền động băng tải: Công suất 2,2Kw, tốc độ giảm tốc 50 v/p.</p>	<p>02 động cơ trục nhám ngang: Công suất 0,75Kw, tốc độ 1390 v/p.</p>
<p>02 động cơ truyền động trục nhám dọc: Công suất 1,5Kw, tốc độ 1400 v/p.</p>	<p>Động cơ đĩa chải: Công suất 1,5Kw, tốc độ quay 1390 v/p.</p>	<p>Động cơ lực trục: Công suất 0,25Kw, tốc độ quay 20 v/p.</p>

Hình 4. Các loại động cơ điện

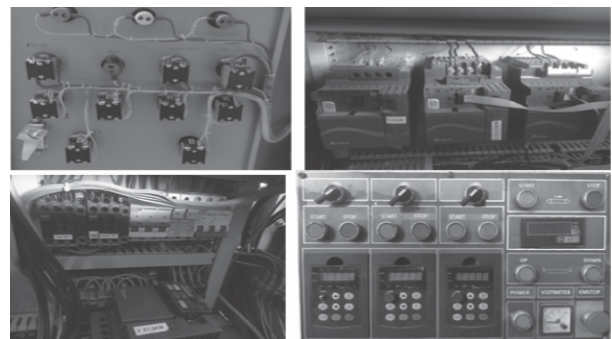
- Thiết kế chế tạo khung máy: Khung máy được chế tạo bằng thép hộp 100x100x5mm; thép V100x100x5mm; thép hộp 50x50x5mm được cắt theo kích thước bản vẽ và hàn lại với nhau tạo thành một khối có độ cứng vững cao, có khả năng giảm rung động khi gia công. Mặt bàn máy làm bằng thép tấm 2400x260x8mm.

- Trên cơ sở bản thiết kế tiến hành chế tạo các bộ phận của máy, lắp ráp mô hình, kiểm tra độ song song, vuông góc và hiệu chỉnh sự ăn khớp của các chi tiết máy, kết quả thể hiện như hình 8 [3].



Hình 5. Tổng thể máy đánh bóng sau khi chế tạo, lắp ráp, sơn hoàn thiện

- Hệ thống tủ điện máy đánh bóng gỗ:



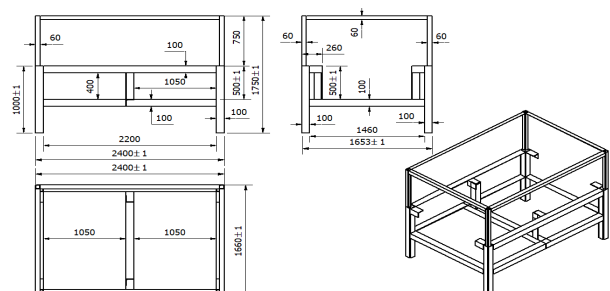
Hình 6. Hệ thống tủ điện điều khiển và bảng điều khiển

- Kết cấu các lô nhám:



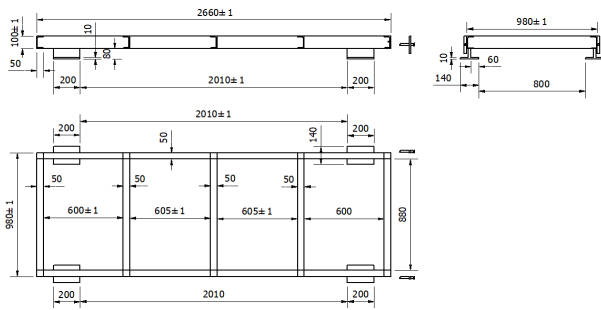
Hình 7. Các quả lô nhám

- Một số bản vẽ kết cấu và kích thước chi tiết máy:

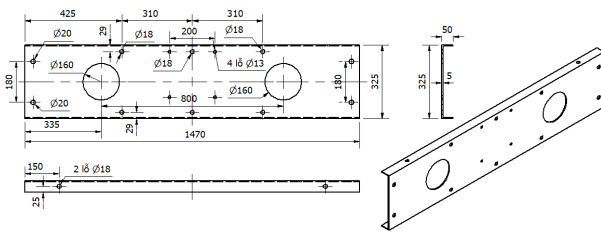


Hình 8. Kết cấu và kích thước khung máy

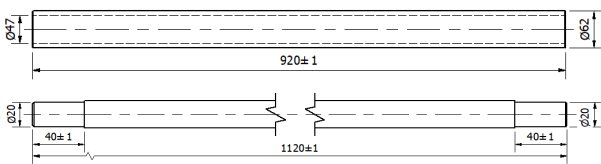




Hình 9. Kết cấu cụm băng tải



Hình 10. Bản vẽ chi tiết tấm đỡ



Hình 11. Bản vẽ con lăn tỳ phôi

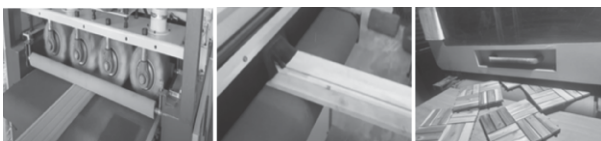
### 3.2. Chạy thử nghiệm

Các vĩ gỗ, thanh gỗ trước khi đánh bóng, bề mặt thô ráp.

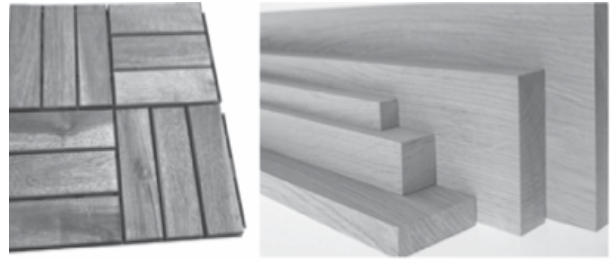


Hình 12. Các vĩ gỗ và thanh gỗ bán thành phẩm

- Các thanh gỗ được đưa vào máy đánh bóng.



Hình 13. Thanh gỗ được đưa vào máy đánh bóng



Hình 14. Sản phẩm sau khi đã đánh bóng

### 3.3. Bàn luận kết quả thực nghiệm

- Kết quả vận hành thử nghiệm máy đánh bóng gỗ cho thấy: Máy có độ cứng vững cao, chuyển động các trục nhám êm và linh hoạt, không gây ra rung động và tiếng ồn khi làm việc, chuyển động lắc ngang đều tránh được sự mài mòn cụm bộ lô nhám, thay đổi tốc độ quá lô và điều chỉnh độ cao sản phẩm dễ dàng.

- Sản phẩm sau khi đánh bóng trên máy cho bề mặt nhẵn bóng cao hơn nhiều; Đánh bóng được mọi biên dạng: Rãnh, lồi, lõm, khe, chỉ, mặt nghiêng, hoa văn phức tạp; Không để lại vết xước trên mặt gỗ, không thay đổi cấu trúc, biên dạng gỗ nhất là khi chà hoa văn, phào chỉ, profile.

- Giảm được nhân công lao động, nâng cao năng suất, từ đó giảm được giá thành sản phẩm.

### 4. KẾT LUẬN

- Đã thiết kế và chế tạo thành công máy đánh bóng gỗ sử dụng công nghệ nhám chổi với đầy đủ chức năng và công dụng, kết cấu máy vững chắc, các chuyển động êm và linh hoạt, thao tác máy đơn giản, thuận tiện cho người vận hành. Giá thành rẻ hơn 1/2 so với một số máy có trên thị trường.



- Máy đánh bóng gỗ có độ an toàn cao, dễ dàng điều chỉnh chiều cao phôi và độ căng của băng tải, tốc độ của băng tải được điều chỉnh vô cấp, tốc độ các quả lô được điều chỉnh bằng các biến tần.

- Máy đánh bóng được mọi biên dạng: Rãnh, lồi, lõm, khe, chỉ, mặt nghiêng, hoa văn phức tạp; Không để lại vết xước trên mặt gỗ, không thay đổi cấu trúc, biên dạng gỗ nhất là khi chà hoa văn, phào chỉ, profile; Bề mặt được đánh bóng có độ phẳng và nhẵn bóng cao.

- Máy được chế tạo tại Xưởng Cơ khí, Trường Đại học Thái Bình và chuyển giao công nghệ cho xưởng sản xuất, chế biến gỗ xuất khẩu phường Tiền Phong, thành phố Thái Bình, giúp phân xưởng có thêm thiết bị tối ưu hơn trong sản xuất.

- Khẳng định hoàn toàn có thể tự chế tạo các máy tự động bằng công nghệ, thiết bị và

vật liệu hiện có trong nước nhằm phục vụ công nghiệp nói chung và công nghiệp chế biến gỗ xuất khẩu nói riêng. ❖

Ngày nhận bài: **02/12/2023**

Ngày phản biện: **25/12/2023**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. TS. Hoàng Tiến Đương (2010); *Công nghệ chế biến gỗ*, NXB. Nông nghiệp.
- [2]. Nguyễn Trọng Hiệp, Nguyễn Văn Lắm (1993); *Thiết kế chi tiết máy*, NXB. Giáo dục, Hà Nội.
- [3]. PGS,TS. Đặng Thiện Ngôn (2021); *Trang bị điện điện tử trong máy công nghiệp*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [4]. Nguyễn Văn Huyền (2002); *Cẩm nang kỹ thuật cơ khí*, NXB. Xây dựng, Hà Nội.
- [5]. Trần Công Thức và các cộng sự (2020); *Thiết kế và vẽ trên máy tính với Autodesk Inventor*, NXB. Khoa học Kỹ thuật.

# ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT (S VÀ V) TỚI ĐỘ NHÁM BỀ MẶT CỦA CHI TIẾT GIA CÔNG TRÊN MÁY TIỆN CNC EMCO TURN E65 VỚI VẬT LIỆU THÉP C45

INFLUENCE OF CUTTING MODE PARAMETERS (S AND V) ON SURFACE ROUGHNESS OF MACHINED PARTS ON EMCO TURN E65 CNC LATHE WITH C45 STEEL MATERIAL

ThS. **Đậu Tấn Cường**, ThS. **Trần Văn Giang**, ThS. **Nguyễn Chương Đạo**  
Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

## TÓM TẮT

*Ngày nay, nền công nghiệp gia công cơ khí đang hướng tới một công nghệ đảm bảo độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt chi tiết đòi hỏi ngày càng cao. Vì thế, các loại máy công cụ điều khiển số NC, CNC là lựa chọn hàng đầu, nhưng sử dụng máy như thế nào cho phù hợp là vấn đề cấp thiết.*

*Do đó, việc nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt (S, V) đến chất lượng bề mặt khi tiện trên máy CNC Emco Turn E65 với vật liệu thép C45 nhằm đưa ra khuyến cáo cho giảng viên, sinh viên thực hành trên máy có thể chọn đúng các thông số chế độ cắt phù hợp để gia công sản phẩm (bài tập của sinh viên) là vấn đề cần thiết.*

**Từ khóa:** Ảnh hưởng; Chế độ cắt; Chất lượng bề mặt; Máy tiện Emco Turn E65.

## ABSTRACT

*Today, the mechanical processing industry is moving towards a technology that ensures machining accuracy and surface quality of parts is increasingly demanding. Therefore, NC and CNC numerical control machine tools are the top choice, but how to use the machine appropriately is an urgent issue.*

*Therefore, studying the effects of cutting modes (S, V) on surface quality when turning on Emco Turn E65 CNC machine with C45 steel material is to provide recommendations for lecturers and students practicing on the machine. Being able to choose the right cutting parameters to process the product (student exercise) is a necessary issue.*

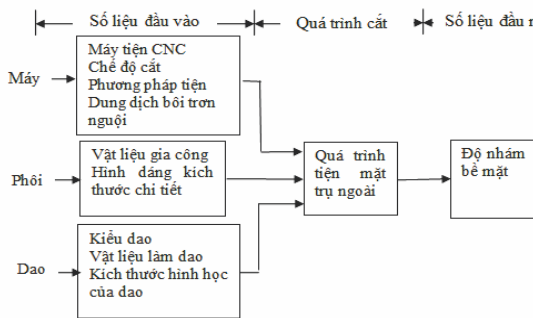
**Keywords:** Affect; Cutting mode; Surface quality; Emco Turn E65 lathe.



1. MỞ ĐẦU

Trong gia công cắt gọt nói chung và gia công trên máy CNC nói riêng, có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác gia công và chất lượng bề mặt chi tiết máy. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình cắt bao gồm: Hệ thống công nghệ, chế độ cắt, dung dịch trơn nguội, vật liệu làm dụng cụ cắt và vật liệu gia công, v.v...

Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt thể hiện trên hình 1. Trong đó, đầu vào là các thông số của quá trình tiện, còn đầu ra là độ nhám bề mặt của chi tiết máy.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm tổng quát.

Thông qua điều chỉnh các thông số chế độ cắt S và V, ta xác định độ nhẵn của bề mặt của chi tiết gia công tương ứng với mỗi trị số S và V khác nhau, từ đó tìm ra mối liên hệ giữa S và V tới độ nhẵn của bề mặt chi tiết gia công.

2. CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VÀ QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM

2.1. Các thông số công nghệ cơ bản của hệ thống thí nghiệm

2.1.1. Máy cắt

Máy tiện được sử dụng trong các thí

nghiệm cắt là máy tiện CNC Emco Turn E65. Các thông số cơ bản của máy trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của máy tiện CNC Emco Turn E65.

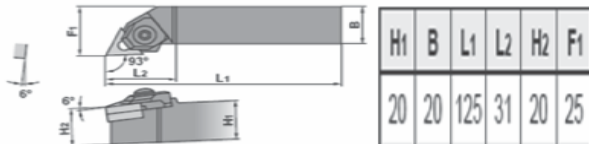
Khả năng của máy	Đường kính phôi tiện lớn nhất	500mm
	Chiều dài tiện lớn nhất	520mm
Hành trình	Hành trình trục X, Z	260/610mm
	Hành trình trục Y	40mm
Trục chính	Tốc độ quay lớn nhất của trục chính	5000v/p
Đài dao	Số vị trí dao	12
	Chiều cao gá thân dao vuông	20mm
	Chiều cao gá thân dao tròn	25mm
	Thời gian thay dao	02/0.3s
Bước tiến	Bước tiến nhanh	X:15000 mm/ph
		Z:20000 mm/ph
Động cơ	Điều khiển động cơ trục chính	7.5KW
Kích thước của máy	Chiều cao máy	2010mm
	Chiều rộng máy	2010mm
	Chiều dài của máy	2348mm
	Trọng lượng máy	6000kg

2.1.2. Dụng cụ cắt

- Loại dao: Dao tiện ngoài;
- Ký hiệu: CCMT060204 NX2525 của hãng MISUBISHI;
- Vật liệu làm dao: Hợp kim cứng có phủ cacbit TiN để tiện nhẹ hoặc nặng (có hoặc không có dung dịch trơn nguội) với vật liệu phôi là thép C45;

- Kích thước hình học của dao: Kích thước hình học và các thông số của lưỡi cắt được thể hiện trên hình 2.

Chiều dài: 9, dày 3,97, góc mũi dao  $r = 0,2$ , góc trước  $\gamma = 6^\circ$ , góc mũi dao  $\varepsilon = 80^\circ$ , góc sau  $\alpha = 11^\circ$  và đường kính lỗ bắt vít  $\varnothing 4,4$ .



Hình 2. Thông số kỹ thuật dao tiện ngoài do hãng MISUBISHI sản xuất.

Chế độ cắt gợi ý của nhà sản xuất:

- Vận tốc cắt  $V$ :  $200 \div 310$  m/phút;
- Tốc độ chạy dao  $S$ :  $0,07 \div 0,28$  mm/vòng;
- Chiều sâu mỗi lát cắt  $t$ :  $0,5 \div 2,7$  mm.

### 2.1.3. Phương pháp tiện

Tiện trụ ngoài, chi tiết được gá trên mâm cặp 3 vấu tự định tâm.



Hình 3. Hình ảnh quá trình tiện mẫu trên máy CNC Emco Turn E65.



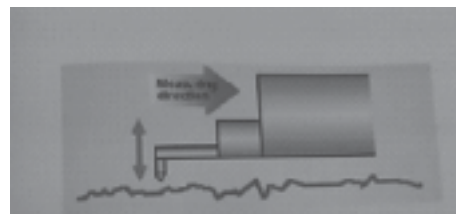
Hình 4. Sản phẩm mẫu khi thí nghiệm.

### 2.1.4. Dung dịch làm nguội

Trong khi cắt sử dụng dung dịch làm nguội emuxin 5% để làm nguội vùng cắt, khi cắt dung dịch được phun trực tiếp vào vùng gia công với lưu lượng 20 (L/phút).

### 2.1.5. Thiết bị đo độ nhám chi tiết sau gia công

Việc đo độ nhám của chi tiết sau gia công được thực hiện bằng máy đo độ nhám. Việc đo được thực hiện trên máy đo TR200 của hãng Time Group Inc, xuất xứ Trung Quốc, sử dụng đầu dò cơ học, chọn khoảng dò chuẩn  $L = 3$ mm, đường kính đầu dò  $1\mu\text{m}$ , kết quả đo lấy theo tiêu chuẩn ISO. Hình ảnh máy và hình ảnh quá trình đo được mô phỏng trên hình 4 và hình 5 của Phòng Thí nghiệm Đo lường, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.



Hình 5. Đầu đo thực hiện đo độ nhám.

Hình 5 là sơ đồ đầu đo để thực hiện việc đo độ nhám. Chiều tiến của đầu đo là từ ngoài vào trong.



## 2.2. Tiến trình thí nghiệm

### ➤ Xây dựng ma trận quy hoạch thực nghiệm

Các thông số đầu vào được mã hóa là:  $X_1 = S$ ,  $X_2 = V$ . Khi đó, số điểm thí nghiệm cần thiết  $N$  là:  $N = 2^n$  [2].

Trong đó,  $n$  là thông số đầu vào,  $n = 2$ , do đó  $N = 2^2 = 4$  (điểm). Từ đó, ta tiến hành thí nghiệm với kết quả sau.

Bảng 2. Kết quả đo 4 mẫu thí nghiệm.

Mẫu	Thông số đầu vào		Kết quả đầu ra
	S (mm/v)	V (m/p)	$R_a$ ( $\mu$ m)
1	0.07	200	0.159
2	0.15	200	0.371
3	0.07	300	0.104
4	0.15	300	0.376

Bảng 3. Ma trận thực nghiệm.

Số TN	Thông số đầu vào (dạng mã hóa)		Thông số đầu vào (Giá trị thực)		Thông số đầu ra
	$X_1$	$X_2$	S (mm/v)	v (mm/P)	$R_a$ ( $\mu$ m)
1	-1	-1	0.07	200	0.159
2	1	-1	0.15	200	0.371
3	-1	1	0.07	300	0.104
4	1	1	0.15	300	0.376

Xử lý số liệu bằng phần mềm Matlab 7.9.0

Phương trình biểu hiện mối quan hệ kết hợp giữa các thông số đầu vào và thông số đầu ra có dạng phương trình [4]:

$$R_a = C.S^x.V^y \quad (3.1)$$

Ta lấy ln cả hai vế của phương trình (3.1), ta có:

$$\ln R_a = \ln C + x.\ln S + y.\ln V \quad (3.2)$$

Đặt:  $\ln R_a = Y$ ;  $\ln C = a_0$ ;  $\ln S = X_1$ ;  $\ln V = X_2$ , phương trình (3.2) trở thành:

$$Y = a_0 + a_1.X_1 + a_2.X_2 \quad (3.3)$$

Như vậy,  $Y$  quan hệ với  $X_1$ ,  $X_2$  theo dạng hàm số có nhiều biến số. Để xác định  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , ta áp dụng phương pháp BPNN.

Ma trận chế độ cắt  $S$ ,  $V$  (ma trận thông số đầu vào) và ma trận ln của chế độ cắt  $\ln S, V$ .

$$S, V = \begin{bmatrix} 0,07 & 200 \\ 0,07 & 200 \\ 0,15 & 300 \\ 0,15 & 300 \end{bmatrix} \quad \ln S, V = \begin{bmatrix} 5,2983 & -2,6593 \\ 5,2983 & -1,8971 \\ 5,7038 & -2,6593 \\ 5,7038 & -1,8971 \end{bmatrix}$$

Từ đó có ma trận tham số  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 5,2983 & -2,6593 \\ 1 & 5,2983 & -1,8971 \\ 1 & 5,7038 & -2,6593 \\ 1 & 5,7038 & -1,8971 \end{bmatrix}$$

$$X^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5,2983 & 5,2983 & 5,7038 & 5,7038 \\ -2,6593 & -1,8971 & -2,6593 & -1,8971 \end{bmatrix}$$

Ma trận  $M = X^T \cdot X$

$$M = \begin{bmatrix} 4,0000 & 22,0042 & -9,1128 \\ 22,0042 & 121,2106 & -50,1300 \\ -9,1128 & -50,1300 & 21,3417 \end{bmatrix}$$

Ma trận nghịch đảo của ma trận  $M$ :

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 193,2228 & -33,4552 & 3,9215 \\ -33,4552 & 6,0816 & -0,0000 \\ 3,9215 & -50,1300 & 21,3417 \end{bmatrix}$$

Ma trận đầu ra ( $R_a$ ) và ma trận  $\ln R_a$  được xác định như sau:

$$R_a = \begin{bmatrix} 0,159 \\ 0,371 \\ 0,104 \\ 0,376 \end{bmatrix} \quad Y = \ln R_a = \begin{bmatrix} -1,8389 \\ -0,9916 \\ -2,2643 \\ -0,9782 \end{bmatrix}$$

Từ đó, ta có ma trận hệ số được xác định như sau:

$$a = M^{-1} \cdot M^T \cdot Y$$

$$a = \begin{bmatrix} 4,4577 \\ -0,5069 \\ 1,3989 \end{bmatrix}$$

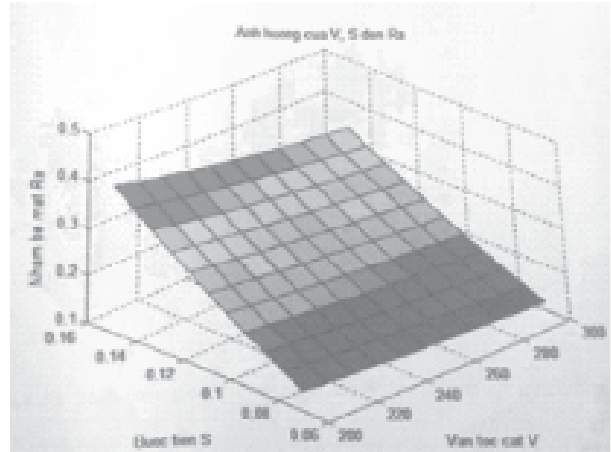
Với  $a_0 = 4,457 \Rightarrow C = e^{a_0} = 2,7183^{4,45} = 86,2914$ .

Thay các giá trị  $C$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  vào biểu thức (3.1), ta có quan hệ giữa độ nhám bề mặt và chế độ cắt thực nghiệm là:

$$R_a = 86,2914 \cdot V^{-0,5069} \cdot S^{1,399}$$

Các kết quả trên được tính toán bằng phần mềm Matlab 7.9.0 với chương trình sau:

```
>> % chương trình hệ số quan hệ
>> SV = [ ]; % Nhập ma trận chế độ cắt
>> lnSV = log ( SV); % Lấy ln ma trận chế độ cắt
>> Mos = ones (4,1); % Tạo ma trận đơn vị 1 cột 4 hàng
>> X = [ Mos ln SV]; % Gộp ma trận đơn vị và ma trận lnSV
% Để tạo ra ma trận tham số
>> XT = X-1; % Chuyển vị ma trận tham số
>> M = XT* X; % Tạo ma trận M
>> M1 = M-1; % Ma trận nghịch đảo ma trận M
>> Ra = [ ]; % Nhập ma trận độ nhám
>> Y = log(Ra); % Lấy ln của ma trận độ nhám
% Để tạo ra ma trận hàm số
```



Hình 6. Ảnh hưởng của  $S$ ,  $V$  đến nhám bề mặt  $R_a$ .

### 3. KẾT LUẬN CHUNG, KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

#### ➤ Kết luận

- Tiềm tốc độ cao trên máy CNC hiện nay là một xu hướng phát triển chung trong gia công cắt kim loại nhằm nâng cao năng suất gia công và chất lượng bề mặt chi tiết máy. Các nghiên cứu trên cho thấy tiềm cao tốc trên máy CNC đã làm tăng độ nhám bề mặt lên 1 đến 2 cấp so với tiềm thông thường cùng một điều kiện gia công như máy, dụng cụ, chế độ cắt [5].

- Trong quá trình tiềm cao tốc trên máy CNC, ảnh hưởng của tốc độ chạy dao cũng như vật liệu chi tiết gia công đến độ nhám bề mặt cũng tương tự như tiềm thông thường. Khi tiềm tốc độ cao trên máy CNC không nên thực hiện với tốc độ chạy dao quá bé, khi tiềm các vật liệu có độ dẻo dai cao vì khi đó sẽ làm tăng độ nhám bề mặt chi tiết [5].

- Khi tăng vận tốc cắt lên thì nhám bề mặt có xu thế giảm xuống, nhưng từ vận tốc cắt  $v = 200 \div 300 \text{ m/p}$  thì nhám bề mặt giảm không đáng kể. Điều đó lý giải với dây tốc cắt thì mức độ biến dạng khi tạo phoi là như nhau, do đó

biến dạng dẻo tới độ nhám bề mặt là như nhau. Tuy nhiên, khi tăng vận tốc cắt lớn hơn 300m/p thì do rung động lớn làm cho độ nhám bề mặt cũng tăng lên [3].

=> Do vậy, một vấn đề cần giải quyết ở đây là khi tiện với vận tốc cắt cao thì phải rung động của quá trình cắt.

➤ Quan hệ giữa chế độ cắt với độ nhám bề mặt khi tiện trên máy CNC Emco Turn E65 được thiết lập như sau:  $R_a = 86,2914 \cdot V^{-0,5069} \cdot S^{1,399}$

➤ Kiến nghị

Có thể áp dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tế sản xuất và làm tài liệu tham khảo cho giảng viên giảng dạy và cho sinh viên học tập tại xưởng của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.

➤ Hướng nghiên cứu tiếp theo

Để ứng dụng tiện tốc độ cao trên máy CNC vào trong sản xuất thì không chỉ nghiên cứu đến độ nhám bề mặt mà còn phải tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng đến các yếu tố khác như tuổi bền dụng cụ cắt, nhiệt cắt sinh ra trong khi tiện, độ biến cứng bề mặt và ứng suất dư gây ra trong khi tiện. Do đó, một số hướng nghiên cứu tiếp theo trong tương lai là:

- Nghiên cứu độ bền dụng cụ cắt khi tiện cao tốc;

- Nghiên cứu nhiệt sinh ra trong vùng cắt và ảnh hưởng của nhiệt cắt tới chi tiết gia công;

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới độ biến cứng và ứng suất dư trong lớp bề mặt chi tiết máy;

- Nghiên cứu ảnh hưởng của rung động đến chất lượng bề mặt của chi tiết gia công. ❖

Ngày nhận bài: **16/11/2023**

Ngày phản biện: **11/12/2023**

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Trọng Bình, Nguyễn Thế Đạt, Trần Văn Địch, Nguyễn Văn Huyền, Nguyễn Đắc Lộc, Lê Văn Tiến, Nguyễn Viết Tiếp, Đỗ Đức Túy, Trần Xuân Việt, Lê Văn Vĩnh (2002), *Công chế tạo máy*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Nguyễn Văn Kháng (2006), *Quy hoạch thực nghiệm*, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Hà Nội.
- [3]. Trần Văn Địch (2003), *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Ngọc Đào, Hồ Viết Bình, Trần Thế Sang (2002), *Chế độ cắt gia công cơ khí*, NXB. Đà Nẵng.
- [5]. Phạm Ngọc Tuấn, Nguyễn Văn Tường (2007), *Các phương pháp gia công đặc biệt*, NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CHÁY NHIÊN LIỆU DẦU DO TRONG BUỒNG ĐỐT LÒ HƠI ỐNG LÒ – ỐNG LỬA VỚI HỆ SỐ XOÁY $S = 0,6$

AN EXPERIMENTAL STUDY OF COMBUSTION PROCESS OF DO FUEL IN FIRE TUBES BOILER CHAMBER WITH SWIRL NUMBER  $S = 0.6$

Nguyễn Thanh Hà

Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh

## TÓM TẮT

*Dòng phun nhiên liệu dầu DO có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí trước cũng như trong quá trình cháy ổn định của ngọn lửa trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa. Do đó, đã có nhiều các nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng số nghiên cứu quá trình cháy nhiên liệu dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa. Bài báo này giới thiệu một nghiên cứu thực nghiệm quá trình cháy nhiên liệu dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa với hệ số xoáy  $S = 0,6$  nhằm mục đích cải tiến đầu đốt thông thường dựa trên quan hệ giữa hệ số xoáy và góc tạo xoáy cùng với những ứng dụng của đầu đốt tạo xoáy trong nghiên cứu thực nghiệm xác định hiệu quả của dòng xoáy lên ngọn lửa của dòng phun rối xoáy hai pha trong buồng đốt lò hơi.*

**Từ khóa:** Lò hơi ống lò – ống lửa; Dầu DO; Khí thải; Buồng đốt; Hệ số xoáy.

## ABSTRACT

*The DO fuel injection flow has a great influence on the mixing process between fuel and air before as well as during the stable combustion process of the fire in the fire tube boiler combustion chamber. Therefore, there have been many theoretical studies and numerical simulations studies the combustion process of DO fuel in the fire tube boiler combustion chamber. This article introduces an experimental study on the combustion process of DO fuel in the combustion chamber of a fire tube boiler with swirl number  $S = 0.6$  with the aim of improving a conventional burner based on the relationship between the vortex coefficient and the vortex generation angle along with Applications of vortex generator burners in experimental research to determine the effect of vortex flow on the flame of two-phase vortex jet flow in the fire tube boiler combustion chamber.*

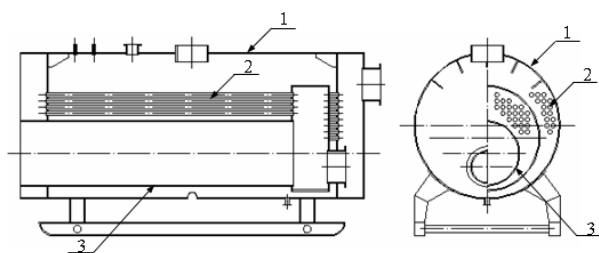
**Keywords:** Fire tube boiler; DO fuel; Emissions; Combustion chamber; Swirl number. 

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, các công trình nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng số quá trình cháy dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa đã và đang được thực hiện nhiều trong bối cảnh ô nhiễm môi trường do khí thải  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng cuộc sống. Đây là những nghiên cứu không những phức tạp về bản chất mà còn về định lượng khi diễn tả bằng các phương trình toán học [1 ÷ 4].

Mặc dù nghiên cứu thực nghiệm cho hiệu quả không cao như mong muốn vì tiêu tốn nhiều công sức, thời gian, kinh phí và hạn chế về dụng cụ đo có độ chính xác cao. Nhưng đây là một trong những phương pháp dùng để đánh giá khách quan tính đúng đắn kết quả nghiên cứu lý thuyết [5].

Buồng đốt là hệ thống thiết bị và không gian để tiến hành các giai đoạn của quá trình cháy nhiên liệu. Buồng đốt có nhiệm vụ chính là: có khả năng đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu với lượng không khí thừa là nhỏ nhất trong phạm vi thay đổi phụ tải lớn nhất, có kích thước nhỏ gọn, có cấu tạo đơn giản, rẻ tiền... Lò hơi ống lò – ống lửa là thiết bị thông dụng trong công nghiệp như minh họa trong hình 1.

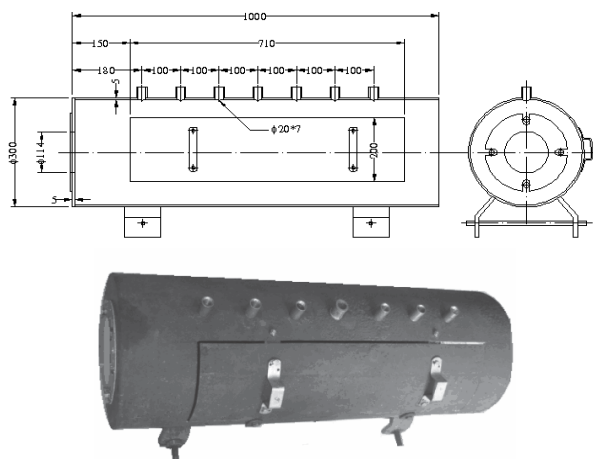


Hình 1. Cấu tạo lò hơi ống lò – ống lửa:  
1 – Thân lò; 2 – Ống lửa; 3 – Ống lò

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BUỒNG ĐỐT LÒ HƠI ỐNG LÒ – ỐNG LỬA

### 2.1. Buồng đốt

Mô hình buồng đốt được xây dựng là một hình trụ bằng thép chịu nhiệt có kích thước: dài  $L = 1000\text{mm}$ , đường kính  $\phi = 300\text{mm}$ . Béc đốt được chế tạo và lắp đặt vào buồng đốt có công suất  $115\text{kW}$  như minh họa trong hình 2.



Hình 2. Mô hình buồng đốt hình trụ nằm ngang

### 2.2. Thiết bị đo thực nghiệm

Mô hình buồng đốt được gắn với thiết bị đo và chụp ảnh là hệ thống AVL Visioscope do Austria lắp đặt tại Trung tâm Điều khiển và Xử lý số liệu, Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh.

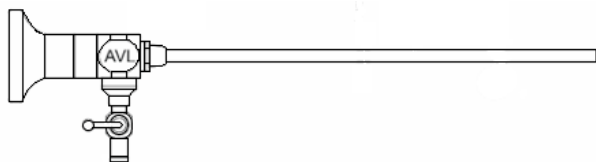
Đầu CCD camera pixelfly VGA color (Hình 3) thu nhận hình ảnh, màu sắc và cường độ sáng với độ phân giải là  $640 \times 480$  pixels [6].



Hình 3. CCD camera pixelfly VGA color

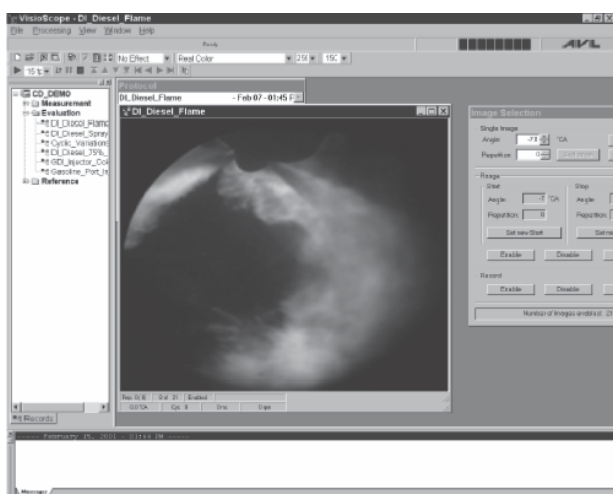


Ống nội soi có một đầu được gắn với CCD Camera PixelFly (Hình 3), đầu còn lại được đưa vào buồng đốt thông qua các lỗ  $\phi 20$  được khoan sẵn trên thân buồng đốt như minh họa trong hình 2 để hỗ trợ camera thu nhận hình ảnh và thông số của ngọn lửa bên trong buồng đốt (Hình 4).



Hình 4. Ống nội soi M10

Bộ xử lý đã có phần mềm AVL VisioScope được lập trình sẵn để ứng dụng trong việc so sánh các hình ảnh thu được từ CCD Camera PixelFly với nguồn sáng chuẩn do thiết bị cung cấp (Hình 5).

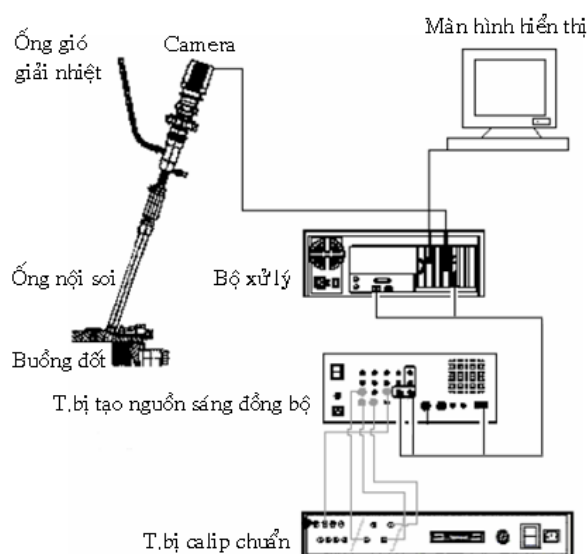


Hình 5. Giao diện phần mềm AVL VisioScope

### 2.3. Nguyên lý đo

Các tín hiệu hình ảnh từ ngọn lửa được chụp bằng CCD Camera PixelFly thu nhận hình ảnh dưới dạng dữ liệu số 12 bit có độ phân giải là 640x480 pixels. Sau đó, dữ liệu số này được đem so sánh với hình ảnh mẫu chuẩn do

nhà chế tạo cung cấp thông qua phần mềm phân tích hình ảnh ngọn lửa đã được lập trình sẵn trong bộ xử lý tín hiệu (Intel Pentium IV, 4.0, sai số chuẩn nằm trong khoảng  $\pm 0,2\%$ ), từ đó cho ta các thông số về hình ảnh màu nhiệt độ của ngọn lửa trong quá trình cháy và thành phần bỏ hống trong sản phẩm cháy như minh họa trong hình 6.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý đo trên AVL VisioScope



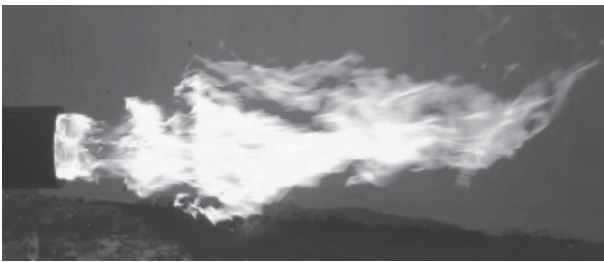
Hình 7. Mô hình bố trí thiết bị đo thông số ngọn lửa

Việc cài đặt chế độ đo nhiệt độ trong buồng đốt tùy thuộc vào từng trường hợp đo

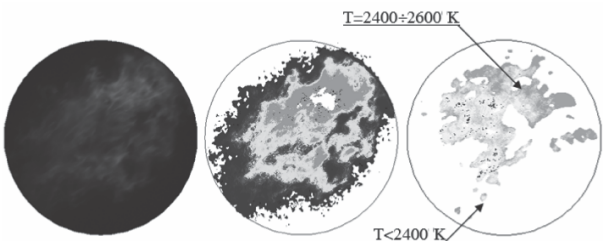
cụ thể. Đối với thí nghiệm cháy dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa thì các quá trình được tiến hành theo các bước như sau: Định vị đầu nội soi, lắp ghép đường ống gió làm mát ống nội soi, nối cáp CCD camera với bộ xử lý, khởi động bộ xử lý, chạy chương trình AVL VisioScope, khai báo thông tin thí nghiệm, cài đặt chế độ ghi hình, xử lý hình ảnh.

### 3. ỨNG DỤNG NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CHÁY DẦU DO TRONG BUỒNG ĐỐT LÒ HƠI ỐNG LÒ – ỐNG LỬA

Tiến hành đốt dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa với hệ số xoáy  $S = 0,6$ , áp suất phun  $p = 10$  bar, lưu lượng dầu  $m = 9,6$  kg/h cho hình ảnh ngọn lửa cháy ổn định như minh họa trong hình 8.



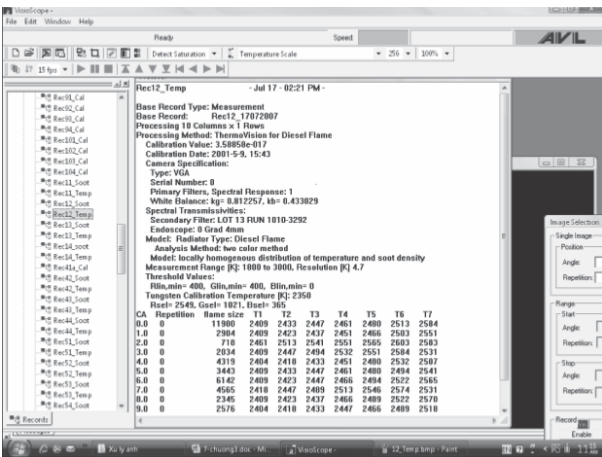
Hình 8. Hình ảnh ngọn lửa khi đốt dầu DO



Hình 9. Phân bố nhiệt độ ngọn lửa phân tích bằng AVL VisioScope

Ảnh màu nhiệt độ sau khi phân tích bằng AVL VisioScope trong mặt phẳng chứa đường tâm đối xứng của ngọn lửa dọc theo chiều dài buồng đốt như minh họa trong hình 9,

và thông số biểu diễn dưới dạng số bằng AVL VisioScope được minh họa trong hình 10.

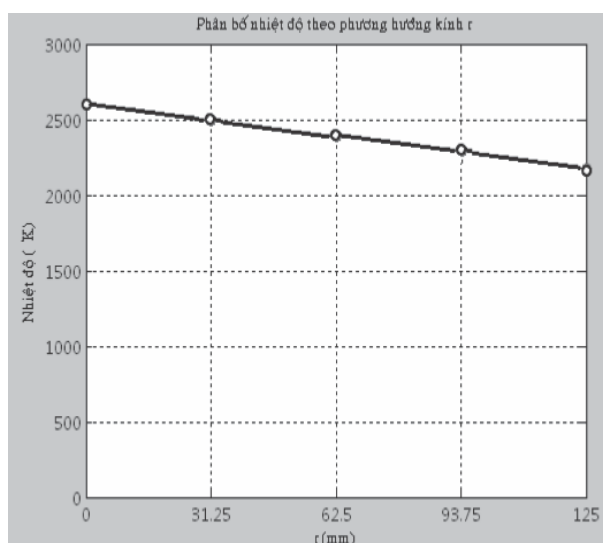


Hình 10. Giao diện xử lý số liệu bằng AVL VisioScope

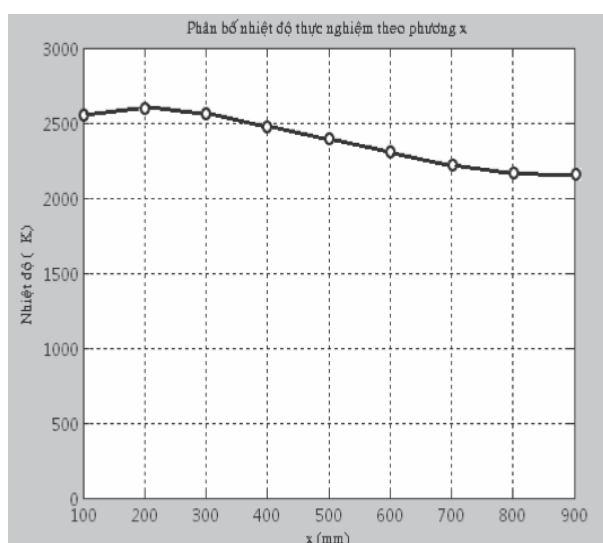
Dưới đây là bảng thông số nhiệt độ biểu diễn dưới dạng số được đo từ ảnh màu nhiệt độ bằng phần mềm xử lý số liệu AVL VisioScope tại các vị trí đo dọc theo chiều dài ngọn lửa khi đốt dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa.

Chiều hướng kính r	Chiều dọc trục x			
	200mm	300mm	400mm	500mm
0mm	2570K	2603K	2582K	2400K
62,6mm	2379K	2388K	2392K	2392K
125mm	2184K	2198K	2197K	2193K

Đường cong phân bố nhiệt độ theo phương hướng kính r và phương dọc trục x khi chạy bằng Matlab 6.5 được minh họa như hình 11 và hình 12.



Hình 11. Đường cong phân bố nhiệt độ theo phương hướng kính r



Hình 12. Đường cong phân bố nhiệt độ theo phương dọc trục x

Như vậy, phân bố nhiệt độ của ngọn lửa trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa có thể được chia thành ba vùng theo ba màu khác nhau bằng thiết bị đo phân tích hình ảnh AVL VisioScope như sau:

- Vùng màu vàng cam có nhiệt độ từ 2400K ÷ 2600K;

- Vùng màu vàng đậm có nhiệt độ từ 2200K ÷ 2400K;

- Vùng màu đỏ hồng có nhiệt độ từ 2000K ÷ 2200K.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ phân tích hình ảnh ngọn lửa trong quá trình thực nghiệm cho thấy phân bố nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất tại vùng tâm cháy, càng xa tâm cháy nhiệt độ ngọn lửa càng giảm mạnh. Khi đốt nhiên liệu với hệ số xoáy  $S = 0,6$  cho thấy ngọn lửa cháy rất mãnh liệt và ổn định. Hình ảnh phân bố nhiệt độ của ngọn lửa tương đối cân xứng.

Trường hợp đốt nhiên liệu dầu DO trong môi trường không khí với thành phần không khí thừa vừa đủ bằng béc phun được gia công có các thông số kỹ thuật như hệ số xoáy  $S = 0,6$ , áp suất phun sương  $p = 10$  bar, lưu lượng nhiên liệu lớn nhất  $G = 9,6$  kg/h, ta có: Công suất  $Q = 115$  kW, đường kính ngọn lửa  $D = 250$  mm, chiều dài ngọn lửa  $L = 780$  mm.

Nghiên cứu thực nghiệm dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt trong buồng đốt cho thấy khi hệ số xoáy, nhiệt độ, thành phần pha thay đổi thì cường độ cháy, kích thước ngọn lửa cũng thay đổi theo.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm quá trình cháy nhiên liệu dầu DO trong buồng đốt lò hơi ống lò – ống lửa có thể được dùng làm cơ sở để đánh giá các nghiên cứu mô phỏng số tương ứng. ❖

Ngày nhận bài: 23/10/2023

Ngày phản biện: 20/11/2023



### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Thanh Hào, Nguyễn Thanh Nam; “*Một ứng dụng mô hình số của dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt trong buồng đốt*”, Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ, 2005.
- [2]. Nguyễn Thanh Hào, Nguyễn Thanh Nam; “*Ứng dụng phương pháp khối hữu hạn giải hệ phương trình dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt trong buồng đốt*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các Trường Đại học Kỹ thuật, 2006.
- [3]. Nguyễn Thanh Hào, Nguyễn Thanh Nam; “*Nghiên cứu mô phỏng số động năng rối và tốc độ tiêu tán rối quá trình cháy dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt trong buồng đốt công nghiệp*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt, 2008.
- [4]. Nguyễn Thanh Hào, Nguyễn Thanh Nam; “*Nghiên cứu mô phỏng số phân bố vận tốc của dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt trong buồng đốt lò hơi công nghiệp*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt, 2007.
- [5]. Nguyễn Thanh Hào, Nguyễn Thanh Nam; “*Nghiên cứu thực nghiệm đầu đốt tạo xoáy và ảnh hưởng của hệ số xoáy lên quá trình cháy dòng phun rối xoáy hai pha*”, Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ, 2007.
- [6]. Engine Instrumentation AVL. *Operating Manual AVL Visioscope. AVL LIST GMBH Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz/Austria*, <http://www.avl.com/visiolution>.

# TÌM HIỂU CÔNG NGHỆ MÀI KHI MÀI HỢP KIM TITAN BẰNG ĐÁ MÀI CBN

## STUDYING ABOUT GRINDING TECHNOLOGY WHEN GRINDING TITAN ALLOYS WITH CBN GRINDING WHEEL

Lương Hải Chung<sup>1\*</sup>, Trương Hoàn Sơn<sup>2</sup>, Nguyễn Kiên Trung<sup>2</sup>,  
Trần Văn Hướng<sup>2</sup>, Nguyễn Khắc Chính<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

<sup>2</sup>Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội


### TÓM TẮT

Mài là một trong những nguyên công quan trọng trong lĩnh vực gia công cắt gọt kim loại. Mùi được xem là quá trình gia công tinh cuối cùng sau khi được gia công bằng các phương pháp như hàn, tiện, phay, bào,... nhằm xử lý độ phẳng, nhẵn bóng bề mặt, loại bỏ bavaria của chi tiết gia công. Hiện nay, quá trình ứng dụng vật liệu có khả năng chịu nhiệt, độ bền, độ cứng cao vào chế tạo thiết bị y tế đang ngày càng lớn, mỗi năm cả nước có tới hàng chục nghìn trường hợp cần nẹp xương, trồng răng, làm van tim... Vật liệu hợp kim Titan nhờ đặc tính chống ăn mòn tốt và chịu nhiệt cao, đồng thời tương thích sinh học tốt nên được ứng dụng rộng rãi trong y tế để làm các bộ phận giả, thay thế các cơ quan trong cơ thể, đặc biệt là xương. Các chi tiết làm từ hợp kim Titan thường có độ bền và độ cứng rất cao, do đó nếu gia công bằng các phương pháp như phay, tiện sẽ khó khăn và độ nhẵn bóng bề mặt không cao như phương pháp mài. Như vậy, việc ứng dụng phương pháp mài vào quá trình sản xuất thiết bị y tế là rất cần thiết, đặc biệt đá mài CBN và đá mài kim cương được sử dụng phổ biến để gia công các chi tiết có độ bền, độ cứng cao đạt độ chính xác và độ bóng theo yêu cầu.

**Từ khóa:** Công nghệ mài; Đá mài CBN; Thiết bị y tế; Hợp kim Titan.

### ABSTRACT

Grinding is one of the important operations in the field of metal cutting processing. Grinding is considered the final finishing process after machining by methods such as welding, turning, milling, planing, etc. to handle flatness, smooth surface, and remove burrs of part. Currently, the application of materials with heat resistance, durability, and high hardness in manufacturing medical equipment is growing, every year, the whole country has tens of thousands of cases that need bone splints, dental implants, heart valves... Titanium alloy material - because of its good anti-corrosion, high heat resistance properties and good biocompatibility - be used widely in medicine to make prosthetics and replace organs in the body, especially bones. Parts made from Titanium alloys often have very high strength and hardness, so machining by methods such as milling or turning will be difficult and the surface smoothness will not be as high as grinding. Thus, the application of grinding methods in the production of medical equipment is very necessary, especially CBN grinding wheels and diamond grinding wheels are commonly used to process parts with high durability and hardness, achieve the required precision and gloss.

**Keywords:** Grinding technology; CBN grinding wheel; Medical equipment; Titanium alloys. 



## 1. TỔNG QUAN

Hiện nay, trên thị trường, đá mài CBN khá phong phú về chủng loại, hình dáng (hình 1) và được sử dụng ngày càng nhiều do vật liệu hạt mài CBN có các đặc tính mài nổi bật như có độ dẫn nhiệt, độ bền cao và tính chống mài mòn tốt, khả năng mài được ở nhiệt độ cao và đặc biệt là có độ cứng rất cao (chỉ sau kim cương). Do vậy, đá mài CBN được xem là dụng cụ cắt thích hợp để mài hợp kim cứng và các hợp kim khó gia công, đặc biệt trong các lĩnh vực như y tế (hình 3), hàng không và khuôn mẫu nhằm đảm bảo năng suất cũng như độ chính xác. Bài báo này thống kê một số công trình nghiên cứu liên quan đá mài CBN và hợp kim Titan, đồng thời làm rõ đặc điểm cũng như khả năng ứng dụng của chúng.



Hình 1. Một số hình dạng đá mài CBN.



Hình 2. Mài sắc dao mổ y tế (a) và mài bóng, xử lý bavaria chi tiết nẹp xương (b) (làm bằng vật liệu thép không gỉ và hợp kim Titan) bằng đá mài CBN trên máy CNC.

Trong nước đã có một số công trình nghiên cứu liên quan về quá trình mài và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN như: Hoàng Văn Điện và các đồng nghiệp (2007) [1], “Nghiên cứu quá trình mòn của đá mài và ảnh hưởng của nó đến chất lượng bề mặt chi tiết khi mài phẳng”. Nghiên cứu này đã xây dựng được

mối quan hệ giữa mòn đá mài với các thông số chất lượng và các thông số trung gian khác xuất hiện ngay trong quá trình mài thông qua việc nghiên cứu cả lý thuyết và thực nghiệm. Trần Thị Vân Nga và các đồng nghiệp (2017) [2], “Nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện” đã chế tạo thành công đá mài CBN liên kết kim loại sử dụng công nghệ mài Composite Ni-CBN dùng dung dịch Watts thông qua phương pháp mạ điện. Phí Trọng Hùng và các đồng nghiệp (2018) [3], “Phương pháp nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt, độ mòn đá và năng suất gia công khi mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài CBN”, đã sử dụng phương pháp nghiên cứu tối ưu bầy đàn (PSO) để xác định chế độ cắt tối ưu khi mài chi tiết vật liệu Ti-6Al-4V bằng đá mài CBN. Phí Trọng Hùng và các đồng nghiệp (2021) [4], “Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt và năng suất gia công khi mài phẳng chi tiết từ vật liệu hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài CBN”, bằng nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm đã đưa ra được bộ thông số công nghệ tối ưu (lượng tiến dao dọc, chiều sâu cắt, chế độ bôi trơn làm mát) để góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật của quá trình mài phẳng chi tiết từ vật liệu hợp kim Ti-6Al-4C bằng đá mài CBN.

Trên thế giới, việc ứng dụng công nghệ mài bằng đá mài CBN trong quá trình sản xuất và trong các lĩnh vực khoa học kỹ thuật được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Xuekun Li và các cộng sự [5, 6] (2015) đã nghiên cứu về các dạng sai hỏng của đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện, họ nhận thấy lực liên kết của hạt mài mạ điện là yếu tố chính quyết định chất lượng mài và tuổi thọ của đá mài, từ đó thiết lập thử nghiệm để quan sát và định lượng các

dạng sai hỏng cũng như lực liên kết lớn nhất. Tiếp theo đó, họ thiết lập mô hình phần tử hữu hạn (FEM) để phân tích định lượng và tối ưu hóa lực liên kết hạt mài CBN và được kiểm chứng thông qua các thí nghiệm về lực liên kết. Tianyu Yu và các đồng nghiệp [7] (2017) bằng phương pháp thực nghiệm kết hợp với mô hình toán học, nhóm nghiên cứu đã xác định độ mòn và tuổi bền của đá mài CBN một lớp mạ điện Nickel dựa trên thay đổi hình dáng hình học bề mặt đá sau khi mài hợp kim Inconel 718. Ngoài ra, nghiên cứu này chỉ ra rằng ứng suất trên các hạt mài do thay đổi nhiệt sinh ra lớn gấp 3-5 lần ứng suất do lực cắt cơ học sinh ra. Chen-Wei Dai và các đồng nghiệp [8] (2017) đã tiến hành khảo sát ảnh hưởng của vận tốc quay đá mài đến nhiệt độ cắt, lực cắt và công suất cắt thông qua thí nghiệm mài cao tốc hợp kim nền Nickel Inconel 718 bằng đá mài CBN thủy tinh hóa. Nhóm nghiên cứu đã tìm ra vận tốc quay của đá khi mài Inconel 718 được tối ưu là  $100 \div 120 \text{ m/s}$  trong điều kiện thí nghiệm đã đưa ra. Arnab Kundu và các đồng nghiệp [9] (2018) đã phân tích và so sánh hiệu quả của việc sử dụng dung dịch làm mát là nước xà phòng kiểm theo hai cách là nhỏ giọt và phun cao tốc khi mài Titan grade 1 (Titan thương mại tinh khiết 99,2%) bằng đá mài ô-xit nhôm. Kết quả chỉ ra rằng, sử dụng vòi phun nước xà phòng sẽ tạo ra lực tiếp tuyến nhỏ, chất lượng bề mặt chấp nhận ở mức yêu cầu, và giá trị độ nhám bề mặt thấp hơn. Hanqiang Wu và các đồng nghiệp [10] (2023) đã nghiên cứu ảnh hưởng của dao động sóng siêu âm đến cơ chế và tác động đồng thời của phương pháp mài dao động có sự trợ giúp của ô-xy hóa plasma. Kết quả của bài báo đã chỉ ra rằng lực mài sẽ giảm đáng kể nếu trong quá trình mài có sự tác động của sóng siêu âm. CBN mặc dù mềm hơn kim cương nhưng ít tham gia vào các phản ứng hóa học ở nhiệt độ cao và ít bị ăn mòn kể cả khi mài các thép hợp kim. Do đó, ngày nay đá mài CBN được coi là dụng cụ

thích hợp nhất trong việc mài các vật liệu chứa sắt vì nó ổn định đến  $1371^\circ\text{C}$  và không phản ứng với sắt [11].

Trong các nghiên cứu thống kê gần đây cho thấy, hợp kim Titan được ứng dụng nhiều vào các sản phẩm y tế nhằm thay thế các bộ phận cơ thể người, đặc biệt là xương bởi độ bền và tính tương thích sinh học của Titan, điều này giúp chúng ta cải thiện cuộc sống ngày càng tốt hơn [12 - 15]. Bên cạnh đó, đá mài CBN là dụng cụ cắt gọt được ứng dụng cho quá trình gia công các vật liệu cứng, vật liệu khó cắt gọt, Titan là một trong số đó, rất nhiều nghiên cứu đã đưa ra các công bố về quá trình mài hợp kim Titan bằng đá mài CBN thể hiện ưu điểm vượt trội so với các dụng cụ cắt gọt khác. Ngoài ra, còn có nhiều nghiên cứu khác liên quan đến các phương pháp xử lý bề mặt để tăng cơ tính cho hợp kim Titan.

## 2. HỢP KIM TITAN

### 2.1. Đặc tính và ứng dụng

Hợp kim titan là loại vật liệu được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau như hàng không, ô tô, động cơ, tuabin khí, hạt nhân, y sinh (làm khung và động cơ máy bay, cánh tuabin hơi nước, tên lửa, tàu biển, thiết bị hóa học và y sinh học). Chúng có các tính chất cơ lý vượt trội như tỉ số độ bền trên trọng lượng lớn, giới hạn đàn hồi cao, tính chống ăn mòn rất tốt, độ dai lớn và tính tương thích sinh học tốt. Ngoài ra, titan còn có tỉ lệ giữa độ bền và khối lượng cao nhất khi nhiệt độ lên tới  $550^\circ\text{C}$ . Tuy nhiên, nó cũng có những nhược điểm như dễ phản ứng hóa học với dụng cụ cắt, tính dẫn nhiệt kém, nhiệt dung riêng lớn và ứng suất hóa cứng cao làm năng suất gia công thấp và tuổi bền của dao ngắn. Tính dẫn nhiệt kém của titan khiến nhiệt độ tại vùng cắt và ứng suất nhiệt



trên lưỡi cắt tăng. Do hợp kim titan bền ở nhiệt độ cao nên nhiệt độ tăng không có lợi vì dao sẽ bị mềm nhiệt. Titan phản ứng hóa học với hầu hết vật liệu dụng cụ cắt. Phản ứng này tăng lên khi nhiệt độ tăng làm dao bị mòn và bám dính, lưỡi cắt bị bong tróc, xây xát và hình thành lẹo dao. Mặc dù lực cắt khi gia công titan xấp xỉ với thép, nhưng ứng suất trên lưỡi cắt lớn hơn nhiều. Ứng suất cơ học này và ứng suất nhiệt do ma sát giữa phoi và dao khiến mặt trước dao bị mòn lõm. Phoi khi gia công titan có dạng răng cưa làm tăng rung động khiến lưỡi cắt bị nứt mẻ. Ứng suất, nhiệt độ và rung động là những nguyên nhân chính gây ra hư hỏng và làm giảm tuổi bền dụng cụ. Những yếu tố này xuất hiện nhiều hơn khi gia công những vật liệu khó cắt gọt. Do đó, vật liệu dao nào có thể chịu được ứng suất, nhiệt độ và rung động lớn thì sẽ phù hợp để gia công hợp kim titan [16]. Hợp kim titan được sử dụng phổ biến nhất là Ti-6Al-4V, chiếm đến 50% thị trường titan. Đây là hợp kim titan dạng alpha-beta chứa 6% nhôm và 4% Vanadi theo khối lượng. Nó có độ bền, độ dai và tính chống ăn mòn rất tốt. Hợp kim titan này thường được sử dụng trong công nghiệp hàng không (làm cánh máy nén khí và tuabin khí, khung máy bay), nồi áp suất và cấy ghép phẫu thuật [17].

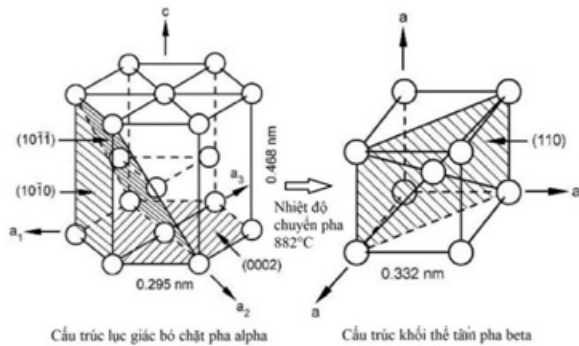
Titanium có ái lực tốt với mô liên kết của con người và mô biểu mô xương, và tính chất cơ học tuyệt vời của nó cũng phản ánh những lợi thế trong lĩnh vực y tế. Với cấu tạo tinh thể có mật độ nhỏ, chất lượng nhẹ, chống ăn mòn tốt, do đó titan đã được chấp nhận rộng rãi trong lĩnh vực làm răng giả (trồng răng). Theo các thống kê gần đây, khoảng 100 triệu bệnh nhân trên thế giới bị viêm khớp gối và khớp cánh tay mỗi năm, buộc phải thực hiện phẫu thuật thay thế và hợp kim titan là một thay thế tuyệt vời. Các báo cáo cho thấy dân số người cao tuổi tăng đáng kể ở Hoa Kỳ và các

nước kém phát triển sau năm 2010 (từ 4,9 triệu năm 2002 lên 39,7 triệu năm 2010) và hầu hết họ trên 40 tuổi đều có thể mắc các loại bệnh thoái hóa xương khớp. Vì vậy, sử dụng cấy ghép nhân tạo y sinh học để phục hồi chức năng của mô cứng bị bệnh bằng phẫu thuật cấy ghép là giải pháp tốt nhất cho người bệnh. Số liệu về phẫu thuật thay thế toàn bộ khớp ở Hoa Kỳ cho thấy đến cuối năm 2030, tổng số ca phẫu thuật thay thế sẽ tăng 174% (0,57 triệu ca) đối với thay khớp háng và 673% (3,48 triệu ca) đối với thay khớp gối so với hiện tại. So với gốm, thép không gỉ và các vật liệu khác, mô đun đàn hồi của hợp kim titan gần với xương người hơn và nó có lợi thế hơn về mô đun. Do đó, hợp kim titan được sử dụng rộng rãi trong việc điều chỉnh khớp mắt cá chân và khớp khuỷu tay. Ngoài ra, titanium còn được ứng dụng nhiều trong việc tái tạo hộp sọ, van tim nhân tạo,... [18].

## 2.2. Cấu trúc tinh thể

Titan có hai dạng cấu trúc tinh thể là pha alpha (hcp) và pha beta (bcc). Ở nhiệt độ bình thường, titan có cấu trúc tinh thể pha alpha dạng lục giác bó chặt (hcp). Nó trải qua biến đổi thù hình ở nhiệt độ 882°C để chuyển sang pha beta dạng khối tâm (bcc). Pha này ổn định cho đến khi titan nóng chảy ở nhiệt độ 1668°C. Hình 4 mô tả hai dạng thù hình của titan. Nhiệt độ chuyển pha ( $\beta$ - nhiệt độ chuyển pha) sẽ thay đổi nếu trong hợp kim có thêm các nguyên tố khác. Bổ sung nhôm (Al), Galium (Ga), ô-xy (O), Ni-tơ (N) và cacbon (C) vào titan sẽ làm tăng nhiệt độ chuyển pha của nó. Các nguyên tố này được gọi là chất ổn định pha alpha. Ngược lại, thêm các nguyên tố như Vanadi (V), Molipden (Mo), Niobium (Nb), sắt (Fe), Crôm (Cr), Niken (Ni), Mangan (Mn) và Coban (Co) làm giảm nhiệt độ chuyển pha. Do đó, chúng được gọi là chất ổn định pha beta. Các nguyên

tổ ít ảnh hưởng đến nhiệt độ chuyển pha như thiếc (Sn) và Zirconium (Zr) gọi là nguyên tố trung tính [4].



Hình 3. Các dạng tinh thể của titan tinh khiết [4].

### 2.3. Tính gia công cắt gọt của hợp kim titan

Dựa vào các nghiên cứu thực nghiệm, người ta nhận thấy phần lớn các dụng cụ mặc dù có hiệu suất tốt khi gia công các vật liệu khác nhưng lại cho hiệu suất từ trung bình đến kém khi cắt gọt hợp kim titan. Tính khó gia công của titan là kết hợp của các đặc điểm sau [4]:

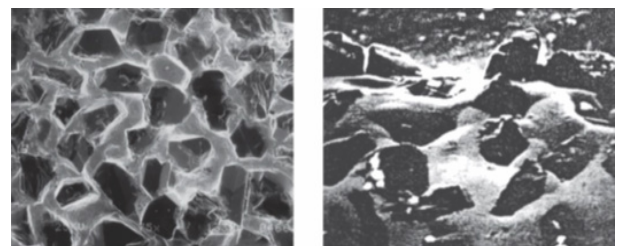
- Tính dẫn nhiệt kém;
- Dễ phản ứng hóa học;
- Mô đun đàn hồi nhỏ;
- Hiệu ứng hóa cứng.

## 3. ĐÁ MÀI CBN

### 3.1. Tổng quan về đá mài CBN

Đá mài CBN là loại đá mài mà vật liệu hạt mài là CBN. Đến năm 1994, khoảng 25% quá trình mài ở Nhật Bản, 15% ở châu Âu và 10% ở Mỹ sử dụng đá mài CBN. Do ưu điểm của hạt mài CBN nên đá mài CBN ngày càng được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực mài [2]. Về nhiều mặt thì hạt mài CBN và hạt mài kim cương khá giống nhau. Cả hai cùng có cấu trúc

mạng tinh thể dạng khối và tính dẫn nhiệt cao. Tuy vậy, chúng cũng có những tính chất hết sức khác biệt. Ví dụ, kim cương thiên về graphit hóa (khi nhiệt độ là 900°C) và dễ bị oxy hóa trong không khí, có phản ứng với các chi tiết gia công chứa sắt ở nhiệt độ cao. Ngược lại, CBN thì ổn định, không bị ô-xi hóa khi nhiệt độ lên tới 1300°C và có thể gia công dễ dàng các chi tiết chứa sắt. Do độ cứng rất cao và tốc độ mòn chậm nên gia công bằng đá mài CBN có khả năng đạt độ chính xác cao. Loại đá mài này đòi hỏi sửa đá rất ít và có khả năng lấy đi lượng dư đều đặn mà không cần bù mòn đá. Do tác động mài nguội (mài có bôi trơn làm mát) nên rất ít hoặc không có hư hỏng bề mặt chi tiết [4]. Trong Hình 6 là ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của (a) đá mài CBN mạ đồng và (b) đá mài CBN mạ điện. Hình vẽ cho thấy sự nhô lên rõ ràng của hạt mài so với chất kết dính, đặc biệt là đá mài mạ điện, và độ sắc phần nhô lên của hạt mài. Đặc điểm này mang lại ưu thế khi mài nguội và giúp đá mài có hệ số bóc gọt vật liệu cao.



Hình 4. Hình SEM của đá mài CBN: Đá mài CBN mạ đồng (a) và mạ điện (b) [4]

Ở nhiệt độ trên 900°C, CBN có thể bị phân hủy do phản ứng hóa học với nước. Do đó, cần thận trọng khi sử dụng dung dịch làm mát có chứa nước khi mài bằng đá mài CBN. Các phản ứng này sẽ phá hủy nghiêm trọng hạt mài CBN và làm giảm nhanh tuổi bền đá mài [4].





3.2. Đặc tính của đá mài CBN

Đá mài CBN có một số đặc điểm vượt trội so với đá mài thông thường. Các đặc điểm này được liệt kê trong Bảng 1 và được mô tả như sau [4]:

- Tính dẫn nhiệt tốt: Đá mài CBN có tính dẫn nhiệt tốt (từ 200 đến 1300 W/mK ở nhiệt độ thường), do đó có thể nhanh chóng phân tán nhiệt khỏi vùng cắt. Tính dẫn nhiệt của cBN gần bằng kim cương, trong khi độ giãn nở nhiệt cao hơn kim cương khoảng 20%.

- Độ cứng cao: Độ cứng của hạt mài CBN ở nhiệt độ bình thường là khoảng 4500 kg/mm<sup>2</sup>, bằng một nửa kim cương và gấp đôi các hạt mài thông thường. Độ cứng của CBN giảm khá nhanh ở nhiệt độ cao do cấu trúc tinh thể biến đổi thành dạng lục giác. Tuy nhiên, giá trị này vẫn cao hơn hạt mài thông thường.

- Hạt mài sắc hơn: Hạt mài CBN có lưỡi cắt sắc hơn và góc trước từ -30°C đến -60°C (trong khi hạt mài bình thường là -60°C đến -70°C), nên giảm ma sát và nhiệt độ cắt khi mài.

- Tính chống mài mòn cao: Đá mài CBN mòn chậm hơn đá mài ô-xít nhôm và silic cacbit do chúng có độ cứng cao hơn, cũng có nghĩa là hệ số mài lớn hơn. Tuy nhiên, sự khác biệt về tính chống mài mòn lớn hơn nhiều so với độ cứng. Chênh lệch độ cứng bằng 2 có thể chuyển thành chênh lệch tính chịu mài mòn từ 100 đến 1000 tùy theo vật liệu hạt mài.

- Độ bền nhiệt tốt: CBN bền nhiệt trong ni-tơ hoặc chân không đến ít nhất 1500°C. Trong không khí hoặc ô-xy, CBN tạo thành một lớp bảo vệ B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> trên bề mặt để ngăn cản quá trình ô-xy hóa tới 1300°C. Tuy nhiên, lớp này

phản ứng với nước, chính xác hơn là hơi nước ở nhiệt độ 900°C.

Bảng 1. Đặc tính của các loại hạt mài khác nhau ở nhiệt độ thường [4]

	Độ cứng Knoop, HK, (GPa)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Khối lượng riêng (kg/m <sup>3</sup> )	Nhiệt dung riêng (J/kgK)	Hệ số khuếch tán (mm <sup>2</sup> /s)
Kim cương	90	600 - 2000	3520	511	333 - 1110
cBN	40 - 70	240 - 1300	3480	506	136 - 738
SiC	24	100	3210	710	44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21	35	3980	765	11.5

4. KẾT LUẬN

Hiện nay, với các đặc tính vượt trội của mình, đá mài nitrit bo dạng khối (cBN), nitrit bo dạng khối đa tinh thể (PcBN) và nitrit bo dạng khối không chất kết dính (BcBN) chủ yếu được sử dụng để gia công các vật liệu khó cắt gọt như thép rèn (45-68 HRC), thép hợp kim (70 HRC), hợp kim niken và coban. Đá mài họ cBN có khả năng đạt được đồng thời hệ số bóc gọt vật liệu cao và nhám bề mặt đạt yêu cầu. Chúng có thể gia công hợp kim titan ở tốc độ cắt cao hơn nhiều so với đá mài ô-xít nhôm hoặc cacbit silic [19]. Bằng các thực nghiệm, các nhà nghiên cứu nhận thấy rằng khi có sử dụng chất làm mát và làm sạch thì đá mài kim cương mài hợp kim titan tốt nhất, tiếp đến là đá mài cBN và cuối cùng là đá mài SiC [4].❖

Ngày nhận bài: 03/01/2024

Ngày phản biện: 22/01/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hoàng Văn Điện; *Nghiên cứu quá trình mòn của đá mài và ảnh hưởng của nó đến chất lượng bề mặt chi tiết khi mài phẳng*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2007.
- [2]. Trần Thị Vân Nga; *Nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN*



- liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, Volume 58, 2017, pp. 68-74.
- [3]. Hoàng Văn Gọt, Trương Hoàng Sơn; *Phương pháp nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt, độ mòn đá và năng suất gia công khi mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài CBN*, Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí lần thứ V, (2018), pp.520-527.
- [4]. Phí Trọng Hùng; *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt và năng suất gia công khi mài phẳng chi tiết từ vật liệu hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài CBN*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật (2021), Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [5]. Xuekun Li, Sebastian Wolf, Tianxing Zhu, Geng Zhi, Yiming (Kevin) Rong, *Modelling and analysis of the bonding mechanism of CBN grains for electroplated superabrasive tools – Part 1: Introduction and application of a novel approach for determining the bonding force and the failure modes*, Int J Adv Manuf Technol (2015) 76:2051-2058.
- [6]. Xuekun Li, Geng Zhi, Sebastian Wolf, Tianxing Zhu, Yiming (Kevin) Rong, *Modelling and analysis of the bonding mechanism of CBN grains for electroplated superabrasive tools – Part 2: Finite element modelling and experimental verification*, Int J Adv Manuf Technol (2015) 77:43-49.
- [7]. Tianyu Yu, Ashraf F. Bastawros, Abhijit Chandra, *Experimental and modeling characterization of wear and life expectancy of electroplated CBN grinding wheels*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 121, 70-80 (2017).
- [8]. Chen-Wei Dai, Wen-Feng Ding, Ye-Jun Zhu, Jiu-Hua Xu, Hai-Wu Yu, *Grinding temperature and power consumption in high speed grinding of Inconel 718 nickelbased superalloy with a vitrified CBN wheel*, Precision Engineering 52, 192-200 (2018).
- [9]. Arnab Kundu, Manish Mukhopadhyay, Sirsendu Mahata, Ayan Banerjee, *Grinding Titanium grade 1 alloy with an alumina wheel using soap water*, Bijoy Mandal and Santanu Das, 2018, Procedia Manufacturing 20, 338-343.
- [10]. Wu, H., Duan, W., Sun, L., Zeng, J., Li, S., Wang, Q., Chen, Y. (2023), *Effect of ultrasonic vibration on the machining performance and mechanism of hybrid ultrasonic vibration/plasma oxidation assisted grinding*, Journal of Manufacturing Processes, 94, 466-478.
- [11]. Xun Chen and W. Brian Rowe (9/1995), *Analysis and simulation of the grinding process – Part 1: Generation of the grinding wheel surface*, Int. J. Math. Tools Manuf. Vol. 36, No. 8, pp. 871-882 (1996).
- [12]. Zhang, L. C., & Chen, L. Y., *A review on biomedical titanium alloys: recent progress and prospect*, Advanced engineering materials (2019), 21(4), 1801215.
- [13]. Wei, G., Tan, M., Attarilar, S., Li, J., Uglov, V. V., Wang, B. & Wang, L. (2023), *An overview of surface modification, a way toward fabrication of nascent biomedical Ti-6Al-4V alloys*, Journal of Materials Research and Technology.
- [14]. Rack, H. J., & Qazi, J. I. (2006), *Titanium alloys for biomedical applications*, Materials Science and Engineering: C, 26(8), 1269-1277.
- [15]. C. N., Lima, J. H. C., Valiev, R., & Meyers, M. A. (2008), *Biomedical applications of titanium and its alloys* Elias, Jom, 60, 46-49.
- [16]. A. Shokrani, V. Dhokia, S.T. Newman (2012), *Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 57, pp. 83-101.
- [17]. S. H. Wang (2000), *Investigation in to the grinding of titanium alloys*, PhD Thesis, School of Industrial and Manufacturing Science, Cranfield University.
- [18]. <https://vn.yunchtitanium.com/info/application-of-titanium-in-medical-35491816.html>
- [19]. J. Paulo Davim (2014), *Machining of titanium alloys*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

## NGHIÊN CỨU ĐỘ BỀN LIÊN KẾT GIỮA THÙNG XE VỚI KHUNG SẮT XI XE CƠ SỞ KHI CẢI TẠO THÀNH Ô TÔ CHUYÊN DỤNG

DURABILITY STUDY OF THE CONNECTION BETWEEN THE VEHICLE BODY AND THE STEEL FRAME OF THE BASE VEHICLE CHASSIS DURING THE TRANSFORMATION INTO A SPECIALIZED VEHICLE

Nguyễn Quang Trung<sup>1\*</sup>, Nguyễn Sĩ Đình<sup>2</sup>, Trần Thành Lam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Trần Quốc Tuấn, Thị xã Sơn Tây, Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

### TÓM TẮT

*Bài báo này nghiên cứu độ bền của các mối liên kết giữa thân xe được trang bị thiết bị chuyên dụng và khung gầm xe cơ sở Kamaz-4326 trong quá trình cải tạo. Mục tiêu chính là nâng cao sự an toàn trong quá trình chuyển động của xe, đặc biệt là trong các trường hợp như phanh, tăng tốc hoặc quay vòng. Bằng cách sử dụng phần mềm ANSYS Workbench, nghiên cứu sử dụng các thử nghiệm trên bu lông quang dầm, ke chống xô và các vị trí liên kết. Nghiên cứu xác định các thông số tối ưu phù hợp với các điều kiện vận hành đa dạng của ô tô.*

*Hơn nữa, nghiên cứu đề xuất các giải pháp kết cấu hiệu quả, trong đó có tăng cường cho các vị trí chịu lực. Những giải pháp này đảm bảo rằng mức ứng suất bằng hoặc lớn hơn ứng suất cho phép của vật liệu, từ đó cải thiện độ bền và độ an toàn tổng thể của xe trong các tình huống lái xe khác nhau.*

**Từ khóa:** Kết cấu khung; Bu lông quang dầm; Ke chống xô; Độ bền tĩnh.

### ABSTRACT

*This article studies the strength of the connections between the car body equipped with specialized equipment and the base car chassis Kamaz-4326 during the refurbishment process. The main goal is to improve safety during vehicle movement, especially during actions such as braking, accelerating or turning. Using ANSYS Workbench software, the study employed tests on optical beam bolts, bucket racks, and connection points. Research to determine optimal parameters suitable for diverse automobile operating conditions.*

*Furthermore, the study proposes effective structural solutions, including reinforcement for load-bearing locations. These solutions ensure that stress levels equal or exceed the allowable stress of the material, thereby improving the vehicle's overall durability and safety in various driving situations.*

**Keywords:** Frame structure; Beam optical bolts; Anti-bucket cream; Static durability.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sau khi cải tạo xe sát xi thành xe chuyên dụng, đặc biệt các loại xe có đóng các loại thùng kín. Khung xương và sàn thùng xe được liên kết với khung xe bằng các bu lông quang dầm và ke chống xô. Trong quá trình làm việc, một số cụm chi tiết chính như: Khung xương sàn xe, bu lông quang dầm, ke chống xô sẽ chịu tác dụng của tải trọng động và tải trọng tĩnh, các tải trọng này gây ra các ứng suất kéo, nén và xoắn bên trong chi tiết. Nếu cụm chi tiết không đủ điều kiện bền, sẽ xảy ra hiện tượng biến dạng và hư hỏng do mỏi theo thời gian. Ta có các điều kiện biên để khảo sát độ bền các cụm chi tiết chính như sau: Chế độ lực thẳng đứng cực đại, chế độ lực phanh cực đại và chế độ lực ngang cực đại khi quay vòng.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Mô hình kiểm bền các chi tiết bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Các bước thực hiện quá trình kiểm bền bằng phương pháp phần tử hữu hạn bao gồm:

- Xây dựng mô hình 3D sát với thực tế, đối với khung xe và khung sàn gồm các phần tử gần như dạng thanh, nên cần đơn giản hóa như không vẽ các góc lượn, vát nhằm chia lưới thuận lợi, giảm chi phí tính toán, các chi tiết còn lại mô hình cần thực hiện tỉ mỉ chính xác.

- Gán vật liệu: Để có thể phân tích đánh giá độ bền chi tiết, các phần mềm CAE đều đòi hỏi cung cấp các thông tin cơ bản về vật liệu. Bản thân phần mềm ANSYS có thư viện vật liệu phong phú, ngoài ra có thể thêm vật liệu khác. Các đặc tính của vật liệu được nhập vào phần mềm tùy thuộc các bài toán cần giải, đối với kiểm bền cần nhập các thông tin: Loại vật

liệu, khối lượng riêng, mô đun đàn hồi, hệ số poisson, giới hạn chảy, giới hạn bền. Các loại vật liệu được chọn phải thỏa mãn các yêu cầu cơ bản sau:

+ Có các thông số về cơ tính như giới hạn chảy, giới hạn bền, mô đun đàn hồi phù hợp với yêu cầu của các kết cấu tương ứng;

+ Có tính công nghệ trong chế tạo phù hợp như tính cắt gọt, tính hàn, khả năng gia công bằng biến dạng dẻo... phù hợp với yêu cầu gia công tương ứng;

+ Có khả năng cung ứng để thực hiện theo tiến độ.

Sau khi chọn vật liệu, cần xác định ứng suất cho phép của vật liệu trong các kết cấu tương ứng.

- Đối với các chi tiết chịu tải trọng phức tạp khi tính bền áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn sẽ mang lại nhiều ưu điểm, tại mỗi điểm có thể xuất hiện ứng suất theo nhiều phương, khi đó không thể sử dụng các dạng ứng suất đơn. Do vậy, trong các phần mềm CAE thường được sử dụng ứng suất Von Mises. Ứng suất Von Mises được xác định dựa trên lý thuyết năng lượng biến dạng: Nếu năng lượng biến dạng trong trường hợp chịu tải phức tạp bằng với năng lượng biến dạng trường hợp chi tiết chịu kéo nén thuần túy ở trạng thái giới hạn (đạt được ứng suất giới hạn) thì chi tiết coi như bị hỏng. Ứng suất giới hạn trong trường hợp này được chọn là giới hạn chảy  $\sigma_y$  (Yield stress). Từ đó, chi tiết được coi là không bị hỏng nếu ứng suất Von Mises  $\sigma_v$  không vượt quá giá trị giới hạn [1]:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} + 6 \cdot (\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2)} \quad (1)$$



Nếu các ứng suất theo phương chính hoặc bỏ qua các thành phần ứng suất tiếp thì:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2)$$

- Chia lưới: Chất lượng chia lưới ảnh hưởng đến độ chính xác và thời gian tính toán trong quá trình mô phỏng. Trong nội dung này sử dụng phương pháp chia lưới được chọn là kiểu chia lưới tự động kết hợp với chia lưới thủ công đối với các chi tiết chưa đạt được tiêu chuẩn và các chi tiết cần quan tâm như khung sàn, bu lông quang dầm, ke chống xô (khung xe có thể chia lưới kém hơn do xe cơ sở không chở quá tải cho phép). Các tiêu chuẩn đánh giá chất lượng của việc chia lưới trong phần mềm ANSYS bao gồm [2]:

+ Chất lượng phần tử (Element quality) là chỉ số tổng hợp đánh giá nhanh chất lượng lưới và có thể quan sát ở trên các biểu đồ hiển thị lưới theo từng vùng, chạy loại phần tử 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo), từ 0,5 trở lên là đạt. Thông thường, chất lượng lưới lớn hơn 0,7 là tốt. Khi chất lượng lưới đạt 0,9 trở lên là phần tử được chia lưới rất tốt.

+ Độ lệch (Skewness) được tính bằng góc tối thiểu giữa 02 véc tơ tới một mặt đối diện, các mặt và véc tơ giữa 02 mặt tiếp xúc tại mỗi nút của các phần tử. Trong Ansys, tỷ lệ số phần tử sai lệch 0 đến 1 (0 là phần tử hoàn hảo), gần về 0 là tốt, nhỏ hơn 0,5 là chấp nhận được.

+ Chất lượng ma trận trực giao (Orthogonal quality) chạy từ 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo), khi chất lượng của ma trận trực giao gần về 1 là tốt, lớn hơn 0,5 là chấp nhận được.

+ Tỷ số Jacobian (Jacobian ratio) là

thước đo độ lệch của một phần tử so với phần tử hoàn hảo. Giá trị của Jacobian chạy từ 0 đến 1 (1 là phần tử hoàn hảo). Trong bài toán phân tích kết cấu thì giá trị Jacobian lớn hơn 0,5 được chấp nhận.

- Đặt các ràng buộc và đặt lực (điều kiện biên): Tùy các chế độ tính toán mà đặt điều kiện cho phù hợp, có thể đơn giản nhưng vẫn phải đảm bảo đúng điều kiện làm việc của chi tiết. Cần nghiên cứu và đặt ràng buộc cũng như các tải trọng kỹ lưỡng, vì chia lưới chất lượng thấp chỉ làm giảm độ chính xác của bài toán, nhưng đặt điều kiện sai thì kết quả sẽ sai hoàn toàn.

## 2.2. Tính toán, kiểm bền cho cụm Bu lông quang dầm – ke chống xô

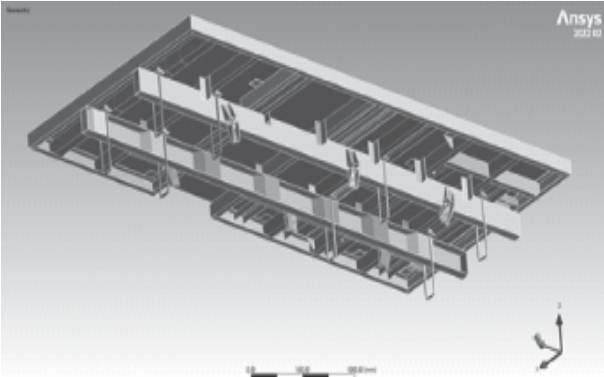
### 2.2.1. Xây dựng mô hình kiểm nghiệm

Khung xương thùng và khung xe cơ sở được liên kết với nhau thông qua các bu lông quang dầm và các ke chống xô. Giữa hai phần sử dụng tấm đệm cao su để tăng ma sát, hạn chế sự xô dịch trong quá trình xe di chuyển, bu lông quang dầm và ke chống xô có tác dụng tạo lực ép giữa hai bề mặt tạo lực ma sát, đồng thời hạn chế các di chuyển theo các phương nếu có.

Sau một thời gian dài sử dụng, dưới tác động của các tải trọng động, đặc biệt là các dao động do điều kiện môi trường, đường xá thông qua hệ thống treo gây các tải trọng lớn, có chu kỳ, dẫn tới các chi tiết có hiện tượng mỏi, rão, các mối ghép bu lông – đai ốc có hiện tượng bị lỏng. Khi đó, lực ép giữa hai bề mặt không còn đủ lớn, dẫn tới sự xô dịch, khi đó ke chống xô và bu lông quang dầm sẽ phải chịu tải trọng, chủ yếu là uốn và cắt [4]. Do vậy, tách kiểm bền đối với cụm khung xương, bu lông quang dầm và ke chống xô.



- Xây dựng mô hình 3D liên kết giữa sàn thùng và khung xe cơ sở:



Hình 1. Mô hình 3D cụm khung xương sàn, bu lông quang dầm – ke chống xô

- Gán vật liệu:

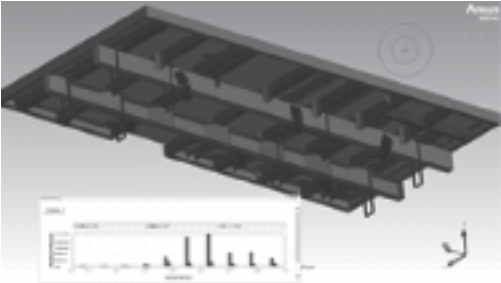
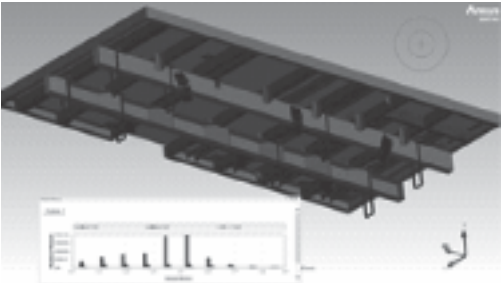
Bảng 1. Thông số vật liệu thép CT3

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Giới hạn chảy	$\sigma_{ch}$	240	Mpa
Giới hạn bền	$\sigma_b$	380	Mpa
Khối lượng riêng	$\gamma$	7830	kg/m <sup>3</sup>
Độ giãn dài khi đứt	$\epsilon_0$	21	%

- Chia lưới:

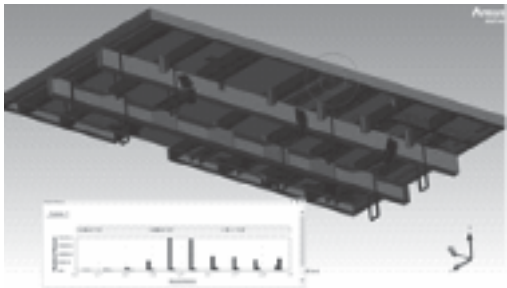
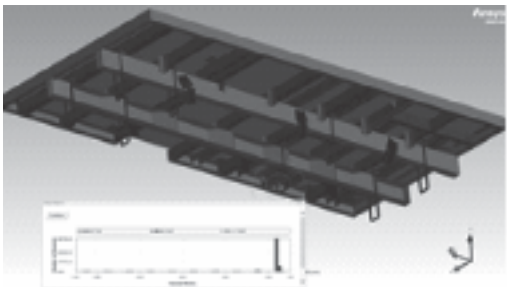
Sử dụng chia lưới tự động kết hợp điều chỉnh thủ công ở các chi tiết có chỉ số thấp nhằm đạt được tiêu chuẩn. Kết quả chia lưới và các tiêu chuẩn đánh giá được cho ở các bảng sau:

Bảng 2. Kết quả đánh giá các tiêu chuẩn đối với khung sàn thùng xe – bu lông quang dầm – ke chống xô

Tiêu chí	Giá trị	Nhận xét
Số phần tử	809002	
Số nút	470806	
Chất lượng phần tử (Element quality)		Chất lượng lưới trung bình là 0,67641 (Đạt)
Skewness		Chỉ số Skewness là 0,40554 (Đạt)





Orthogonal quality		Chỉ số trung bình là 0,61454 (Đạt)
Jacobian ratio		Chỉ số trung bình là 0,98306 (Rất tốt)

- Đặt các ràng buộc và đặt lực (điều kiện biên):

Giải phóng liên kết với khung cơ sở, thay thế bằng áp lực và lực ma sát. Lực ma sát được tính dựa vào khối lượng thùng xe đặt lên khung và lực siết của bu lông quang dầm. Tuy nhiên, ta khảo sát tại trường hợp khắc nghiệt nhất là bu lông quang dầm và bu lông ke đã bị lỏng không tạo được lực ép cần thiết (lực ép do bu lông quang dầm nhỏ, chỉ còn lực ép do tải trọng từ thùng xe và trang bị là chủ yếu), dẫn tới có thể xảy ra khung xương sàn không thể ép chặt lên khung cơ sở dẫn tới lực ma sát suy giảm, khi phanh gấp dẫn tới khung bị xô khỏi vị trí một đoạn nhỏ. Hệ số ma sát giữa cao su và thép là 0,65, giữa thép và thép là 0,12.

Lực ép lên hai thanh dọc chính gồm lực ép do trọng lượng của thùng xe, của bu lông

quang dầm và của các bu lông kết nối hai phần trên dưới của các ke chống xô. Có thể kể đến suy giảm lực ma sát do sự tiếp xúc không đủ của hai bề mặt, nguyên nhân do biến dạng hoặc dao động khiến tải trọng thùng không tạo lực ép không tối đa, giả thiết hệ số truyền lực ép chỉ còn 0,6.

$$F_{ms1} = \mu_1 \cdot N_{ep1};$$

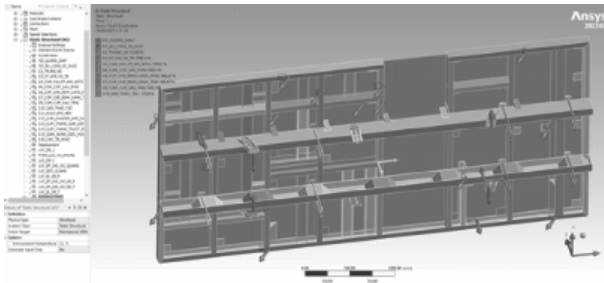
$$N_{ep1} = G_{thung} \cdot \eta_G + n_1 \cdot F_{k1} + (n_{21} \cdot F_{k2} + n_{22} \cdot F_{k2} \cdot \cos \alpha) \quad (\alpha = \frac{\pi}{6}) \quad (3)$$

Lực ma sát tác dụng lên mặt dưới hai thanh dọc chính:

$$F_{ms1} = \mu_1 \cdot N_{ep1} \quad (4)$$

Lực ma sát tác dụng lên mặt trong của phần dưới ke chống xô:

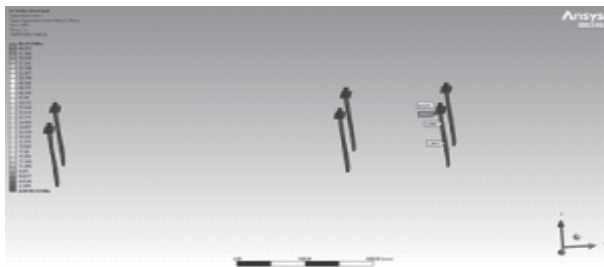
$$F_{ms2} = \mu_2 \cdot N_{ep2} \quad (5)$$



Hình 2. Điều kiện biên khảo sát độ bền liên kết các mối ghép

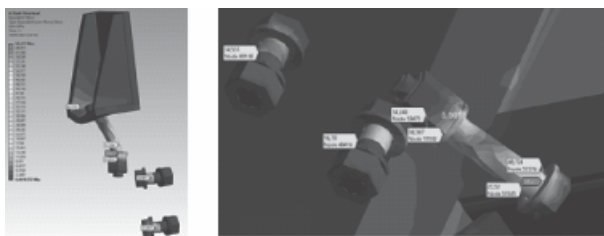
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

- Bu lông quang dầm: Bu lông quang dầm trong trường hợp này không chịu nhiều các tải trọng tác động do bu lông đã lỏng, xô dịch chủ yếu theo mặt phẳng ngang không đáng kể.



Hình 3. Ứng suất tại bu lông quang dầm

- Ke chống xô: Bu lông kết nối hai phần của ke chống xô đều chịu ứng suất lớn nhất 40 Mpa, bu lông phần dưới ke chống xô kết nối với khung cơ sở chịu ứng suất lớn nhất 22 Mpa. Độ giãn (biến dạng tỉ đối) cũng như biến dạng tổng của cụm ke không đáng kể.



Hình 4. Ứng suất tại ke chống xô – vị trí có ứng suất lớn nhất

Bảng 3. Kết quả kiểm bền các liên kết giữa khung sàn xe và khung xe chuyên dụng

Vị trí tác động	$\sigma_{ch}$ (MPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)	Các vị trí khác (MPa)
Bu lông quang dầm	240	10	3-5
Ke chống xô	240	41	10-20
Gân tăng cứng thanh chính – thanh ngang	240	66	10-47

Các ứng suất tương đương đều nhỏ hơn nhiều so với ứng suất giới hạn, biến dạng tổng, độ giãn đều không đáng kể. Như vậy, ke chống xô và bu lông quang dầm đủ điều kiện bền với các điều kiện giả lập đã chọn.

### 4. KẾT LUẬN

Với các kết quả khảo sát, nhận thấy việc bố trí 08 bu lông quang dầm và 06 ke chống xô có đường kính 20 mm đều về hai bên, đảm bảo độ bền liên kết giữa khung thùng xe và khung xe. Ứng suất lớn nhất tại các vị trí nguy hiểm nhỏ hơn rất nhiều lần so với giới hạn chảy của vật liệu, như vậy việc bố trí này đảm bảo sự hợp lý. Các thông số về đường kính của bu lông, số lượng bu lông quang dầm, ke chống xô và vị trí bố trí cũng ảnh hưởng đến độ bền của liên kết khi ứng với các chế độ hoạt động của ô tô (chế độ lực thẳng đứng cực đại, chế độ lực phanh cực đại và chế độ lực ngang cực đại khi quay vòng). Việc khảo sát độ bền liên kết với một bộ số liệu tiêu chuẩn giúp cho nhóm tác giả lựa chọn hợp lý các thông số về mặt kích thước, lựa chọn vật liệu liên kết đảm bảo cân bằng các yếu tố giá thành, sự ổn định và an toàn khi ô tô cơ động trên đường. ❖



Ngày nhận bài: **28/12/2023**

Ngày phản biện: **15/01/2024**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lương Văn Vạn (2020); “*Nghiên cứu độ bền khung sắt xi xe chữa cháy rừng đa năng*”, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí.
- [2]. Nguyễn Quang Anh (2008); “*Nghiên cứu động lực học độ bền khung vỏ ô tô khi va chạm trực diện*”, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí.
- [3]. M. Meghana, Ch. Shashikanth, M. Pradeep kumar (2016), “*Impact Analysis of Bumper and Car Chassis Frame Due to Frontal Collision for Different Materials*”, International Journal of Engineering and Management Research, Page Number: 131-135.
- [4]. Vinay N. Rao, Jeffrey W. Eischen (2016), “*Failure analysis of mixed mode crack growth in heavy duty truck frame rail*”, Case Studies in Engineering Failure Analysis 5–6 (2016) 67–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csefa.2016.03.002>.

## ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MỘT ĐỒNG HỒ KHÍ KIỂU MÀNG

## ACCURACY EVALUATION OF A DIAPHRAGM GAS METER

Nguyễn Lan Phương<sup>1,\*</sup>, Phạm Thị Mai Anh<sup>2</sup><sup>1</sup>Khoa Cơ khí chế tạo máy, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội<sup>2</sup>Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở – Địa chất


## TÓM TẮT

Đo lường là khâu quan trọng và không thể thiếu trong sản xuất và đời sống. Một trong các loại dụng cụ đo phổ biến hiện nay là lưu lượng kế, cho phép phát hiện và định lượng chính xác dòng chảy đi qua. Đồng hồ khí kiểu màng là một loại lưu lượng kế thông dụng trên thế giới nhờ cấu tạo đơn giản, dùng để đo lượng khí ga sử dụng trong các gia đình. Trước nhu cầu sử dụng khí gas ngày càng phổ biến ở những vùng khó khăn trong việc điện khí hóa, việc thiết kế, xây dựng một hệ thống đường ống cung cấp gas đến từng hộ gia đình trở nên cấp thiết. Để có thể sản xuất hàng loạt các đồng hồ đo gas cho từng hộ gia đình, việc nghiên cứu, tính toán đồng hồ khí là điều không thể thiếu. Bài báo này đưa ra những tính toán định lượng của một mẫu đồng hồ khí G1.6, từ đó quyết định sai số chế tạo cần thiết của van, bộ phận quyết định chính độ chính xác của đồng hồ khí. Kết quả nghiên cứu có thể được dùng làm tài liệu tham khảo trong việc tính toán, thiết kế, chế tạo đồng hồ khí kiểu màng.

**Từ khóa:** Lưu lượng kế; Đồng hồ khí kiểu màng; Tính toán thể tích khí; Đánh giá độ chính xác.

## ABSTRACT

Metrology is a key factor in manufacturing and social life as well. One of the most common measuring equipment is flow meters, which can detect and measure the passing flow accurately. Diaphragm gas meters are simple tools which can measure the gas volume used in families. Nowadays, consuming gas is getting increasingly popular in areas where it is difficult for electricity, designing and building a gas supply system is necessary. In order to manufacture a gas meter for each family, studying and calculating a sample of gas meter must be conducted. Based on the model of a diaphragm gas meter G1.6, this study calculated some important parameters, such as: ratio, gas volume, then proposed manufactured error permission of the valve, the part mostly decided the accuracy of the gas meter. The finding of this research could be used as a reference for calculating, designing, and manufacturing a diaphragm gas meter further.

**Keywords:** Flow meter; Diaphragm gas meter; Gas volume calculation; Accuracy evaluation. 

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đo lưu lượng chất lỏng và chất khí là một lĩnh vực có ý nghĩa to lớn trong khoa học, sản xuất và đời sống. Nó không chỉ phổ biến trong mạng lưới vận chuyển dầu khí, chất đốt,... mà còn trong các thiết bị công nghiệp để khống chế dòng chảy tham gia vào các quá trình sản xuất khác nhau như ở lò phản ứng, xí nghiệp dệt nhuộm, các thiết bị cung cấp nước sạch,... [1]. Không phổ biến như các thiết bị đo lưu lượng chất lỏng, các dụng cụ đo lưu lượng chất khí (trong bài báo này gọi là “đồng hồ khí”) vẫn giữ được vị trí quan trọng trong việc định lượng và khống chế chất khí cho các mục đích sử dụng khác nhau như cung cấp khí đốt (gas) trong công nghiệp và dân dụng. Tùy từng điều kiện kỹ thuật và điều kiện sử dụng nhất định, đồng hồ khí có nhiều kiểu khác nhau như kiểu roto, kiểu piston, kiểu tuốc-bin, kiểu màng [2]. Đồng hồ khí kiểu màng là loại được sử dụng nhiều nhất do cấu tạo và hoạt động đơn giản. Hình 1 là một đồng hồ khí kiểu màng, mẫu G1.6 nhập khẩu từ Trung Quốc.

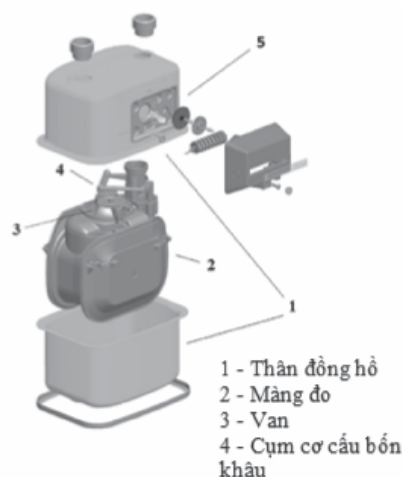


Hình 1. Đồng hồ khí G1.6

Cấu tạo của đồng hồ khí kiểu màng được thể hiện trên Hình 2. Bên trong thân đồng hồ khí có hai màng làm từ vật liệu cao su. Chúng có dạng hình nón cụt, chia hệ thống đo thành bốn buồng màng. Áp suất khí từ đường cung cấp vào tác dụng lên bề mặt của hai màng,

làm chúng phập phồng, lần lượt truyền chuyển động cho cụm cơ cấu bốn khâu, từ đó làm quay một van bốn ngăn. Mỗi ngăn của van thông với một buồng màng; đồng thời có ít nhất một ngăn thông với đường khí vào và một ngăn thông với đường khí ra. Khi van quay, bộ đếm cơ khí cũng hoạt động do được nối với chốt trên nắp van. Bộ đếm cơ khí được thiết kế dạng bánh răng hệ 10, giúp hiển thị lượng khí đi qua đồng hồ với độ phân giải 1 lít.

Yếu tố không thể thiếu để đánh giá một dụng cụ đo được chấp nhận trong thực tế hay không chính là độ chính xác [3]. Độ chính xác của thiết bị đo phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: phương pháp đo, các thông số chế tạo, lắp đặt,... Đối với đồng hồ khí kiểu màng, các yếu tố mang tính chất quyết định độ chính xác của dụng cụ chính là độ chính xác của màng, của van và của cụm cơ cấu bốn khâu.



Hình 2. Cấu tạo của đồng hồ khí G1.6 [4]

Đồng hồ khí kiểu màng hoạt động dựa trên nguyên tắc đóng thể tích khí chảy qua nhờ thể tích của màng. Như vậy, độ chính xác của màng có ảnh hưởng lớn đến kết quả đo. Độ chính xác của màng phụ thuộc vào đường kính trên, đường kính dưới (đường kính đĩa nhôm). Độ chính xác này hoàn toàn do chế tạo.



Để đóng được thể tích khí chảy qua đồng hồ, ta cần cụm cơ cấu bốn khâu. Góc lắc của cần lắc trong cụm cơ cấu bốn khâu càng lớn thì thể tích khí đóng được càng nhiều. Ngoài ra, chiều dài các cánh tay đòn, thanh truyền và cần lắc cũng ảnh hưởng đến việc đóng được nhiều hay ít. Như vậy, độ chính xác của cụm cơ cấu bốn khâu ngoài phụ thuộc vào thông số chế tạo còn phụ thuộc vào quá trình lắp đặt.

Hai yếu tố màng và cụm cơ cấu bốn khâu đều có ảnh hưởng tới độ chính xác của thiết bị. Tuy nhiên, độ chính xác của chúng hoàn toàn có thể không chế được vì sai số nếu có chỉ là sai số hệ thống. Quan trọng hơn cả trong việc quyết định chất lượng của đồng hồ khí kiểu màng chính là độ chính xác chế tạo của van. Mục đích của bài báo này là tính toán độ chính xác chế tạo cần thiết của van, từ đó quy định độ chính xác của thiết bị. Kết quả tính toán dùng để phục vụ quá trình thiết kế, chế tạo đồng hồ khí kiểu màng, đưa thiết bị này vào sản xuất hàng loạt, phục vụ cuộc sống.

## 2. TÍNH TOÁN ĐỊNH LƯỢNG ĐỒNG HỒ KHÍ KIỂU MÀNG

### a) Tỷ số truyền

Tỷ số truyền của đồng hồ khí được quyết định bởi các thông số của các bánh răng, trục vít và bánh vít (Hình 3). Tỷ số truyền của đồng hồ là [45]:

$$i = \left( \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z}{K} \right) \cdot \left( \frac{Z_{38}}{Z_{59}} \cdot \frac{Z_{62}}{Z_{47}} \cdot \frac{Z_{10}}{Z_8} \right) \quad (1)$$

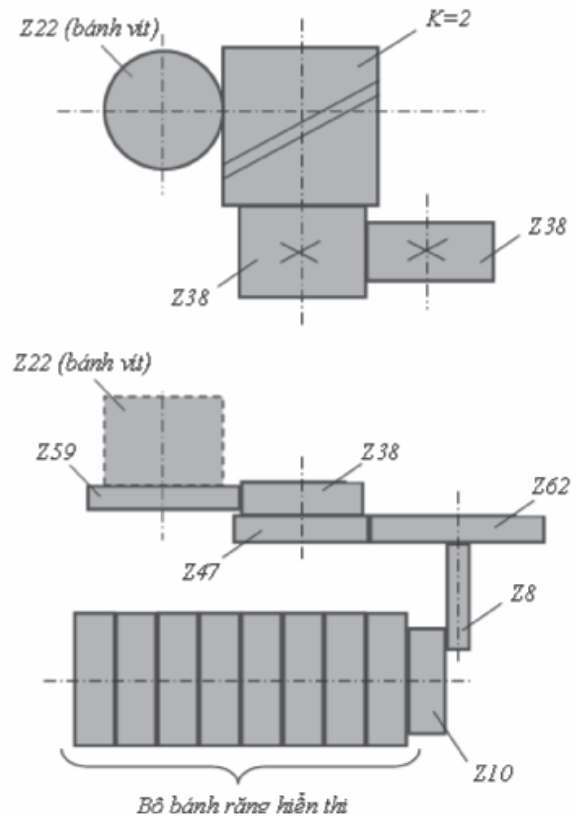
$$i \approx 11,682$$

### b) Thể tích khí đóng được của một màng

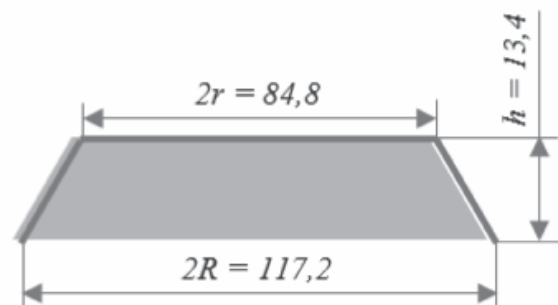
Từ kích thước của một buồng màng trên Hình 4, thể tích khí đóng được là:

$$V_T = 2 \cdot \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (2)$$

$$V_T \approx 0,216 \text{ (dm}^3\text{)}$$



Hình 3. Sơ đồ bộ đếm cơ khí



Hình 4. Kích thước một buồng màng

### c) Sai lệch thể tích thực của màng so với lý thuyết





Hình 5. Bộ phận hiển thị lưu lượng khí

Khi bánh răng ① quay một vòng (tương ứng với  $10 \text{ dm}^3$ ) thì thể tích cần phải đo của hai màng là (Hình 5):

$$V_{LT} = \frac{10}{i}$$

$$V_{LT} \approx 0,214 (\text{dm}^3) \quad (3)$$

Như vậy, so với tính toán lý thuyết thì thể tích khí đo được thực tế của màng đã sai lệch một lượng là:

$$\Delta = \frac{V_T - V_{LT}}{V_{LT}}$$

$$\Delta \approx +1\% \quad (4)$$

Nhận xét:

Thể tích khí đo được thực tế của màng lớn hơn thể tích khí tính toán là 1%, nghĩa là đồng hồ có sai số đo là 1%. Nói cách khác, một lượng khí đã bị rò rỉ mà không được đo trong suốt quá trình đo.

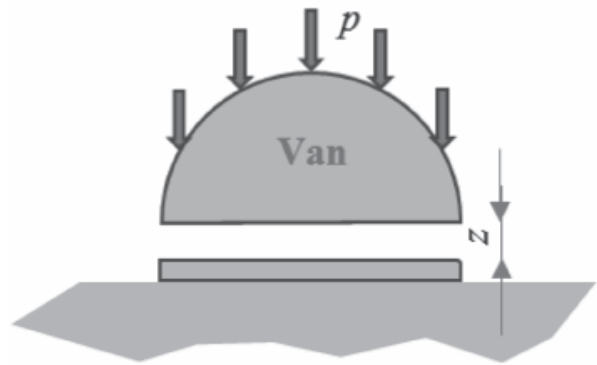
Đứng về phía nhà cung cấp thì đây là điều bất lợi. Do đó, ta phải tìm hiểu nguyên nhân gây ra sai số đo của đồng hồ khí để tìm biện pháp khắc phục cho phù hợp.

### 3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA ĐỒNG HỒ KHÍ

Như đã tính toán, đồng hồ khí kiểu

màng có sai số đo là +1%. Vậy, nguyên nhân gây ra sai số đo ở đâu?

Về nguyên tắc, các cơ cấu truyền động (bao gồm cơ cấu bốn khâu và hệ thống bánh răng) không gây ra sai số đo. Như vậy, sai số ở đây là do khí ga đã bị rò rỉ qua khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc của nó (Hình 6). Lượng rò rỉ càng nhiều thì sai số đo càng lớn.



Hình 6. Khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc

Trong đồng hồ khí, nguyên nhân gây ra chuyển động của màng và các cơ cấu bên trong chính là áp suất khí p. Áp suất p một mặt làm cho van quay, một mặt nó cũng gây áp lực lên bề mặt trên và bề mặt dưới của van. Khi áp suất p tăng, áp lực lên bề mặt trên của van tăng, có tác dụng đè van xuống; nhưng đồng thời áp lực lên bề mặt dưới cũng tăng, có xu hướng đẩy van lên, làm cho lượng khí rò rỉ cũng tăng theo. Vì vậy, ta phải không chế áp suất khí ở một giá trị nào đó để cho khe hở giữa van và mặt tiếp xúc bằng không.

Giả sử khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc là z. Về lý thuyết, ta hoàn toàn có thể tìm ra áp suất tối ưu để khe hở  $z = 0$ . Nhưng trên thực tế, do chế tạo, bề mặt tiếp xúc của van luôn tồn tại độ nhám bề mặt và độ phẳng, nên dù áp suất khí có tối ưu thì vẫn còn khe hở z. Vấn đề ở đây là tìm ra độ chính xác chế tạo van (độ phẳng và

độ nhám bề mặt) để thỏa mãn lưu lượng rò rỉ qua khe hở đó là nhỏ nhất. Lưu lượng khí rò rỉ được xác định bởi công thức [6]:

$$Q = v.S \quad (5)$$

Trong đó:

- Q là lưu lượng khí;
- v là vận tốc dòng khí chảy qua khe hở z;
- S là diện tích chảy tương đương.

Diện tích chảy tương đương được tính bằng [6]:

$$S = \pi.D.z \quad (6)$$

Với D là đường kính của van.

Vận tốc dòng khí được xác định dựa vào áp suất như sau. Giả sử có dòng khí áp suất  $p_0$  chảy qua khe hẹp có diện tích là F. Áp suất khí sau khi đi qua khe hẹp là  $p_1$  (các áp suất khí đều tính theo giá trị tuyệt đối). Lưu lượng khí chảy qua khe hẹp là [6]:

$$G = \mu F \rho_0 \sqrt{\frac{2gk}{RT(k-1)} \left[ \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (7)$$

Trong đó:

- $p_0$  và  $p_1$  là áp suất khí tuyệt đối trước và sau khe hẹp;
- F là diện tích khe hẹp;
- $\mu$  là hệ số phụ thuộc vào bản chất của dòng chảy;
- $\rho_0$  là tỉ trọng của chất lỏng;
- g là gia tốc trọng trường;
- k là hệ số:  $k = \frac{c_p}{c_v}$ ;
- R là hằng số chất khí.

Đặt  $p = p_0 - p_1$ , ta được công thức xác

định vận tốc dòng khí chảy qua khe hẹp (tính gần đúng với chất khí là không khí) như sau:

$$v = 320\sqrt{p} \quad (8)$$

Vậy lưu lượng khí rò rỉ là:

$$Q = 320\sqrt{p}.\pi.D.z \quad (9)$$

Như đã tính toán ở trên, đồng hồ khí có sai số +1%, tương ứng với lưu lượng khí rò rỉ là 0,01 m<sup>3</sup>. Ta có:

$$\begin{aligned} 320\sqrt{p}.\pi.D.z &= 0,01 \\ \Rightarrow z &= \frac{0,01}{320\sqrt{p}.\pi.D} \end{aligned} \quad (10)$$

Tương ứng với thông số của van, ta tính được:

$$\Leftrightarrow z \approx 4.10^{-6}m = 2\mu m \quad (11)$$

Như vậy, khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc là  $z \approx 2\mu m$  đã quy định độ phẳng và độ nhám cho phép của bề mặt van là:


$$z < [\text{độ phẳng}] + [R_a] \quad (12)$$

hoặc:

$$z < [\text{độ phẳng}] + [R_z] \quad (13)$$

#### 4. THẢO LUẬN VÀ KẾT LUẬN

Khe hở z được tính toán với chất khí ở đây là không khí, vì thế đó là phép tính gần đúng. Với khe hở  $z \approx 2\mu m$ , công nghệ chế tạo ở nước ta hoàn toàn có thể thực hiện được, nghĩa là đồng hồ khí hoàn toàn có thể sản xuất trong nước.

Việc nghiên cứu, tìm hiểu thiết kế của 

đồng hồ khí kiểu màng, dựa trên mô hình G1.6 có ý nghĩa thực tế. Từ những tính toán định lượng đồng hồ khí cho phép đánh giá độ chính xác của đồng hồ khí. Những kết quả tính toán này cho phép xác định sai số chế tạo của van, bộ phận quan trọng của đồng hồ khí, quyết định độ chính xác của dụng cụ đo. ❖

Ngày nhận bài: **24/01/2024**

Ngày phản biện: **12/02/2024**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Thị Liên Hương; “*Nghiên cứu, tìm hiểu thiết kế đồng hồ đo lưu lượng nước*”, Đồ án tốt nghiệp đại học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2005.
- [2]. <https://chintglobal.com/blog/how-diaphragm-gas-meter-work/>.
- [3]. Nguyễn Tiến Thọ, Nguyễn Thị Xuân Bầy, Nguyễn Thị Cẩm Tú; “*Kỹ thuật đo lường kiểm tra trong chế tạo cơ khí*”, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2009.
- [4]. G. Ficco, “*Metrological performance of diaphragm gas meters in distribution networks*”, Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 37, pp. 65–72, 2014.
- [5]. Tạ Ngọc Hải; “*Bài tập nguyên lý máy*”, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2005.
- [6]. Lương Ngọc Lợi; “*Cơ học thủy khí ứng dụng*”, NXB. Bách Khoa, 2021.

## DESIGN OF AN INTEGRATED CAM MECHANISMS WITH REAL-TIME DISPLAY SYSTEM

THIẾT KẾ CƠ CẤU CAM TÍCH HỢP VỚI HỆ THỐNG HIỂN THỊ THỜI GIAN THỰC

Nguyen Hoang Giang\*, Tong Duc Nang, Le Hong Chuong  
Ha Noi University of Civil Engineering

### ABSTRACT

*This research proposes an integrated cam system with real-time electronic display. Electronic devices are used as tools for control and data collection, after which this information is presented on an electronic screen through a central controller. The data is used to create real-time displacement graphs of the cam mechanism. This electronic display system visually represents both the nature and the current status of the cam mechanism, providing support for engineers and researchers in analyzing and optimizing control mechanisms that utilize this structure. Experimental fabrication demonstrates that this is a reliable solution for capturing and monitoring the cam mechanism, leading to efficiency and increased accuracy in the design, machining, and operation of mechanical systems.*

**Keywords:** Cam mechanism; Display; Control; Sensor; Real-time.

### TÓM TẮT

*Nghiên cứu này đề xuất một hệ thống cam tích hợp với màn hình điện tử thời gian thực. Các thiết bị điện tử được sử dụng làm công cụ điều khiển và thu thập dữ liệu, sau đó thông tin này được hiển thị trên màn hình điện tử thông qua bộ điều khiển trung tâm. Dữ liệu được sử dụng để tạo biểu đồ chuyển vị thời gian thực của cơ cấu cam. Hệ thống hiển thị điện tử này thể hiện trực quan cả bản chất và trạng thái hiện tại của cơ cấu cam, hỗ trợ các kỹ sư và nhà nghiên cứu trong việc phân tích và tối ưu hóa các cơ cấu điều khiển sử dụng cấu trúc này. Chế tạo thử nghiệm chứng minh rằng, đây là giải pháp đáng tin cậy trong việc nắm bắt và giám sát cơ cấu cam, dẫn đến hiệu quả và tăng độ chính xác trong thiết kế, gia công và vận hành các hệ thống cơ khí.*

**Từ khóa:** Cơ cấu cam; Hiển thị; Điều khiển; Cảm biến; Thời gian thực.

### 1. INTRODUCTION

In the realm of mechanical engineering, the study of cam (Camshaft) mechanisms holds significant importance. The use of cams and camshafts can be traced back to ancient civilizations, where they were employed in

a variety of devices, including water clocks, automata, and looms. In modern mechanical engineering, cam mechanisms are integral components in numerous applications. These mechanisms serve as fundamental components in a wide range of applications, from automotive engines to industrial machinery, where precise





control of motion is paramount [1]. For example, in automotive engines, cam mechanisms play a critical role in controlling the opening and closing of valves in internal combustion engines, dictating the engine's performance and efficiency [2, 3]. In manufacturing machinery, cam-driven machines are used in manufacturing processes such as metal stamping, textile weaving, and paper processing, enabling precise and repeatable motion, thus enhancing product quality and production efficiency [4, 5]. In robotics, cam mechanisms control the movement of robotic arms, grippers, and other components, facilitating precise and programmable motion [6]. In aerospace, cam mechanisms are employed in aircraft landing gear systems and wing flaps, contributing to safe and controlled flight operations [7]. Understanding the behavior and performance of cam mechanisms is essential for optimizing applications, improving reliability, minimizing wear and tear, and enhancing efficiency, especially in precision engineering and control engineering and automation applications. Research and development in this field continue to drive innovation, enabling technological advancements across various industries.

Recently, the development of innovative tools and systems for real-time data visualization and analysis has become a key area of interest among researchers and engineers. Cam mechanisms can be tricky because they make complex and not-so-straightforward movements. It's a challenge because these movements happen quickly and in different directions. In the past, scientists mainly used computer models and math to predict how cam mechanisms would behave [8]. However, these methodologies possess inherent constraints, often failing to provide a comprehensive view of real-world occurrences when factors such as

friction, wear, and various other forces come into play [9]. Additionally, turning all this complicated data into clear pictures that make sense to engineers and researchers is no easy task. Consequently, the big challenge here is finding a way to show these complicated cam movements in real-time and make it easy to understand for people who work with machines and mechanical systems [10].

To overcome this challenge, real-time data acquisition for cam mechanisms have been developed [11]. Through high-precision sensors and advanced data capture technology, real-time displacement data can be obtained with exceptional accuracy, providing engineers and researchers with dynamic insights into cam behavior. The combination of real-time data acquisition and GUIs empowers users to comprehend and analyze the complex motion patterns of cam mechanisms, facilitating quicker optimization, enhanced reliability, and informed decision-making in mechanical engineering applications. Following this practical approach, this study presents an application: the design of an integrated cam system with a real-time display tailored explicitly for visualizing displacement graphs within cam mechanisms. This system included optical sensors and Arduino-based control, to capture real-time displacement data and present it graphically on an OLED LCD display.

## 2. SYSTEM DESIGN

### 2.1. Mechanical system design

In designing the cam mechanism system, various models were considered, ranging from those used in internal combustion engines to specialized educational models. This study aims to showcase the efficiency of an electronic

display system using a versatile mechanical model with a cylindrical cam and roller follower. The choice of this model is based on its practicality for student use, accommodating various cam movements and presenting results in different formats. While some universities have replicated actual cam structures, these lacked real-time information. The preferred solution involves integrating an electronic display system to complement existing models, allowing for better comparisons and conclusive observations. Detailed mechanical design instructions is show in Figure 1.

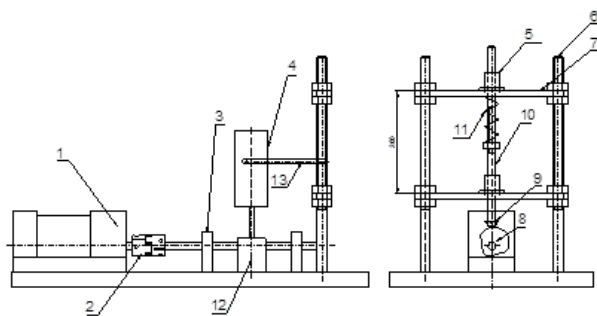


Figure 1. Mechanical design of cam system

1 - Engine; 2 - Coupling; 3 - Pillow Block;  
4 - Paper Winding Drum; 5 - Sliding Pillow Block;  
6 - M20 Threaded Shaft; 7 - Sliding Pillow Block  
Frame; 8 - Cam; 9 - Roller; 10 - Slide Shaft; 11 -  
Spring; 12 - Lead Screw Transmission;  
13 - Pointer

For the structure of the model, the gear reduction motor (1) is connected to the cam drive system through coupling (2). The transmission shaft is mounted on pillow block (3), driving the shaft of the lead screw transmission - worm gear (12). The transmission shaft also engages with the paper winding drum (4) and simultaneously drives the rotation of cam (8), pushing roller (9) to move, exerting force on slide shaft (10). The slide shaft (10) moves due to being mounted on sliding pillow block (5) and spring (11). In terms of the operating principle, motion is transferred from motor (1) to the lead screw transmission (12) through coupling (2). This motion is then transmitted to the drive cam (8), causing roller (9) to move the slide shaft (10) linearly up and down between the two pillow blocks (5). A pointer (13) is attached to the slide shaft (10) and moves along the scale on the paper winding drum (4) to mechanically represent the displacement of the cam profile. The paper winding drum is designed for comparison and cross-checking with the electrical display, which will be designed atop the model later.

## 2.2. Cam profile

Assume a predefined cam profile with displacement dependent on the rotation angle, as shown in Table 1.

Table 1. Predefined CAM profile

$\varphi^\circ$	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
S(mm)	0	6	10	14	14	14	14	14	14	14	10	6
	Near	Go Far	Far								Come Near	

To design the cam profile, Autodesk Inventor software is used. In the Assembly environment, select the Disc Cam function in the Design tab and input the required setup parameters. In the Motion Function section, choose the parabolic profile and

enter the displacement values corresponding to the four phases: Near, Go Far, Far, Come Near. Switch to the Calculation tab and input the required calculation parameters. Other parameters should be left as default settings. The parameters, the calculation results in the

software and the profile of cam are presented in the Table 2 and Figure 2.

Table 2. Parameters of cam profile

Basic radius	12 mm
Cam width	20 mm
Roller radius	20 mm
Roller width	8 mm
Eccentricity	0
Speed	10 rpm
Force on Roller	60 N
A. Weight	1 kg

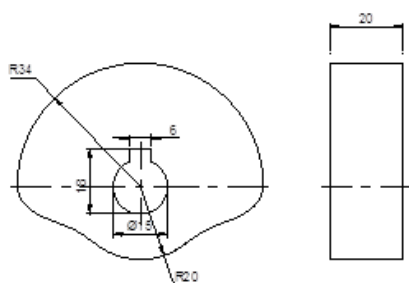


Figure 2. The profile of cam

### 2.3. Electronic system design

Angular velocity and revolution count are crucial in cam mechanisms, guiding understanding and control. Real-time display allows immediate adjustments for stable operation and swift issue detection, enhancing overall performance. To showcase these parameters, the cam system employs a motor (2) with a speed control unit (1) for power transmission. An encoder (4) measures rotational speed, sending signals to the controller board (1), which calculates and displays the information on the LCD screen (10).

Another important insight is visualizing the displacement diagram of the cam mechanism. Visualizing the displacement diagram is vital for real-time insight into motion,

aiding troubleshooting and optimization. To represent the displacement diagram of the cam mechanism in real-time, an optical sensor (7) is utilized to measure the displacement of the slide shaft and roller (6) due to cam (5) and movement. The signal is then transmitted to the controller board (8) and displayed in real-time on the OLED screen (9) in the form of a graph.

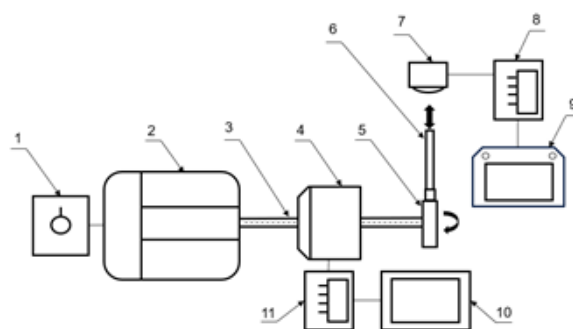


Figure 3. Block diagram of display system  
1 – Speed control unit; 2 – Motor; 3 – Motor shaft; 4 – Encoder; 5 – Cam; 6 – Roller and Slide shaft; 7 – Optical Sensor; 8, 11 – Controller board; 9 – OLED screen; 10 – LCD screen

### 2.4. Determining the mechanical and electronic components

With a required mass of 1 kg for the follower, combined a value of approximately 60 N on roller with the frictional force at the roller bearings, a motor with a gearbox and a following parameters is chosen:  $P_{dc}=90W$ ,  $n_{nc}=150rpm$ . For mechanical display, it requires drawing multiple graphs on one scroll of paper. The number of graphs that can be drawn depends on the transmission ratio of the worm gear set. To get a compact gear set with no tooth truncation, the worm gear set with a transmission ratio of  $u = 26$  is selected.

For electronic components, the Arduino board is chosen for its user-friendly nature and cost-effectiveness in electronic

components. Utilizing the HD44780 driver and a 16x2 LCD screen module simplifies I2C communication, reducing wiring complexity. Signal inputs from the encoder allow the Arduino board to calculate parameters like angular speed, angular acceleration, and main axis revolutions, displayed on the LCD screen. In order to effectively display the displacement graph, the ILI9486 model of a 3.5-inch OLED TFT board is preferred over an LCD. The GY-530 VL53L0X ToF optical sensor captures operational data, promptly processed by the Arduino board for real-time display on the OLED screen. Powered by a 12V electrical source through an AC-DC power adapter, additional electronic components can be added if needed. This combination offers a responsive GUI, presenting definitive observations and facilitating intuitive visual analysis and refinement of cam mechanisms.

### 2.5. Manufacturing and assembling

Overall, the mechanical system comprises an engine linked to a worm gear reducer via a coupling. The worm gear reducer's output shaft will feature a paper scroll for drawing, while the gearbox's input shaft will connect to the camshaft, equipped with a timing belt drive for the encoder. This system should be mounted on two vertical slide bearings on the machine frame, with a compression spring and ball bearing on the push rod. The mechanical display, including paper wind drums and a pointer, is designed to remain centrally positioned for easy operation and maintenance. The optical sensor and OLED screen are directly attached to the holding jig, while an LCD screen is housed in a plastic outer box for front-view display and improved aesthetics. All housing parts and jigs are manufactured using either mica material or

plastics with 3D printing technologies (Figure 4).

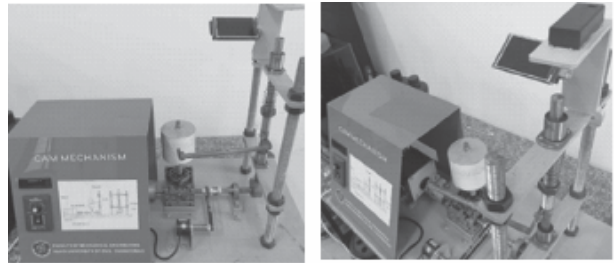


Figure 4. Cam system after manufacturing and assembly

### 3. RESULT AND DISCUSSION

When conducting the experimental run with predefined parameter RPM = 10 (table 1), the cam display systems produces the result as shown in Figure 5.

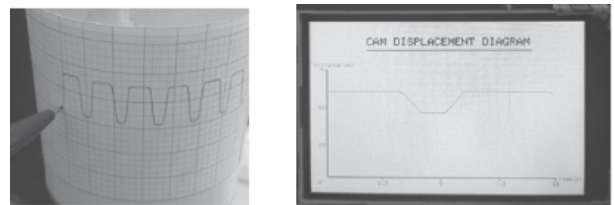


Figure 5. Results on Paper winding drum (left) and OLED screen (right), RPM = 10

Based on the graphical representation, the cam mechanism demonstrates a profile that perfectly aligns with the displacement parameters as designed on software for the cam (Table 1), consisting of four phases as defined: Extending Phase; Standoff Phase; Approaching Phase; Close-in Phase. Moreover, the OLED display shows that the cycle time is 6 seconds, which aligns with the setting of 10 RPM, and the lifting distance around 14mm matches the designed cam profiles. Both the OLED display and the mechanical display (paper winding drum) share the same geometrical profiles; the only difference is the time interval chosen for display on the OLED.



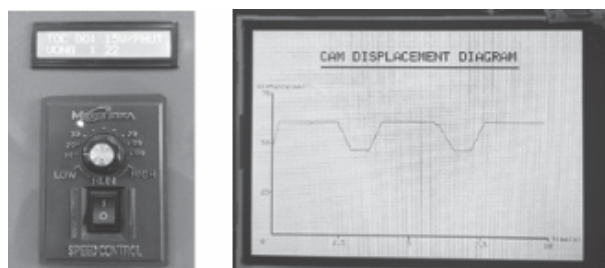


Figure 6. LCD screen and OLED screen when setting the RPM to 15

When selecting a different time interval, such as setting the RPM to 15, it implies that each cycle lasts 4 seconds, as accurately displayed on the OLED screen (Figure 6). Notably, when comparing the information on the LCD screen to that on the OLED screen, details about the

time per cycle (4 seconds) and the maximum lift distance (14mm) are aligned and easy to visualize. While gradually adjusting the RPM, the graph's shape remains consistent, only the cycle of the pushing displacement changes. Therefore, the fundamental parameters of the cam mechanism, including displacement, velocity, and acceleration, still adhere to a predetermined pattern. The experimental results are shown in Table 3, revealing that the manufacturing error is less than 1%. For instance, the lift distance is 14.1 mm, compared to the designed profile of 14 mm, and the displacement velocity is 2.31 mm/s and 3.48 mm/s, compared to the designed profile of 2.33 mm/s and 3.5 mm/s, indicating a successful manufacturing system.

Table 3. Experimental results of cam parameters:

	Angular velocity (RPM)	Lifting distance (mm)	Displacement velocity (mm/s)	Displacement acceleration (mm/s <sup>2</sup> )
Defined profile	10	14	2,33	0
Results	10	14,1	2,31	0
Defined profile	15	14	3,5	0
Results	15	14.1	3,48	0

When the graph, it shows both repeated and unrepeatd disturbances. Unrepeatd disturbances may result from noise during digital signal processing, challenging to eliminate entirely in real-time. Addressing this involves integrating noise filtering algorithms or using better equipment. Repeated disturbances suggest deflection in the cam's geometry, influenced by manufacturing variations, friction, wear, and gradual environmental factors. The graph clearly depicts these deflections, aiding in easy identification and adjustment. This visualization enhances understanding of cam mechanisms, improving reliability, efficiency, and providing guidance on system maintenance.

## 4. CONCLUSION

The implementation of the electronic display system for the cam mechanism is a notable success, showcasing seamless integration. This ensures prompt transmission of accurate data to the controller board, enabling an elegant and minimal-delay display on both the paper drum and OLED screen. The visually appealing and user-friendly interface enhances understanding and serves as a valuable GUI system. However, it's essential to note that, there may be occasional issues arising from noise generated by the optical sensor. To address this challenge, various potential solutions are under consideration. These include the possibility



of upgrading to a more advanced optical sensor or exploring a redesigned mechanical structure that minimizes the likelihood of noise interference, thus further enhancing the system's overall performance. Aside from that, this display system offers potential benefits in enhancing complex cam systems by providing real-time insights for industrial applications, optimizing performance, and ensuring reliability. Its user-friendly interface serves as an invaluable educational tool, simplifying the learning process.

### Acknowledgements:

This research has been financially supported by Hanoi University of Civil Engineering, Vietnam (HUCE), through grant number 23-2023/KH XD.

### Reference:

- [1]. Oledzki, A. (1973). *Some dynamic properties of systems with Cam Mechanisms*. Mechanism and Machine Theory, 8(4), 543–554. [https://doi.org/10.1016/0094-114x\(73\)90026-8](https://doi.org/10.1016/0094-114x(73)90026-8).
- [2]. Tikhonenkov, S. (2020). *An internal combustion engine without a crankshaft*. Perspectives; Combustion Engines, 183(4), 39–44. <https://doi.org/10.19206/ce-2020-406>.
- [3]. Qin, W., & Chen, Y. (2014). *Study on optimal kinematic synthesis of CAM profiles for engine valve trains*. Applied Mathematical Modelling, 38(17–18), 4345–4353. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.02.015>.
- [4]. Mali, M. R., Maskar, P. D., Gawande, S. H., & Bagi, J. S. (2012a). *Design optimization of cam & Follower Mechanism of an internal combustion engine for improving the engine efficiency*. Modern Mechanical Engineering, 02(03), 114–119. <https://doi.org/10.4236/mme.2012.23014>.
- [5]. Wu, L.-I., Chang, W.-T., & Liu, C.-H. (2007). *The design of varying-velocity translating cam mechanisms*. Mechanism and Machine Theory, 42(3), 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.03.006>.
- [6]. Sun, Q., Wang, C., Zhao, D., & Zhang, C. (2014). *Cam Drive Step Mechanism of a quadruped robot*. Journal of Robotics, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/851680>.
- [7]. Zhou, C., Hu, B., Chen, S., & Ma, L. (2016). *Design and analysis of high-speed cam mechanism using Fourier series*. Mechanism and Machine Theory, 104, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2016.05.009>.
- [8]. Ouyang, T., Wang, P., Huang, H., Zhang, N., & Chen, N. (2017). *Mathematical modeling and optimization of CAM mechanism in delivery system of an offset press*. Mechanism and Machine Theory, 110, 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.01.004>.
- [9]. Soejima, M. (2002). *Studies on friction and wear characteristics of Cam and follower: Influences of soot contamination in engine oil*. JSAE Review, 23(1), 113–119. [https://doi.org/10.1016/s0389-4304\(01\)00166-7](https://doi.org/10.1016/s0389-4304(01)00166-7).
- [10]. Merticaru, E., Merticaru, V., Nagit, G., Mihalache, A. M., Tabacaru, L. L., & Rîpanu, M. I. (2023). *Analytical, numerical and Experimental Analysis of a positive displacement cam mechanism—a case study*. Machines, 11(7), 770. <https://doi.org/10.3390/machines11070770>.
- [11]. Naskar, T. K., & Acharyya, S. (2010). *Measuring cam–follower performance*. Mechanism and Machine Theory, 45(4), 678–691. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.12.002>.

## **Nỗ lực thi công đưa Dự án Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và 4 về đích đúng tiến độ**

Những ngày này, trong không khí mọi người, mọi nhà tất bật chuẩn bị cho Tết cổ truyền Giáp Thìn 2024, những cán bộ, kỹ sư, công nhân LILAMA và LILAMA 10 trên công trường Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và 4 vẫn vui vẻ, hăng say lao động, chạy đua với thời gian để đưa dự án về đích đúng tiến độ.

### **Nỗ lực vượt khó, tăng tốc trên toàn bộ các hạng mục**

Dự án Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và 4 tại huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai là dự án quan trọng quốc gia, công suất 1.500 MW với tổng mức đầu tư 1,4 tỷ USD. Đây là dự án nhiệt điện sử dụng nhiên liệu khí LNG đầu tiên tại Việt Nam. Dự kiến khi đi vào hoạt động sẽ bổ sung khoảng 9 tỷ kWh điện/năm cho hệ thống điện quốc gia và sẽ góp phần thực hiện cam kết phát thải ròng về 0 vào năm 2025 của Thủ tướng Chính phủ, tại Hội nghị lần thứ 26 các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu.



*Các kỹ sư LILAMA 10 thi công lắp đặt máy phát điện Nhà máy Nhiệt điện Nhơn Trạch 4.*

Nhà máy thuộc Quy hoạch Điện VII được Chính phủ giao cho Tổng công ty Điện lực Dầu khí Việt Nam (PV Power) làm chủ đầu tư, Samsung C&T Corporation và Tổng Công ty Lắp máy Việt Nam (LILAMA) là 2 đơn vị liên danh tổng thầu. Công ty Cổ phần LILAMA 10 là một đơn vị thành viên của Tổng công ty Lắp Máy Việt Nam – CTCP, với phạm vi công việc lắp đặt trải rộng khắp các vị trí mặt bằng tại dự án.

Có thể nói, hợp đồng EPC là hợp đồng quan trọng nhất, quyết định cơ bản sự thành công và hiệu quả của Dự án. Giá trị hợp đồng trên 940 triệu USD (trong đó tỷ lệ phần công việc thực hiện trong nước cao nhất từ trước đến nay, chiếm 39%) gồm các thiết bị như: Tua bin hơi, máy phát điện, lò thu hồi nhiệt và hệ thống điều khiển (DCS)...

Dự án với công nghệ mới và phức tạp, quy mô lớn, chưa từng có tiền lệ tại Việt Nam khiến cho mỗi giai đoạn đều là những bước đi mới, thách thức mới cho công tác quản trị dự án khi không có nhiều sự tham khảo, học hỏi từ các dự án khác.

Xác định tầm quan trọng của dự án, ngay sau ngày khởi công xây dựng, Liên danh tổng thầu, đặc biệt là LILAMA, với đơn vị thi công chủ lực là LILAMA 10 đã tổ chức thi công quyết liệt, bám đuổi các mốc tiến độ xây dựng theo hợp đồng. Nhờ vào việc tăng tốc trên toàn bộ các hạng mục, đến nay gói thầu dự án đã gần như hoàn thành ở những hạng mục quan trọng, phần nền và móng đã được thi công xong, hoàn thành lắp đặt kết cấu thép lò thu hồi nhiệt, nhà máy tua-bin, Turbine hơi, máy phát, máy biến áp.... Cả hai Nhà máy Điện Nhơn Trạch 3 và

Nhon Trạch 4 đều đã đưa máy phát điện và turbine khí vào bộ móng – nơi được xem là “trái tim” của nhà máy. Đây là một mốc quan trọng, ghi nhận những nỗ lực phấn đấu của chủ đầu tư, các nhà thầu và tất cả các cán bộ, kỹ sư, công nhân LILAMA và LILAMA 10 đang ngày đêm lao động miệt mài trên công trình trọng điểm quốc gia, nhanh chóng đưa nhà máy vào vận hành, góp phần khắc phục tình trạng thiếu điện hiện nay.



*Tổng giám đốc LILAMA 10 – Nguyễn Đình Tình kiểm tra lần cuối vị trí tại bộ móng trước khi máy phát được nâng lên và đưa vào vị trí lắp đặt tại Nhà máy Nhiệt điện Nhon Trạch 4.*

Lãnh đạo Ban dự án đánh giá cao về trách nhiệm cũng như kế hoạch làm việc của liên danh tổng thầu, trong đó, LILAMA và LILAMA 10 là đơn vị chủ lực với khối lượng thi công lớn, nhiều hạng mục khó, đòi hỏi yếu tố kỹ thuật cao nhưng đã vượt khó, triển khai thi công, xây lắp đảm bảo tiến độ đối với toàn dự án.

### **Đảm bảo an toàn, chất lượng và tiến độ**

Theo kế hoạch, Nhà máy Điện Nhon Trạch 3 sẽ phát điện thương mại vào ngày 15/11/2024, còn Nhà máy Điện Nhon Trạch 4 sẽ phát điện thương mại vào ngày 15/5/2025. Dự kiến đến trước Tết âm lịch Giáp Thìn 2024, dự án sẽ đạt khối lượng thi công ước khoảng 80% so với hợp đồng đã ký kết.

Để đảm bảo tiến độ thi công xây dựng Nhà máy, ngoài Liên danh Tổng thầu, LILAMA 10 đang dồn toàn lực, huy động nhân công, máy móc, thiết bị để đẩy nhanh việc thi công, lắp đặt các hạng mục tại khắp các mặt bằng dự án. Các kỹ sư, công nhân thuộc LILAMA 10 đang ngày đêm triển khai những phần việc đã được giao, qua đó đảm bảo an toàn, chất lượng và tiến độ toàn dự án. Trên công trường, công tác thi công hối hả, nhộn nhịp, các công nhân vẫn làm việc xuyên lễ để đưa tiến độ dự án.



*Kỹ sư và các công nhân có trình độ cao và lành nghề của LILAMA 10 đang căn chỉnh để đưa máy phát vào vị trí bộ móng.*

Các tổ, đội công trình thi công của LILAMA 10 luôn đoàn kết, thi đua lao động giỏi với năng suất, chất lượng lao động cao; đảm bảo an toàn, vệ sinh lao động, chất lượng công trình; thực hành tiết kiệm, chống lãng phí... Ban điều hành tăng cường công tác chỉ đạo, giám sát chặt chẽ và có giải pháp kịp thời khắc phục mọi sự cố kỹ thuật để đảm bảo chất lượng; động viên cán bộ, công nhân tích cực phát huy sáng kiến, cải tiến kỹ thuật, áp dụng các tiến bộ công nghệ kỹ thuật tiên tiến vào thực tiễn sản xuất trên công trường.

Tổng giám đốc LILAMA 10 – Nguyễn Đình Tình cho biết: “Mặc dù có nhiều khó khăn, nhưng chúng tôi rất coi trọng chất lượng sản phẩm chế tạo thiết bị cũng như chất lượng thi công xây lắp các công trình. Đặc biệt, chúng



tôi luôn duy trì tuân thủ nghiêm ngặt quy trình quản lý chất lượng theo ISO 9001:2000 và áp dụng tiêu chuẩn ASME trong việc chế tạo sản phẩm cơ khí”.

Ông Hoàng Văn Huỳnh – Kỹ sư giám sát lắp đặt toàn bộ quá trình thi công “trái tim” nhà máy (thuộc LILAMA) khẳng định: “Được giao nhiệm vụ giám sát toàn bộ quá trình thi công, lắp đặt các hệ thống như: Turbine, máy phát, lò hơi... của một dự án lớn như thế này thì phải cẩn thận, tỉ mỉ đến từng chi tiết, phải làm sao để việc thi công, lắp đặt đảm bảo quy định, quy chuẩn chế tạo, thiết kế”.

Anh Vũ Phong, một công nhân quê Đồng Nai cho biết, được tham gia thi công Dự án Nhà máy Điện Nhơn Trạch 3 và Nhơn Trạch 4 là một niềm vui lớn, bởi được góp phần sức

lực vào công trình có quy mô có tầm quan trọng quốc gia và phát triển kinh tế - xã hội của địa phương. "Dù cuộc sống của chúng tôi có khó khăn nhưng anh em vẫn đoàn kết, động viên nhau nỗ lực hết mình để công trình hoàn thành tiến độ đề ra", anh Phong nói.

Chúng kiến không khí khẩn trương của hàng ngàn công nhân, kỹ sư trên công trường những ngày gần Tết, chúng tôi mới cảm nhận được sự vất vả, gian nan mà họ đang nỗ lực vượt qua. Những cống hiến thầm lặng của các cán bộ công nhân viên LILAMA và LILAMA 10 trên công trường trọng điểm này, thêm khẳng định quyết tâm nhanh chóng đưa nhà máy vào vận hành, góp phần đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia. ❖

**HẢI HÀ**



## Vượt khó, LILAMA10 tiếp tục khẳng định bản lĩnh, thương hiệu trong nước và quốc tế

**C**ông ty Cổ phần Lilama 10 (LILAMA 10) là đơn vị thành viên của Tổng công ty Lắp máy Việt Nam – CTCP (LILAMA). Trải qua năm 2023 với rất nhiều khó khăn, thách thức, LILAMA 10 tiếp tục khẳng định bản lĩnh, tiên phong của một thương hiệu hàng đầu trong lĩnh vực chế tạo, lắp đặt thiết bị và đạt được kết quả sản xuất kinh doanh (SXKD) khá ấn tượng.

Có thể nói, năm 2023 là năm hết sức khó khăn đối với các doanh nghiệp, nhất là những doanh nghiệp ngành cơ khí, chế tạo như LILAMA10. Nhiều thách thức lớn, bất ngờ xuất hiện, tác động xấu, nhiều mặt làm cho chuỗi cung ứng bị gián đoạn; vật tư, nguyên liệu cho sản xuất, giá xăng dầu, chi phí đầu vào, vận tải, lạm phát tăng cao đột biến; sự cạnh tranh khốc liệt trên thị trường xây lắp, chế tạo cơ khí giữa các doanh nghiệp trong và ngoài nước, áp lực tái cơ cấu của nền kinh tế...

Nhận định đây không chỉ là thách thức mà còn là cơ hội cho doanh nghiệp, Hội đồng Quản trị (HĐQT) Công ty đã có định hướng và giải pháp đúng đắn, thực hiện đúng và đầy đủ chức năng, quyền hạn theo Điều lệ và quy định của pháp luật hiện hành. Các thành viên HĐQT nghiêm túc và trách nhiệm trong việc trao đổi, thảo luận, phản biện các đề xuất chiến lược, kế hoạch kinh doanh và đóng góp ý kiến đối với các vấn đề thuộc thẩm quyền, thực hiện tốt vai trò quản lý và giám sát toàn diện các mặt hoạt động sản xuất kinh doanh (SXKD) của Công ty, đảm bảo hoạt động của Công ty được ổn định, tuân thủ pháp luật, triển khai thực hiện theo đúng các Nghị quyết của Đại hội đồng Cổ đông và HĐQT.

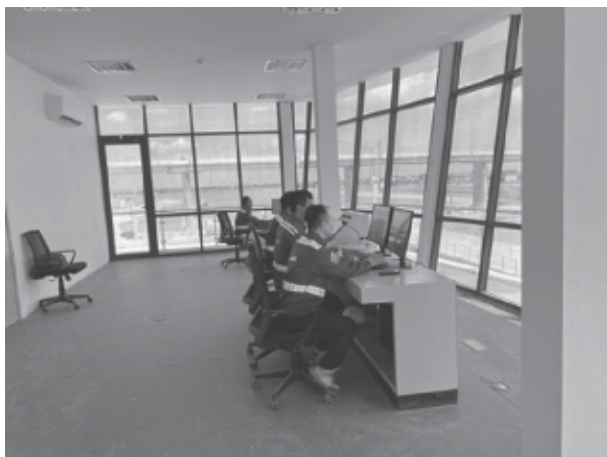
Nghị quyết của HĐQT đã đưa ra định hướng đúng đắn, các giải pháp phù hợp và kịp thời để chỉ đạo thực hiện hoạt động SXKD, đồng thời đảm bảo tính minh bạch, tạo điều kiện thuận lợi để cổ đông và các nhà đầu tư cũng như các cơ quan quản lý có thể thực hiện tốt được chức năng giám sát, thanh tra kiểm soát, do đó Công ty đã hoàn thành tốt và vượt các chỉ tiêu kế hoạch năm khá ấn tượng.

Báo cáo kết quả hoạt động kinh doanh năm 2023 của Công ty cho thấy: Doanh thu bán hàng và cung cấp dịch vụ đạt 1.048,112 tỷ đồng, đạt 105% kế hoạch, tăng hơn so với năm 2022; lợi nhuận trước thuế 30,023 tỷ đồng, đạt 157% kế hoạch, tăng gần 53% năm 2022; nộp ngân sách Nhà nước 29,7 tỷ đồng, đạt 102,5% kế hoạch, tăng gần 180% năm 2022; lãi cơ bản trên cổ phiếu là 2.646, vượt 53,7% so với năm 2022.

Trong năm 2023 vừa qua, LILAMA 10 tiếp tục ghi dấu ấn trên những công trình trọng điểm của đất nước. Trong đó đáng kể là Cụm công trình kênh nối sông Đáy - sông Ninh Cơ tại Nam Định có giá trị 2.300 tỷ đồng đáp ứng tàu trọng tải 2.000 - 3.000 tấn đã chính thức được mở luồng ngày 25/7, LILAMA 10 là đơn vị thiết kế, chế tạo, lắp đặt, chạy thử và hướng dẫn vận hành toàn bộ thiết bị của dự án cụm công trình thủy lớn và quan trọng bậc nhất khu vực phía Bắc nước ta.







*Các kỹ sư LILAMA 10 giám sát, hướng dẫn tàu thuyền ra vào khu vực âu tàu Cụm công trình kênh nối sông Đáy - sông Ninh Cơ.*

Hay như Dự án Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và Nhơn Trạch 4 tại huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai là dự án quan trọng quốc gia, công suất 1.500 MW với tổng mức đầu tư 1,4 tỷ USD. Đây là dự án nhiệt điện sử dụng nhiên liệu khí LNG đầu tiên tại Việt Nam. Dự án với công nghệ mới và phức tạp, quy mô lớn, chưa từng có tiền lệ tại Việt Nam.

Là một đơn vị thành viên của LILAMA – một trong hai tổng thầu EPC dự án, LILAMA 10 thực hiện phạm vi công việc lắp đặt trải rộng khắp các vị trí mặt bằng tại dự án. Đơn vị đã tổ chức thi công quyết liệt, bám đuổi các mốc tiến độ xây dựng theo hợp đồng, đến nay gói thầu dự án đã gần như hoàn thành ở những hạng mục quan trọng. Cả hai Nhà máy Điện Nhơn Trạch 3 và Nhơn Trạch 4 đều đã đưa máy phát điện và turbine khí vào bộ móng.

Đặc biệt, với sở trường là gia công chế tạo, tổ hợp và lắp đặt thiết bị cơ khí, LILAMA và LILAMA 10 đã mở rộng thị trường sang các dự án năng lượng xanh, chế tạo tổ hợp các mô-đun thiết bị cỡ lớn cho các nhà máy sản xuất hydro thông qua hợp đồng gia công chế tạo với

các bạn hàng quốc tế để dần tham gia vào chuỗi cung ứng toàn cầu.

Thực hiện nhiệm vụ của LILAMA giao cho, LILAMA 10 thực hiện gia công chế tạo, tổ hợp, chạy thử và đóng gói 02 mô-đun thiết bị điện phân 20MW cho đối tác Thyssenkrupp Nucera, phục vụ cho dự án Nhà máy sản xuất Hydro xanh West Coast, California - Hoa Kỳ. Đây là dự án có yêu cầu độ chính xác cao trong công tác chế tạo và tổ hợp, đặc biệt là yêu cầu nghiêm ngặt trong việc làm sạch và bảo quản thiết bị cũng như đóng gói sản phẩm trước khi xuất hàng.

Với việc hoàn thành và bàn giao 02 mô-đun thiết bị điện phân cho đối tác Thyssenkrupp Nucera đạt chất lượng và tiến độ đề ra, LILAMA 10 trở thành đơn vị đầu tiên của Việt Nam gia công chế tạo, tổ hợp thành công mô-đun quan trọng cho hệ thống này và tiếp tục được LILAMA giao nhiệm vụ thực hiện công việc chế tạo kết cấu thép cho Dự án Hydro xanh NEOM lớn nhất thế giới tại Ả Rập Xê út. Dự án bao gồm gia công chế tạo và tổ hợp 110 Mô-đun thiết bị điện phân, với tổng mức đầu tư lên tới hơn 8 tỷ USD, qua đó góp phần đưa thương hiệu LILAMA và LILAMA 10 ra thế giới và đóng góp chung vào nền kinh tế Việt Nam trong cán cân xuất nhập khẩu.

Ở bất kỳ công trình nào, LILAMA 10 đều đảm bảo 3 tiêu chí “an toàn – chất lượng – tiến độ” tạo dựng niềm tin với các chủ đầu tư. Đây chính là niềm tự hào lớn của những người lao động đang khoác trên mình chiếc áo xanh LILAMA 10. ❖

**KHÁNH NGÂN**