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 đông đảo bạn đọc.

2. Việc công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

Tạp chí Cơ khí Việt Nam nhận công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu cứu sinh, học viên cao học,… trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam (bản in giấy), gồm: *[1]Cơ khí Chế tạo máy, [2]Cơ khí Quốc phòng, [3]Cơ khí Giao thông, [4]Cơ khí Nông-lâm nghiệp, [5]Cơ khí Xây dựng, [6]Cơ khí Thủy sản, [7]Cơ khí Địa chất, [8]Cơ khí Hóa chất, [9]Cơ khí Bảo quản chế biến nông lâm thủy sản, [10]Cơ khí Động cơ đốt trong, [11]Cơ khí Ô tô - Máy kéo, [12]Cơ khí Máy thủy khí, [13]Cơ khí Công nghệ nhiệt lạnh, [14]Cơ khí máy năng lượng, [15]Cơ khí Công nghệ dệt, [16]Cơ khí Công nghệ cắt may, [17]Cơ khí Cơ-điện tử, [18]Cơ khí Kỹ thuật hệ thống công nghiệp, [19]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 dãn 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 tiểu mục, tên bảng, hình vẽ. Tên bảng được ghi bên trên bảng, tên hình vẽ được ghi bên dưới hình. Chú thích in nghiêng.

Chỉ có những tài liệu được trích dẫn thực sự trong nội 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 đơn (…), tên sách, tên nhà xuất bản, nơi xuất bản (đối với sách), hoặc tên bài báo, tên tạp chí, tập, số (đối với bài báo), trang đầu và trang cuối của tài liệu. Đối với những tài liệu không có tác giả thì xếp theo chữ cái của từ đầu tiên của cơ quan ban hành tài liệu. Trong bản thảo, ở những nội dung tác giả đã tham khảo hoặc sử dụng kết quả 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 kí nộp bài, các tác giả có thể đề xuất 2 phản biện. Việc chọn các phản biện chuyên môn phù hợp thuộc quyền của Hội đồng Biên tập Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

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

Những bài viết được chấp nhận đăng, các tác giả sẽ nhận được thư phản hồi của Hội đồng Biên tập với thời gian sửa chữa được yêu cầu tùy theo chất lượng của bài viết. Bản sửa chữa lần cuối của tác giả sẽ được coi là bản gốc.

Bản thảo có thể nộp trực tiếp hoặc gửi qua E-mail của Tạp chí.

Quý tác giả muốn biết thêm thông tin, xin vui lòng liên hệ với **TÒA SOẠN TẠP CHÍ 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: Tcckvn.bbkh@gmail.com * **Website:** 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. **TRƯƠNG 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 BÀY**
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. **TRƯƠNG 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
- 424 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 120.000 đồng/quyển Tạp chí

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: tcckvietnam@gmail.com
Website: cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

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

Văn bản chấp thuận tăng trang số 760/CBC-QLBC ngày 13 tháng 6 năm 2024 của Cục Báo chí, Bộ Thông tin và Truyền thông, để xuất bản số 316 tháng 6 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 Bảo, phường 4, quận Gò Vấp, TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 921 407
Email: tcck.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

2. Tại tỉnh Quảng Ninh:
- TS. **Hoàng Minh Thuận**
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng, Liên Phương, Phương Đông, Uông Bí, Quảng Ninh
Điện thoại: 0904 116 189
Email: minhthuan.tcckvn@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

Phóng viên thường trú:

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

MỤC LỤC
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM SỐ 316, THÁNG 6 NĂM 2024

Trang

NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (7 – 418)

1. **Vũ Ngọc Tuấn**: Nghiên cứu xây dựng và tối ưu tham số mô hình Markov ẩn cho hệ thống phanh xe URAL-43206 7
2. **Nguyễn Quận, Nguyễn Quốc Mạnh**: Hàn giáp mối khác vật liệu giữa hợp kim nhôm A5052 và thép CT38 bằng quá trình hàn GMAW 14
3. **Đỗ Viết Long, Trương Văn Thuận**: Một nghiên cứu về mô phỏng số kết hợp thực nghiệm trong tính toán động học robot: Bài toán robot 2R 20
4. ThS. **Đỗ Anh Tuấn**: Nghiên cứu, tính toán kiểm nghiệm độ bền của móc nâng bằng phần mềm Ansys 25
5. **Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Lâm Thanh Chương**: Nghiên cứu khảo sát dao động của ô tô điện cỡ nhỏ 31
6. **Nguyễn Hồng Lĩnh**: Xây dựng phương trình quan hệ giữa các thông số gia công với độ nhám bề mặt khi gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục 38
7. **Đỗ Viết Long, Hoàng Anh Trường, Trương Văn Thuận**: Một nghiên cứu ứng dụng Arduino và Loadcell trong điều khiển chính xác lực của máy ép trục đứng 43
8. **Nguyễn Văn Trúc**: Nghiên cứu quá trình phay thép CT3 có sự hỗ trợ của rung siêu âm 47
9. **Ngô Ngọc Lân, Phạm Văn Dũng, Trần Văn Thắng**: Nghiên cứu triển khai tự động hóa chi phí thấp cho doanh nghiệp sản xuất nội thất 51
10. **Nguyễn Thành Sơn**: Nghiên cứu mô phỏng đánh giá ảnh hưởng thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống 59
11. **Nguyễn Quốc Toản, Bùi Thanh Hương**: Nghiên cứu các phương pháp tính định mức chỉ và xác định lượng chỉ tiêu hao cho sản phẩm áo Polo-Shirt trong may công nghiệp 66
12. **Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Quang Dũng**: Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến sai lệch độ tròn của chi tiết khi mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi 78
13. **Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Trần Đình Tuấn, Dương Ngọc Khánh**: Nghiên cứu ổn định quỹ đạo chuyển động của ô tô điện cỡ nhỏ khi chuyển làn đường 86
14. **Trần Khánh Dương**: Mô phỏng số màng bơm và khảo sát thực nghiệm vận hành bơm lấy mẫu khí công suất nhỏ 92
15. **Cao Thị Kiên Chung, Nguyễn Thế Lực, Bùi Văn Huấn**: Nghiên cứu đặc tính của một số loại vải dệt kim làm chi tiết mũ giày 98
16. **Dương Lê Hùng, Bùi Chấn Thạnh**: Ứng dụng phương pháp số vào tối ưu hệ thống rót cho đúc mẫu hóa khí vỏ hộp số máy cày 104
17. **Trần Ngọc Tiến, Lê Văn Nghĩa, Nguyễn Đức Minh**: Nghiên cứu xây dựng hệ thống tay kẹp gạch sử dụng thị giác máy tích hợp trên robot NACHI MC20-01 110
18. ThS. **Đoàn Thanh Xuân**: Xây dựng bộ đôi số cho nhà máy sản xuất hóa chất: Một số ca nghiên cứu 117
19. **Trần Phước Trung, Trần Thanh Danh, Tăng Thái Khang, Phạm Công Thuận, Trần Minh Thế Uyên**: Nghiên cứu đặc tính moment của cơ cấu mềm khi phun ép với các thành phần vật liệu composite khác nhau 122
20. **Bùi Chấn Thạnh, Dương Lê Hùng**: Phân tích biến dạng kéo vật liệu nhựa high-density polyethylene dạng ống được chế tạo bằng phương pháp thổi và đùn 127
21. TS. **Lê Hữu Ban**: Phương pháp xác định điều kiện biên bài toán CFD mô phỏng sự hình thành siêu khoang ở đạn bắn dưới nước 132
22. **Dương Thị Lan Anh, Ngô Chí Trung**: Nghiên cứu một số đặc tính cơ lý vải lụa, ứng dụng thiết kế váy thời trang trẻ em 136
23. TS. **Nguyễn Văn Tài**, TS. **Nguyễn Hoài Tân**, TS. **Huỳnh Thanh Thưởng**, TS. **Nguyễn Văn Cương**: Ảnh hưởng của cation kim loại trong dung dịch mạ Cr(III) đến khả năng chống ăn mòn của lớp mạ crom 142

24. **Trần Đức Toàn**: Nghiên cứu áp dụng công nghệ lắp ghép Lego trong thiết kế máy/chi tiết máy 147
25. **Bùi Thanh Hương, Đào Thị Tình**: Nghiên cứu hoàn thiện công thức thiết kế mẫu cơ sở áo nhẹ cho nữ thanh niên lứa tuổi 18 đến 24 bằng phần mềm CLO3D..... 152
26. **Nguyễn Hồng Lĩnh, Nguyễn Trường Giang**: Xây dựng phương trình quan hệ giữa các thông số gia công với sai lệch hình dạng profile khi gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục..... 161
27. **Nguyễn Hoàng Vũ, Nguyễn Xuân Đạt**: Đánh giá khả năng đáp ứng của vòi phun Commonrail kiểu điện từ CRI2.2 khi áp dụng kỹ thuật phun chính hai giai đoạn..... 166
28. **Lê Thị Tuyết Nhung**: Phân tích hư hại của ống nhôm chịu va chạm dọc trục bằng luật hư hại theo cơ chế dẻo của vật liệu..... 174
29. **Đinh Mai Hương, Lê Thị Lành**: Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ may đến độ bền và độ giãn đứt đường may 301 trên vải dệt kim..... 179
30. **Đào Thị Chinh Thùy**: Ứng dụng công nghệ dệt kim trong sản xuất sản phẩm không đường may 186
31. **Trần Trọng Đạt**: Đánh giá hiệu quả của van gia tốc trong hệ thống phanh khí nén..... 192
32. **Đặng Trung Kiên, Huỳnh Minh Triết, Trịnh Hoài Ân, Nguyễn Tấn Tiến**: Nghiên cứu giả lập hiện tượng run của cánh tay bệnh nhân Parkinson..... 197
33. **Nguyễn Văn Du**: Nghiên cứu lựa chọn mô hình quá trình cháy và hình thành phát thải trong động cơ nhiên liệu kép LPG/diesel..... 203
34. **Nguyễn Văn Nhất, Nguyễn Minh Tân, Bùi Khắc Khánh**: Nghiên cứu chất lượng của liên kết hàn khe hở hẹp thép các-bon thấp bằng phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc..... 209
35. **Nguyễn Thành Đông**: Giao thoa kế heterodyne sửa đổi với hai tần số tách biệt trong không gian cho phép đo dịch chuyển nhỏ..... 215
36. **Hoàng Thanh Thảo, Nguyễn Minh Tuấn**: Đánh giá một số chỉ tiêu chất lượng của sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to chi số thấp..... 220
37. **Lê Thị Tuyết Nhung**: Nghiên cứu quá trình lan truyền vết nứt quanh lỗ ốc vít trên vỏ máy bay.. 225
38. **Huỳnh Văn Nam, Đinh Lê Cao Kỳ**: Nghiên cứu ảnh hưởng tần số rung động đến nhiệt độ khi hàn siêu âm nhôm Al6061..... 229
39. TS. **Lương Văn Vạn**, ThS. **Khấu Tấn Phát**, PGS,TS. **Nguyễn Thanh Tùng**: Xây dựng mô hình thí nghiệm xác định gia tốc thân xe khi chuyển đổi từ hệ thống treo nhíp sang hệ thống treo khí nén..... 233
40. ThS. **Kiều Duy Thanh**, ThS. **Mai Văn An**, ThS. **Tạ Bá Dũng**: Khảo sát yếu tố ảnh hưởng đến vận tốc khóa nòng súng phóng lựu liên thanh SPL-30..... 240
41. ThS. **Nguyễn Văn Mễ**, PGS,TS. **Hà Minh Hùng**, TS. **Nguyễn Hoàng Quân**, TS. **Ngô Trọng Bính**, KS. **Đinh Khắc Mác**: Thực nghiệm hàn MAG liên kết giáp mối vật liệu composite luyện kim bột trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng..... 244
42. SV. **Đinh Công Duẩn**, PGS,TS. **Nguyễn Thế Bảo**: Thực nghiệm cấp đông tôm thẻ với sự hỗ trợ của sóng siêu âm..... 254
43. TS. **Trần Văn Đức**, ThS. **Tạ Bá Dũng**, ThS. **Nguyễn Thanh Phúc**, ThS. **Đỗ Văn Hùng**: Bài toán làm mát hệ thống pháo hạm tự động 30mm 6 nòng PT-306..... 261
44. TS. **Cao Ngọc Vi**: Phân tích ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt trong bầu hấp phụ đến khả năng làm việc của máy lạnh hấp phụ..... 267
45. **Đinh Ngọc Sơn, Ngô Văn Minh, Nguyễn Thế Bảo**: Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo tua-bin gió công suất nhỏ với máy phát điện có nam châm vĩnh cửu đặt nghiêng..... 272
46. ThS. **Nguyễn Văn Mễ**, PGS,TS. **Hà Minh Hùng**, TS. **Nguyễn Hoàng Quân**, TS. **Ngô Trọng Bính**, KS. **Đinh Khắc Mác**: Nghiên cứu biến dạng và đặc tính kim tương học mối hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite luyện kim bột trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng..... 280
47. TS. **Nguyễn Văn Tuệ**: Xác định trường vận tốc và áp suất xung quanh vật ngập trong dòng chất lỏng chuyển động bằng phép nội suy và xấp xỉ hàm..... 289

48. **Đặng Trung Kiên, Phan Hoàng Long, Dương Văn Tú, Nguyễn Tấn Tiến**: Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy xách tay, Phần 2 – Đề xuất giải pháp kiểm định bình chữa cháy xách tay tự động..... 294
49. **Nguyễn Phạm Minh Tiến, Nguyễn Văn Thành**: Ứng dụng phần mềm Creo để thiết kế và phân tích khuôn cho sản phẩm có ren ngoài và ren trong..... 302
50. **Nguyễn Hữu Lộc, Lê Thúy Anh, Nguyễn Văn Thạnh**: Thiết kế hệ thống truyền động cơ khí với các phần mềm CAD..... 307
51. **Trần Hữu Danh**: Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của một số thông số kết cấu sàn rung đến chất lượng thu gom rác cho xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long..... 315
52. **Đặng Trung Kiên, Trịnh Hoài Ân, Nguyễn Tấn Tiến**: Nghiên cứu thiết kế thiết bị mô phỏng chuyển động và hành vi của triệu chứng run ở cánh tay người..... 322
53. **Trịnh Vương Quang Huy, Dương Văn Tú, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến**: Nghiên cứu về ảnh hưởng của việc bố trí cảm biến hồng ngoại dành cho xe dò line..... 329
54. ThS. **Bùi Quang Toàn**: Nghiên cứu tính toán thiết kế máy in 3D kim loại 5 trục..... 337
55. **Trần Hữu Danh**: Thiết kế, chế tạo cơ cấu tự động thu gom và phân loại rác cho xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long..... 343
56. **Trần Hữu Danh**: Thí nghiệm xác định bộ thông số tối ưu gia công cắt dây bánh răng trụ ngoài răng thẳng bằng vật liệu thép C45..... 348
57. **Lê Bảo Việt, Nguyễn Tiến Dũng, Trịnh Minh Hoàng**: Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển LQR vào hệ thống treo bán tích cực..... 357
58. **Ngô Văn Quyết, Phạm Thị Thanh Hương**: Nghiên cứu phương pháp tạo lưới tính toán và tối ưu hóa chất lượng lưới sử dụng DistMesh..... 363
59. **Phạm Thị Huê, Phạm Thị Thanh Hương**: Nghiên cứu mô phỏng số hoạt động của mô cơ tâm thất trái..... 369
60. **Trương Việt Anh, Đỗ Hồng Vinh**: Nghiên cứu thực nghiệm xâm thực trong bánh công tác của bơm hướng trục có số vòng quay đặc trưng cao..... 375
61. **Đặng Phan Thu Hương, Doãn Thanh Bình, Tăng Bá Đại, Đào Quang Kế**: Góp thêm giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả dạy và học online..... 381
62. **Nguyễn Hoàng Lĩnh, Trần Thiên Phúc**: Ảnh hưởng của đường kính vai dụng cụ đến chất lượng mối hàn ma sát khuấy trên ống nhôm hợp kim AA6061 có gia nhiệt trước..... 385
63.ThS. **Mai Văn An**, ThS. **Phạm Đức Khôi**: Nghiên cứu xác định vận tốc dòng khí trong ống làm mát dưới tác dụng của khí thuốc đầu nòng..... 392
64. **Bui Van Khoan**: Optimization of plasma spraying parameters to friction properties of 60% Al_2O_3 – 40% TiO_2 coatings..... 396
65. **Quoc Dien Le, Nguyen Huu Loc Khuu, Hoa Binh Tran, Tran Thanh Cong Vu, Tuong Quan Vo:** Efficiency estimation of three-phase induction motors applying dual extended Kalman filter approach with least squares initialization..... 402
66. **Truong-Giang Nguyen, Van-Thanh Ngo**: Research on the affect of mechanical properties of seat on riding comfort..... 413

DOANH NGHIỆP - DOANH NHÂN (419-420)

LILAMA10 tiếp tục phát huy giá trị thương hiệu..... 419

DANH SÁCH
NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẢN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO KHOA HỌC ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 316, THÁNG 6 NĂM 2024

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	TS. **Nguyễn Đăng Quý,** TS.**Trương Thị Hương Huyền,** TS. **Lê Phạm Bình,** TS.**Võ Văn Biên**	Học viện Kỹ thuật Quân sự
2	PGS,TS. **Phạm Văn Sáng,** TS. **Trịnh Minh Hoàng,** **TS. Dương Văn Lạc,** TS. **Lê Văn Nghĩa,** TS.**Trần Khánh Dương,** TS.**Trương Văn Thuận,** PGS,TS. **Hoàng Thị Kim Dung**	Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội
3	TS. **Vũ Trung Tuyến**	Viện Nghiên cứu Cơ khí
4	PGS,TS. **Ngô Quang Hiếu**	Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ
5	TS. **Nguyễn Đình Tứ**	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Cần Thơ
6	PGS,TS. **Trần Vĩnh Hưng**	Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến
7	TS. **Nguyễn Thị Thúy Ngọc**	Đại học Bách khoa Hà Nội
8	TS. **Hoàng Thành Đạt**	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng
9	PGS,TS. **Đỗ Anh Tuấn,** PGS,TS. **Nguyễn Quốc Mạnh,** TS. **Lê Thúy Hằng**	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên
10	TS. **Phạm Văn Liệu,** TS. **Nguyễn Thị Thảo,** TS. **Phan Duy Nam,** TS. **Nguyễn Quốc Toản,** TS. **Trần Văn Hoàng,** TS. **Hoàng Anh Tuấn**	Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp
11	TS. **Đinh Mai Hương,** TS. **Hà Thanh Hải**	Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
12	GS,TS. **Nguyễn Hữu Lộc,** PGS,TS. **Trần Anh Sơn,** TS. **Phạm Quang Trung,** PGS,TS. **Lưu Thanh Tùng**	Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
13	PGS,TS. **Nguyễn Tấn Tiến**	Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
14	PGS,TS. **Hoàng Mạnh Cường,** TS. **Phạm Văn Triệu**	Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
15	TS. **Trần Khánh Dương,** PGS,TS. **Bùi Tuấn Anh,** TS. **Trương Văn Thuận,** PGS,TS. **Vũ Thanh Tùng**	Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội
16	PGS,TS. **Chu Diệu Hương,** TS. **Đào Anh Tuấn,** TS.**Vũ Mạnh Hải**	Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội
17	TS. **Ngô Văn Thanh,** TS. **Nguyễn Hồng Lĩnh**	Trường Đại học Điện lực
18	PGS,TS. **Lê Hồng Kỳ,** PGS,TS. **Lê Hoàng Anh,** TS. **Mai Đăng Tuấn**	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long
19	TS. **Huỳnh Ngọc Thái**	Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh
20	PGS,TS. **Lê Thu Quý,** TS. **Ngô Trọng Bính**	Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ hàn và Xử lý Bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí
21	TS. **Nguyễn Đình Tân**	Trường Đại học Công nghệ Đông Á
22	TS. **Nguyễn Duy Phồn**	Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng
23	TS. **Nguyễn Ngọc Minh**	Trường Đại học Thủy lợi
24	TS. **Trần Anh Trung**	Trường Đại học Phenikaa
25	TS. **Nguyễn Công Đoàn**	Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải
26	TS. **Nguyễn Hữu Cường**	Trường Đại học Cần Thơ
27	PGS,TS. **Võ Tường Quân**	Trung tâm Nghiên cứu thiết bị và Công nghệ Cơ khí Bách khoa, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG VÀ TỐI ƯU THAM SỐ MÔ HÌNH MARKOV ẨN CHO HỆ THỐNG PHANH XE URAL-43206

STUDY ON BUILDING AND OPTIMIZATION OF HIDDEN MARKOV MODEL PARAMETERS FOR VEHICLE BRAKE SYSTEM URAL-43206

Vũ Ngọc Tuấn
Viện Cơ khí Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng mô hình Markov ẩn (Hidden Markov Model – HHM) [1] cho hệ thống phanh xe URAL-43206. Sau đó, lần lượt giải bài toán chuỗi trạng thái tối ưu và bài toán ước lượng tham số để xác định bộ tham số tối ưu cho HHM. Bộ tham số xác định từ kết quả của bài toán ước lượng tham số được gọi là bộ tham số sau đào tạo. Nó cho phép HHM mới dự đoán và mô tả dữ liệu quan sát được một cách chính xác và hiệu quả hơn, phục vụ các nghiên cứu có liên quan về sự thay đổi trạng thái kỹ thuật của hệ thống phanh xe URAL-43206.

Từ khóa: *Mô hình Markov ẩn; HHM; Phanh xe URAL-43206; Bài toán chuỗi trạng thái tối ưu; Bài toán ước lượng tham số.*

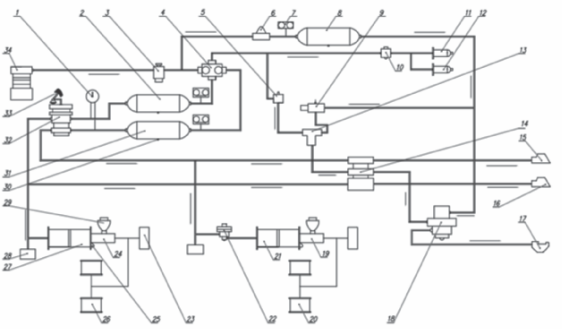
ABSTRACT

The paper constructs a Hidden Markov Model (HMM) [1] for the braking system of the URAL-43206 vehicle. Subsequently, it sequentially tackles the optimal state sequence problem and the parameter estimation problem to determine the optimal parameter set for the HMM. The parameter set identified from the results of the parameter estimation problem is referred to as the post-training parameter set. It enables the newly trained HMM to predict and describe observed data more accurately and effectively, catering to related studies on the technical state variations of the braking system of the URAL-43206 vehicle.

Keywords: *Hidden Markov Model (HHM); Braking system of URAL-43206; Optimal state sequence problem; Parameter estimation problem.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự báo trạng thái kỹ thuật của hệ thống là nội dung có ý nghĩa quan trọng, giúp xác định sớm các dấu hiệu của sự cố tiềm ẩn và đưa ra các biện pháp phòng ngừa kịp thời. Ngoài ra, trong thực tế sử dụng, các hệ thống có thể không xác định trực tiếp được trạng thái kỹ thuật theo chức năng công tác mà phải xác định thông qua các quan sát, biểu hiện của các cụm, phần tử. Để giải quyết vấn đề này, HHM và lý thuyết Markov được sử dụng, đem lại hiệu quả với độ chính xác cao. Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng phương pháp Markov với HHM cho hệ thống phanh – thành phần quan trọng bảo đảm tính an toàn chuyển động cho ô tô. Lựa chọn hệ thống phanh ô tô URAL-43206 [2] làm đối tượng nghiên cứu, sơ đồ kết cấu hệ thống cho trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống phanh dẫn động thủy khí trên xe URAL-43206

1. Đồng hồ áp suất hai kim; 2, 8, 31. Bình khí nén; 3. Bộ hút ẩm và điều chỉnh áp suất; 4. Van bảo vệ 3 ngả; 5. Van cắt phanh rơ-moóc; 6. Van bảo vệ một ngả; 7. Cảm biến áp suất; 9. Van điều khiển phanh dừng của rơ-moóc; 10. Van điều khiển phanh động cơ; 11. Xy-lanh khí nén ngừng cấp nhiên liệu; 12. Xy-lanh khí nén đóng van ống xả; 13. Van 2 ngả; 14. Van điều khiển phanh rơ-moóc 2 đường dẫn; 15, 16. Các đầu nối tự động; 17. Đầu nối loại "A"; 18. Van điều khiển phanh rơ-moóc 1 đường dẫn; 19, 24. Xy-lanh thủy khí; 20. Xy-lanh phanh của bánh xe cầu sau; 21, 27. Xy-lanh khí nén; 22. Bộ điều hòa lực phanh; 23. Cảm biến bật tín hiệu phanh; 25. Cảm biến tín hiệu sự cố của hệ thống phanh; 26. Xy-lanh phanh của bánh xe cầu trước; 28. Van trích khí kiểm tra; 29. Bình dầu; 30. Van xả cặn nước; 32. Tổng van phanh; 33. Bàn đạp phanh; 34. Máy nén khí.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MARKOV ẨN CHO HỆ THỐNG PHANH THUỶ KHÍ TRÊN XE URAL-43206

2.1. Giả thiết

- Khảo sát hệ thống phanh công tác với 9 phần tử chính: Máy nén khí, bộ điều chỉnh áp suất, van bảo vệ 3 ngả, tổng van phanh, bộ điều hoà lực phanh, xy-lanh khí nén, xy-lanh thuỷ khí, xy-lanh bánh xe, má phanh;

- Trạng thái kỹ thuật của phần tử gồm: Tốt (trạng thái 1: trạng thái của phần tử khi tất cả các thông số chủ yếu và thứ yếu của nó phù hợp với yêu cầu kỹ thuật), trục trặc (trạng thái 2: phần tử có trục trặc nhưng vẫn thực hiện được chức năng của nó ở trong giới hạn cho phép) và hư hỏng (trạng thái 3: phần tử không thể thực hiện được chức năng của nó). Trong quá trình làm việc, các phần tử thay đổi trạng thái từ tốt sang hỏng qua trạng thái trung gian là trục trặc;

- Các phần tử khác của hệ thống: Bình khí nén, đường ống, đầu nối,… xem như luôn ở trạng thái kỹ thuật tốt;
- Sự thay đổi trạng thái kỹ thuật của các phần tử là độc lập với nhau;
- Xác suất thay đổi trạng thái không thay đổi theo thời gian;
- Có thể dự đoán bất kỳ trạng thái tương lai dựa trên trạng thái trước đó và ma trận xác suất chuyển đổi;
- Quy mô và cấu trúc của hệ thống không thay đổi trong quá trình phân tích.

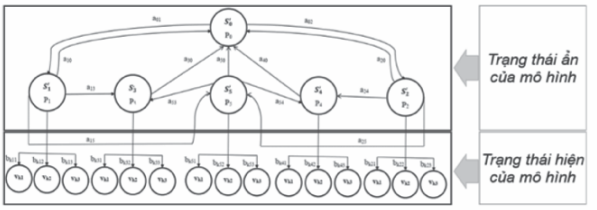
2.2. Xây dựng mô hình

Khi xem xét trong mối quan hệ giữa trạng thái kỹ thuật tổng thể của hệ thống phanh với trạng thái kỹ thuật từng dòng dẫn động của hệ thống: S'_0: Trạng thái hệ thống hoạt động tốt;

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

S'_1: Trạng thái hệ thống xảy ra trục trặc của mạch phanh cầu trước; S'_2: Trạng thái hệ thống xảy ra trục trặc của mạch phanh cầu sau; S'_3: Trạng thái hệ thống hỏng mạch phanh cầu trước; S'_4: Trạng thái hệ thống hỏng mạch phanh cầu sau; S'_5: Trạng thái hệ thống xảy ra trục trặc của cả hai dòng mạch phanh cầu trước và cầu sau; S'_6: Trạng thái hệ thống xảy ra hỏng của cả hai dòng mạch phanh cầu trước và cầu sau.

Trên thực tế, xe được đưa vào sửa chữa khi mới xuất hiện hỏng trên một mạch phanh hoặc trục trặc trên một hoặc hai mạch phanh nên ta không ghi nhận trường hợp S'_6. Ngoài ra, ở những điều kiện nhất định, ta không xác định được trạng thái kỹ thuật của của hệ thống phanh theo từng chức năng của hệ thống mà chỉ có thể xác định được trạng thái kỹ thuật (tốt, trục trặc, hư hỏng) của các phần tử cấu thành hệ thống (9 phần tử theo giả thiết). Các trạng thái kỹ thuật theo từng chức năng của hệ thống phanh sẽ được đánh giá thông qua trạng thái kỹ thuật của các phần tử cấu thành hệ thống. Đây chính là đặc điểm của một mô hình Markov ẩn. Khi đó, mô hình Markov ẩn cho hệ thống phanh xe URAL-43206 có thể xây dựng như Hình 2.



Hình 2. Mô hình Markov ẩn chuyển tiếp các trạng thái kỹ thuật hệ thống phanh

2.3. Thống kê tham số mô hình và các chuỗi quan sát

Đặt bộ tham số mô hình Markov ẩn [3] là λ = (A, B,). Trong đó, A là ma trận chuyển tiếp (ma trận xác suất chuyển trạng thái của cả hệ thống), B là ma trận quan sát (ma trận quan sát xác suất chuyển tiếp của các phần tử), π là phân phối xác suất khởi đầu.

Từ dữ liệu thống kê trạng thái và thống kê hư hỏng của các đơn vị, ta xác định A theo công thức:

$$a_{ij} = \frac{N_{ij}}{\Sigma N_i} \quad (1)$$

Với:

a_{ij}: Hệ số chuyển trạng thái từ trạng thái i sang trạng thái j;

N_{ij}: Số lần xuất hiện dạng chuyển tiếp trạng thái từ i sang j;

ΣN_i: Số lần xuất hiện dạng chuyển tiếp trạng thái bắt đầu từ i;

Theo đó, ta xác định được ma trận chuyển tiếp ban đầu A đại diện cho hệ thống như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0,4 & 0,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0,3 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,3 \\ 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0,2 \\ 0,8 & 0 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0 \end{bmatrix}$$

Các phần tử của ma trận quan sát B được xác định theo công thức (2):

$$b_{vj} = \frac{N_{vj}}{\Sigma N_j} \quad (2)$$

Với:

b_{vj}: Hệ số ma trận quan sát B;

N_{vj}: Số lần xuất hiện quan sát v ở trạng thái j theo chuỗi trạng thái tương ứng với quan sát;

ΣN_j: Số lần xuất hiện trạng thái j theo chuỗi trạng thái tương ứng với chuỗi quan sát của phần tử.

Kết quả thống kê ma trận quan sát B cho các phần tử của hệ thống được trình bày trong Bảng 1. ☞

Bảng 1. Các ma trận quan sát B tương ứng với từng phần tử

Phần tử	Máy nén khí	Bộ điều chỉnh áp suất	Van bảo vệ 3 ngả	Bộ điều hoà lực phanh	Tổng van phanh
Ma trận B	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,8 & 0,15 & 0,05\\ 0,8 & 0,05 & 0,15\\ 0,3 & 0,3 & 0,4\\ 0,3 & 0,4 & 0,3\\ 0,6 & 0,2 & 0,2\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,6 & 0,2 & 0,2\\ 0,6 & 0,1 & 0,3\\ 0,2 & 0,3 & 0,5\\ 0,2 & 0,4 & 0,4\\ 0,5 & 0,2 & 0,3\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,75 & 0,15 & 0,1\\ 0,75 & 0,05 & 0,2\\ 0,2 & 0,3 & 0,5\\ 0,2 & 0,35 & 0,45\\ 0,65 & 0,3 & 0,05\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,7 & 0,25 & 0,05\\ 0,65 & 0,1 & 0,25\\ 0,4 & 0,1 & 0,5\\ 0,4 & 0,3 & 0,3\\ 0,6 & 0,2 & 0,2\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,7 & 0,16 & 0,14\\ 0,7 & 0,05 & 0,25\\ 0,1 & 0,2 & 0,7\\ 0,1 & 0,5 & 0,4\\ 0,5 & 0,3 & 0,2\end{bmatrix}$
Phần tử	Xy-lanh khí nén	Xy-lanh thuỷ khí	Xy-lanh phanh bánh xe	Má phanh	
Ma trận B	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,65 & 0,16 & 0,19\\ 0,65 & 0,05 & 0,3\\ 0,25 & 0,2 & 0,55\\ 0,25 & 0,35 & 0,4\\ 0,55 & 0,3 & 0,15\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,55 & 0,2 & 0,25\\ 0,55 & 0,1 & 0,35\\ 0,2 & 0,2 & 0,6\\ 0,2 & 0,35 & 0,45\\ 0,5 & 0,2 & 0,3\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,5 & 0,25 & 0,25\\ 0,5 & 0,15 & 0,35\\ 0,1 & 0,2 & 0,7\\ 0,1 & 0,35 & 0,55\\ 0,45 & 0,15 & 0,4\end{bmatrix}$	$B=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0,6 & 0,2 & 0,2\\ 0,6 & 0,1 & 0,3\\ 0,25 & 0,2 & 0,55\\ 0,25 & 0,35 & 0,4\\ 0,55 & 0,15 & 0,3\end{bmatrix}$	

Vì các số liệu được quy ước lấy từ lúc ban đầu trạng thái của hệ thống làm việc là tốt nên phân phối xác suất khởi đầu $\pi = \{1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\}$.

Tiếp theo, để xác định chuỗi quan sát [3] (O), ta chọn khoảng thời gian thực hiện các quan sát định kỳ: ở đây, ta sẽ giả thiết cứ sau 2.400 km hoạt động sẽ tiến hành kiểm tra và xác định trạng thái.

Các chuỗi quan sát của các phần tử được xác định như trong Bảng 2.

Bảng 2. Chuỗi quan sát O của các phần tử trong hệ thống phanh

Tên phần tử	**Chuỗi quan sát O**
Máy nén khí	O = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 30 quan sát.
Bộ điều chỉnh áp suất	O = [1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 14 quan sát.
Van bảo vệ 3 ngả	O = [1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 22 quan sát.
Bộ điều hòa lực phanh	O = [1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 22 quan sát.
Tổng van phanh	O = [1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 22 quan sát.
Xy-lanh khí nén	O = [1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 22 quan sát.
Xy-lanh thủy khí	O = [1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3] – 12 quan sát.
Xy-lanh phanh bánh xe	O = [1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3] – 12 quan sát.
Má phanh	O = [1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3] – 15 quan sát.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. TỐI ƯU HOÁ MÔ HÌNH MARKOV ẨN

3.1. Giải bài toán chuỗi trạng thái tối ưu

Sử dụng thuật toán Viterbi [4] với số liệu đầu vào là bộ tham số λ và chuỗi quan sát (O), ta xác định được kết quả bài toán như trong Bảng 3.

Bảng 3. Các chuỗi trạng thái tương ứng với các chuỗi quan sát của các phần tử

TT	Tên phần tử, chuỗi quan sát, chuỗi trạng thái																	
	Máy nén khí		Bộ điều chỉnh áp suất		Van bảo vệ 3 ngã		Bộ điều hòa lực phanh		Tổng van phanh		Xy-lanh khí nén		Xy-lanh chính		Xy-lanh phanh bánh xe		Má phanh	
	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	5	1	5	1	5
4	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	0	1	0	1	0
5	1	0	1	0	1	0	1	5	1	0	1	0	2	2	2	2	1	2
6	1	2	2	1	1	2	1	0	1	2	1	2	2	4	2	4	2	0
7	1	0	2	5	1	0	1	2	1	0	1	0	2	0	2	0	2	1
8	1	2	2	4	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5
9	1	0	2	0	2	5	2	1	2	5	2	5	2	4	2	4	2	4
10	1	2	2	2	2	4	2	5	2	4	2	4	2	0	2	0	2	0
11	2	0	2	4	2	0	2	4	2	0	2	0	2	1	2	1	2	2
12	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2	1	3	3	3	3	2	4
13	2	5	2	1	2	5	2	1	2	5	2	5					2	0
14	2	4	3	3	2	4	2	5	2	4	2	4					2	1
15	2	0			2	0	2	4	2	0	2	0					3	3
16	2	1			2	1	2	0	2	1	2	1						
17	2	5			2	5	2	1	2	5	2	5						
18	2	4			2	4	2	5	2	4	2	4						
19	2	0			2	0	2	4	2	0	2	0						
20	2	1			2	1	2	0	2	1	2	1						
21	2	5			2	5	2	1	2	5	2	5						
22	2	4			3	3	3	3	3	3	3	3						
23	2	0																
24	2	1																
25	2	5																
26	2	4																

27	2	0															
28	2	1															
29	2	5															
30	3	3															

3.2. Giải bài toán ước lượng tham số

Sử dụng thuật toán Baum-Welch [5] với số liệu đầu vào là chuỗi trạng thái vừa tìm được của bài toán chuỗi trạng thái tối ưu, ta tìm được ma trận chuyển trạng thái A' sau đào tạo:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0,36 & 0,64 & 0 & 0 & 0 \\ 0,45 & 0 & 0 & 0,22 & 0 & 0,33 \\ 0,45 & 0 & 0 & 0 & 0,22 & 0,33 \\ 0,67 & 0,33 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,45 & 0 & 0 & 0,33 & 0 & 0,22 \\ 0,78 & 0 & 0 & 0,11 & 0,11 & 0 \end{bmatrix}$$

Các ma trận quan sát B' ứng với từng phần tử trong hệ thống sau khi đào tạo được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Các ma trận quan sát tương ứng với từng phần tử của bộ số liệu sau đào tạo

Phần tử	Máy nén khí	Bộ điều chỉnh áp suất	Van bảo vệ 3 ngả
Ma trận B	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,7900 & 0,1650 & 0,0450 \\ 0,8550 & 0,0550 & 0,0900 \\ 0,2700 & 0,3300 & 0,4000 \\ 0,2700 & 0,4600 & 0,2700 \\ 0,6000 & 0,2200 & 0,1800 \end{bmatrix}$	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,6000 & 0,2200 & 0,1800 \\ 0,6200 & 0,1100 & 0,2700 \\ 0,1800 & 0,3300 & 0,4900 \\ 0,1800 & 0,4600 & 0,3600 \\ 0,5100 & 0,2200 & 0,2700 \end{bmatrix}$	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,7450 & 0,1650 & 0,0900 \\ 0,7650 & 0,0550 & 0,1800 \\ 0,1800 & 0,3300 & 0,4900 \\ 0,1800 & 0,3850 & 0,4350 \\ 0,6250 & 0,3300 & 0,0450 \end{bmatrix}$
Phần tử	Bộ điều hoà lực phanh	Tổng van phanh	Xy-lanh khí nén
Ma trận B	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,6800 & 0,2750 & 0,0450 \\ 0,6650 & 0,1100 & 0,2250 \\ 0,3600 & 0,1100 & 0,5300 \\ 0,5100 & 0,2200 & 0,2700 \\ 0,6000 & 0,2200 & 0,1800 \end{bmatrix}$	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,6980 & 0,1760 & 0,1260 \\ 0,7200 & 0,0550 & 0,2250 \\ 0,0900 & 0,2200 & 0,6900 \\ 0,0900 & 0,5500 & 0,3600 \\ 0,4900 & 0,3300 & 0,1800 \end{bmatrix}$	$B'=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,6530 & 0,1760 & 0,1710 \\ 0,6750 & 0,0550 & 0,2700 \\ 0,2250 & 0,2200 & 0,5550 \\ 0,2250 & 0,3850 & 0,3900 \\ 0,5350 & 0,3300 & 0,1350 \end{bmatrix}$

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Phần tử	Xy-lanh thuỷ khí	Xy-lanh phanh bánh xe	Má phanh
Ma trận B	$B' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5550 & 0,2200 & 0,2250 \\ 0,5750 & 0,1100 & 0,3150 \\ 0,1800 & 0,2200 & 0,6000 \\ 0,1800 & 0,3850 & 0,4350 \\ 0,5100 & 0,2200 & 0,2700 \end{bmatrix}$	$B' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5000 & 0,2750 & 0,2250 \\ 0,5200 & 0,1650 & 0,3150 \\ 0,0900 & 0,2200 & 0,6900 \\ 0,0900 & 0,3850 & 0,5250 \\ 0,4750 & 0,1650 & 0,3600 \end{bmatrix}$	$B' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,6000 & 0,2200 & 0,1800 \\ 0,6200 & 0,1100 & 0,2700 \\ 0,2250 & 0,2200 & 0,5550 \\ 0,2250 & 0,3850 & 0,3900 \\ 0,5650 & 0,1650 & 0,2700 \end{bmatrix}$

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu của bài báo, có thể rút ra một số kết luận như sau:

Nghiên cứu đã giới hạn giả thiết và xây dựng được HHM cho hệ thống phanh thuỷ khí trên xe URAL-43206. Từ đó, lần lượt giải bài toán chuỗi trạng thái tối ưu và bài toán ước lượng tham số và tìm được bộ tham số $\lambda' = (A', B', \pi)$ tối ưu cho HHM vừa xây dựng.

Kết quả thống kê trong Bảng 3 cho thấy số lượng các trạng thái S_2 (trục trặc mạch phanh cầu sau) nhiều hơn số lượng các trạng thái S_1 (trục trặc mạch phanh cầu trước); số lượng các trạng thái S_4 (hỏng mạch phanh cầu sau) nhiều hơn số lượng các trạng thái S_3 (hỏng mạch phanh cầu trước). Nghĩa là trong quá trình khai thác, mạch phanh cầu sau sẽ xảy ra nhiều hư hỏng hơn mạch phanh cầu trước. Trong quá trình sử dụng xe, các trạng thái S_3, S_4, S_5 là những trạng thái quan trọng, buộc phải dừng xe để kiểm tra và tiến hành bảo dưỡng, sửa chữa.

Đây là các trạng thái ta cần quan tâm trong kết quả khảo sát.

Kết quả của nghiên cứu là mô hình HHM cho hệ thống phanh xe URAL-43206 đã đào tạo, cho phép dự đoán và mô tả dữ liệu quan sát được một cách chính xác và hiệu quả hơn, phục vụ các nghiên cứu có liên quan, đặc biệt là dự báo trạng thái kỹ thuật của hệ thống phanh xe URAL-43206.❖

Ngày nhận bài: **12/3/2024**
Ngày phản biện: **10/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Kuravsky and N. Q. Thường; *Mô hình Markov ứng dụng trong chẩn đoán và dự báo*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2016.
[2]. Г. Миасс, *Автомобиль Урал-43206 и его модификации*. 2000.
[3]. Paul A. Gagniuc, *From Theory to Implementation and Experimentation*. Wiley, 2017.
[4]. S. H. Li Ling-yi, Wang Deng-jiang, Zhou Tao-tao, Tang Ting, "*Reliability Prediction and Markov Analysis of Braking System based on Relex 2009*", 2011.
[5]. P. Dymarski, "*Hidden Markov Models*", Theory Appl. InTech, 2011.

HÀN GIÁP MỐI KHÁC VẬT LIỆU GIỮA HỢP KIM NHÔM A5052 VÀ THÉP CT38 BẰNG QUÁ TRÌNH HÀN GMAW

DISSIMILAR WELDING BETWEEN A5052 ALLOYS AND CT38 STEEL BY GMAW PROCESS

Nguyễn Quận[1], Nguyễn Quốc Mạnh[2]
[1]Trường Đại học Phạm Văn Đồng
[2]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu hàn liên kết giáp mối giữa hợp kim nhôm A5052 với thép CT38 bằng quá trình hàn GMAW, sử dụng dây hàn bù ER4043 với thành phần Si. Các đặc tính của liên kết hàn được đánh giá bằng các quá trình khác nhau như OM, SEM. Hình thái bề mặt liên kết hàn và các thông số khác được đánh giá bằng các phương pháp đánh giá và phân tích cơ học. Độ bền kéo của liên kết hàn đạt giá trị 225.9MPa với khu vực đứt gãy xuất hiện tại khu vực có lớp liên kim cứng, độ cứng lớp liên kim được xác định là 830HV.

Từ khóa: *Quá trình hàn MIG; Liên kết hàn giáp mối; Lớp liên kim; Hợp kim nhôm A5052; Thép CT38; Dây hàn ER4043.*

ABSTRACT

The paper is to investigate the experimental butt-joint between the A5052 alloy sheet and SS400 steel by GMAW process with ER4043 welding wire. The properties of welded joints have been evaluated using various methods such as OM, and SEM. Welds are examined by mechanical testing and analysis. The surface morphology welding seam and other welding problems are being researched. Tensile strength analysis reveals a crack at the intermetallic layer when the maximum tensile strength is 214.5MPa. The microhardness of the steel sheet and the aluminum alloy increases in areas near the intermetallic layer; at the intermetallic (IMCs) layer, the microhardness is 835HV.

Keywords: *GMAW; Butt joint; IMCs layer; A5052 aluminum; CT38 steel; ER4043 welding wire.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với những lợi thế về cơ tính tốt, có khả năng thích nghi với các điều kiện làm việc khác nhau và khối lượng nhẹ của mình, hợp kim nhôm được ứng dụng rất phổ biến trong ngành hàng không – vũ trụ, đóng tàu và nhiều ngành công nghiệp quan trọng. Bên cạnh đó, thép các-bon trung bình có mức chi phí rẻ khi chế tạo, khả năng công nghệ rất cao nên được ứng dụng trong hầu hết các ngành công nghiệp [1]. Mặc dù có sự khác biệt rất lớn về đặc tính cơ học, tính chất lý – hóa – nhiệt, nhưng việc kết nối hai vật liệu này luôn hứa hẹn mang đến rất nhiều lợi ích về giá cả, khối lượng kết cấu sau chế tạo và giảm thiểu tác hại đến môi trường sống [2]. Việc kết hợp giữa hai vật liệu này có một điểm khó, đến nay hầu hết các nhà nghiên cứu chưa giải quyết được một cách triệt để, đó là sự hình thành lớp liên kim cứng tồn tại giữa liên kết hàn. Lớp liên kim này luôn làm giảm khả năng chịu tải trọng của liên kết sau khi hàn, đặc biệt là khả năng chịu tải trọng động [3]. Đã có nhiều phương pháp hàn được sử dụng để ghép nối giữa hợp kim nhôm và thép các-bon thấp và trung bình như: hàn laser [4], hàn ma sát khuấy [5], hàn điện cực không nóng chảy trong môi trường khí trơ bảo vệ [6]… Tuy nhiên, những hạn chế của các nghiên cứu trên vẫn là sự tồn tại của lớp liên kim với chiều dày khá lớn do ảnh hưởng bởi nguồn nhiệt hàn. Bên cạnh đó, một vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) rộng cũng được tìm thấy trong các nghiên cứu, điều này sẽ làm giảm đi khả năng chịu lực của liên kết trong quá trình làm việc [7]. Bài báo này nghiên cứu phương pháp giảm mức năng lượng vào trong vũng hàn nhằm giảm chiều dày lớp liên kim sau khi hàn giáp mối thép các-bon CT38 với hợp kim nhôm A5052 bằng quá trình hàn GMAW, sử dụng dây hàn bù ER4043 với hàm lượng Si lớn hơn 5%.

2. VẬT LIỆU VÀ TRÌNH TỰ THỰC HIỆN

2.1. Vật liệu cơ bản và dây hàn bù

Vật liệu cơ bản sử dụng trong nghiên cứu là hợp kim nhôm A5052 và thép CT38 dạng tấm với chiều dày cố định là 4mm. Dây hàn sử dụng trong thí nghiệm là dây hàn ER4043 với khoảng 5%Si. Thành phần của hai kim loại cơ bản và dây hàn được thể hiện tương ứng trong Bảng 1, 2 [7, 8].

Bảng 1. Thành phần của hai kim loại cơ bản (wt. %)

Vật liệu	Al	Mg	Fe	Si	Mn	C	Cr
A5052	Chính	2.46	0.24	0.10	0.03	-	0.15
CT38	-	-	Chính	0.12-0.30	0.40-0.65	0.14-0.22	-

Bảng 2. Thành phần của dây hàn bù ER4043 (wt. %)

Al	Mg	Fe	Si	Mn	Cu	Zn
Chính	0.05	0.8	4.5-6	0.05	0.3	0.1

Bảng 3. Thông số chế độ hàn

Đường kính dây hàn (mm)	Cường độ dòng điện (A)	Điện áp hàn (V)	Lưu lượng khí bảo vệ (l/ph)	Vận tốc hàn (m/s)	Tầm với điện cực (mm)
1	85	17.5	10	4	8

2.2. Trình tự thực hiện thí nghiệm

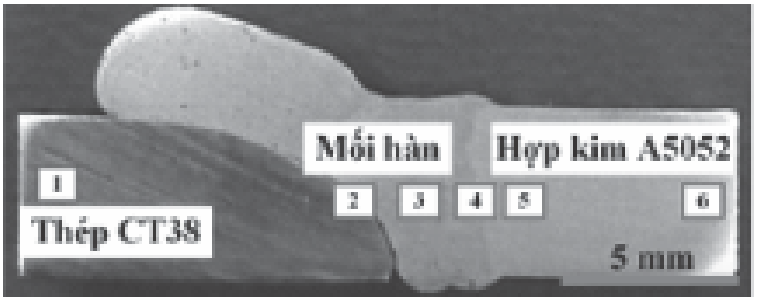
Các tấm kim loại cơ bản được sử dụng trong thí nghiệm đều được cắt bằng máy cắt thủy lực theo một kích thước cố định (dài x rộng) là 150mm x 80mm với chiều dày cố định của các tấm là 4mm. Sau khi cắt, bề mặt các tấm được làm sạch bằng giấy nhám. Máy hàn MigMatic S400iP của hãng Miler được sử dụng để hàn các mẫu. Các thông số của chế độ hàn được thể hiện trong Bảng 3. Sau khi hàn thành công, năm mẫu được lựa chọn để cắt và thử độ bền kéo, mẫu phân tích cấu trúc tế vi được lấy từ phần cắt ra của các mẫu thử kéo này.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Máy kéo – nén vạn năng Unitest-H2-H2-Extra của hãng Univer được lựa chọn để kiểm tra độ bền kéo của các mẫu hàn. Điều kiện thực hiện độ bền kéo của năm mẫu được thực hiện tương tự nhau. Hình 1 thể hiện kích thước mẫu thử bền kéo liên kết hàn giáp mối giữa hợp kim nhôm A5052 và thép CT38, và bảng 4 thể hiện kết quả kiểm tra độ bền kéo mà các liên kết hàn nhận được. Từ các kết quả trong Bảng 4 ta nhận thấy, độ bền kéo lớn nhất của năm mẫu kéo ta nhận được sau khi hàn giữa hai vật liệu tương ứng là 205.5 MPa, độ bền kéo này lớn hơn khoảng 12.45% so với độ bền kéo của dây hàn ER4043 và giá trị này cũng đạt tương ứng 77.3% so với độ bền của hợp kim nhôm A5052 như đã được công bố bởi nghiên cứu [2]. Điều này cho thấy liên kết hàn giáp mối giữa thép CT38 với hợp kim nhôm A5052 đã thành công về mặt giới hạn độ bền kéo đạt được sau khi hàn.

Bảng 4. Độ bền kéo 5 mẫu hàn tương ứng

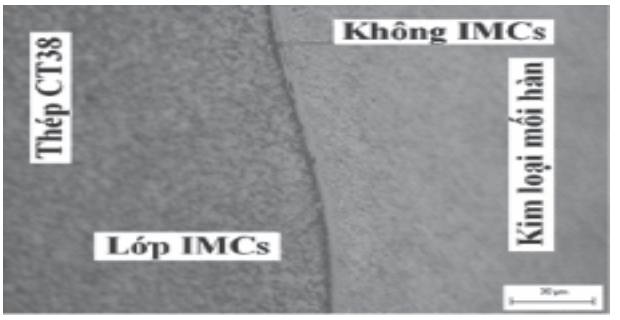
Mẫu số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5
Độ bền kéo (MPa)	185.7	205.5	195.9	201.3	198.5



Hình 1. Cấu trúc thô đại liên kết hàn giáp mối giữa thép CT38 và hợp kim nhôm A5052 bằng quá trình hàn GMAW

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

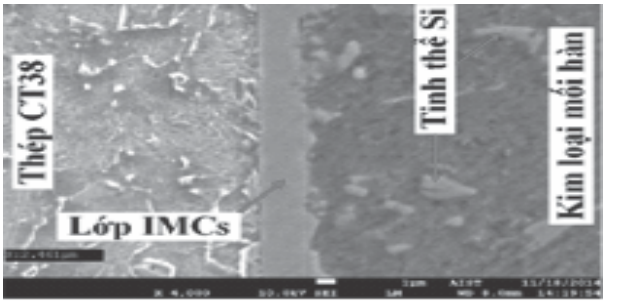
Hình 1 mô tả cấu trúc thô đại của liên kết hàn giáp mối giữa thép CT38 và hợp kim nhôm A5052 được hàn bằng quá trình hàn GMAW. Quan sát hình ảnh ta có thể thấy, tấm thép các-bon CT38 được vát mép theo kiểu phi truyền thống với đường cong dạng parabol nhằm mục đích tạo thêm diện tích bám dính và liên kết cho vùng kim loại mối hàn với tấm thép. Khu vực kim loại mối hàn được hình thành bởi phần lớn kim loại phụ từ dây hàn và một phần kim loại từ tấm hợp kim nhôm A5052, tại khu vực này không có sự nóng chảy của tấm thép do nhiệt độ nóng chảy của thép cao hơn rất nhiều so với hợp kim nhôm A5052 và dây hàn bù ER4043 (khoảng nhiệt độ 680^{0}C đến dưới 700^{0}C), nhiệt độ này không đủ để làm nóng chảy bề mặt tấm thép CT38. Vì vậy, sự liên kết tại khu vực này của tấm thép CT38 với kim loại mối hàn là sự liên kết khuếch tán bề mặt giữa kim loại mối hàn và bề mặt tấm kim loại CT38.



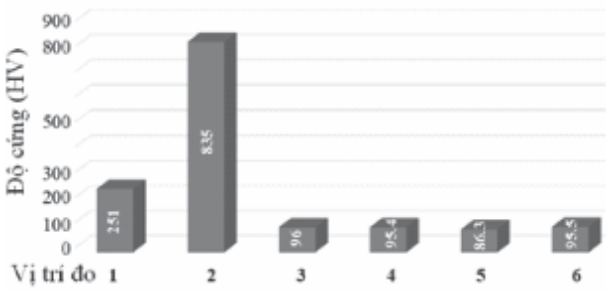
Hình 2. Cấu trúc tế vi khu vực liên kết giữa mối hàn và bề mặt tấm thép khi hàn giáp mối giữa thép CT38 với hợp kim A5052 bằng quá trình hàn GMAW

Hình 2 mô tả cấu trúc tế vi của liên kết hàn tại các vị trí 2 (khu vực có sự liên kết giữa kim loại mối hàn và bề mặt tấm thép CT38 bằng sự khuếch tán vật liệu) như mô tả trong hình số 1. Quan sát hình ảnh tại hình số 2 ta có thể nhận thấy, tại khu vực liên kết này có sự xuất hiện của lớp liên kim (IMCs) trong suốt chiều dài liên kết. Tuy nhiên, tại một số điểm liên kết không thấy sự xuất hiện lớp IMCs, điều này có thể là do sự tác động từ nguyên tố Si trong thành phần kim loại của dây hàn phụ ER4043, kết hợp với sự kiểm soát tốt mức năng lượng nguồn nhiệt và sự duy trì đều của khoảng cách từ đầu súng hàn đến bề mặt vật hàn trong suốt quá trình hàn. Lớp liên kim này có chiều dày mỏng hơn khá nhiều so với những công bố trước đó từ những nghiên cứu [2, 9, 10], khi lớp IMCs này mỏng hoặc tốt nhất là không có lớp IMCs sẽ giúp nâng cao đáng kể độ bền kéo của liên kết hàn như công bố [7]. Quan sát hình 2 ta nhận thấy, lớp IMCs này có chiều dày khoảng 2μm.

Hình 3 mô tả cấu trúc siêu tế vi khu vực liên kết giữa kim loại mối hàn và bề mặt của tấm thép CT38 với que bù ER4043 khi được phóng đại lên 4000 lần. Quan sát hình ảnh ta có thể nhận thấy, khi thước đo đặt vào khu vực lớp IMCs, độ dày đo được là 2.41m, qua đó ta có thể nói, độ dày này thấp hơn nhiều so với các công bố trước đó như trong các báo cáo [9-11]. Bên cạnh đó, ta có thể nhận thấy sự xuất hiện của các tinh thể Si trong khu vực của kim loại mối hàn, điều đó chứng tỏ nguyên tố này tham gia rất tích cực vào trong quá trình hình thành nên liên kết hàn và nó cũng có thể là nguyên tố chính giúp tăng cường sự khuếch tán của kim loại mối hàn vào trong bề mặt của tấm thép CT38 giúp tăng cường sự bám dính giữa kim loại mối hàn với bề mặt của tấm thép CT38.

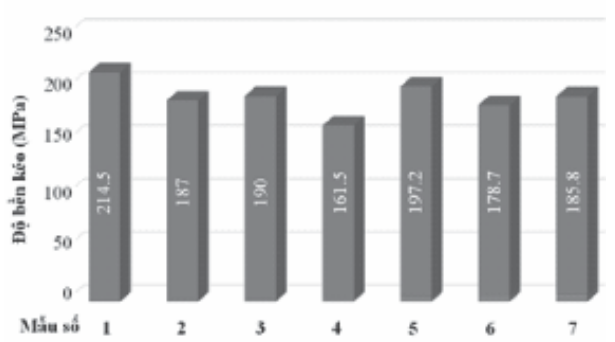


Hình 3. Cấu trúc siêu tế vi khu vực liên kết giữa mối hàn và bề mặt tấm thép khi hàn giáp mối giữa thép CT38 với hợp kim A5052 bằng quá trình hàn GMAW ☞



Hình 4. Độ cứng tế vi khi hàn giáp mối giữa thép CT38 với hợp kim A5052 bằng quá trình hàn GMAW

Hình 4 mô tả độ cứng tế vi liên kết hàn giáp mối giữa hợp kim nhôm A5052 với thép CT38 bằng quá trình hàn GMAW với que bù ER4043. Quan sát các thông số trong hình ta nhận thấy, độ cứng tế vi của liên kết lớn nhất là điểm đo tại vị trí số 2 (835HV). Ta cũng có thể hiểu được đây là vị trí đo lại khu vực hàn có sự xuất hiện của lớp IMCs, lớp này là sự hình thành pha trung gian giữa thép và hợp kim nhôm nên độ cứng là rất lớn. Đây cũng là nguyên nhân chính gây ra sự chịu tải trọng động kém đối với các liên kết hàn khác vật liệu vì nó thường cứng và giòn. Giá trị độ cứng lớn thứ hai là điểm đo tại khu vực tấm thép CT38 với sự ảnh hưởng không lớn của nguồn nhiệt hàn, và tại khu vực tấm hợp kim nhôm A5052 có sự thay đổi về độ cứng là ít hơn.



Hình 5. Độ bền kéo liên kết hàn giáp mối giữa thép CT38 với hợp kim A5052 bằng quá trình hàn GMAW

Hình 5 mô tả kết quả kiểm tra độ bền kéo của bảy mẫu hàn giữa hợp kim nhôm A5052 với thép CT38 bằng quá trình hàn GMAW với que hàn bù ER4043. Quan sát hình ảnh ta có thể nhận thấy, độ bền kéo lớn nhất của các mẫu được khảo sát khi hàn hai vật liệu này là 214.5MPa (mẫu hàn số 1) và độ bền kéo nhỏ nhất nhận được là 161.5MPa (mẫu hàn số 4). Kết quả kiểm tra độ bền kéo trung bình nhận được từ bảy mẫu là 187.81MPa, độ bền kéo này tương đương với 75.12% so với hợp kim nhôm A5052 và cao hơn 11.38% so với dây hàn ER4043. Với kết quả kiểm tra độ bền kéo đã đạt được khi kiểm tra bảy mẫu hàn trong nghiên cứu, ta có thể khẳng định quá trình hàn giữa hợp kim nhôm A5052 và thép CT38 đạt được kết quả khá tốt.

4. KẾT LUẬN

Một vài kết luận trong nghiên cứu này có thể tóm tắt như sau:

- Nghiên cứu này cho thấy việc hàn hợp kim nhôm A5052 với thép CT38 bằng quá trình hàn GMAW có sử dụng que hàn bù ER4043 với phương pháp vát mép phi truyền thống là hoàn toàn khả thi.

- Sự xuất hiện nhiều của nguyên tố Si trong khu vực kim loại mối hàn đã cho thấy nguyên tố này tham gia tích cực vào trong quá trình hình thành liên kết hàn, giúp hạn chế được chiều dày của lớp liên kim, từ đó nâng cao độ bền kéo cho liên kết hàn, giúp liên kết hàn có khả năng chịu lực tốt hơn khi làm việc.

- Độ bền kéo trung bình của bảy mẫu nhận được cao hơn độ bền kéo của kim loại loại phụ và đạt giá trị 75% độ bền kéo của hợp kim nhôm A5052. Đây là cơ sở để thực hiện các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao độ bền kéo

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

của liên kết hàn khác vật liệu giữa các hợp kim nhôm và thép.❖

Ngày nhận bài: **16/3/2024**
Ngày phản biện: **10/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Shih, J.S.; Tzeng, Y.F.; Lin, Y.F.; Yang, J.B. "*Multi-objective process optimization of pulsed plasma arc welding SS400 steel pipe with foamed aluminum liner*". J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf. 2012, 6, 222-235.

[2]. Watanabe, T.; Sakuyama, H.; Yanagisawa, A. "*Ultrasonic welding between mild steel sheet and Al-Mg alloy sheet*". J. Mater. Process. Technol. 2009, 209, 5475-5480

[3]. Sun, J.; Yan, Q.; Gao, W.; Huang, J. "*Investigation of laser welding on butt joints of Al/steel dissimilar materials*". Mater. Des. 2015, 83, 120-128.

[4]. Evdokimov, Anton, et al. "*Thermomechanical laser welding simulation of dissimilar steel-aluminum overlap joints*". International Journal of Mechanical Sciences 190 (2021): 106019.

[5]. Kaushik, Pankaj, and Dheerendra Kumar Dwivedi. "*Effect of tool geometry in dissimilar Al-steel friction stir welding*". Journal of Manufacturing Processes 68 (2021): 198-208.

[6]. Nguyen, Van Nhat, Quoc Manh Nguyen, and Shyh-Chour Huang. "*Microstructure and mechanical properties of butt joints between stainless steel SUS304L and aluminum alloy A6061-T6 by TIG welding*". Materials 11.7 (2018): 1136.

[7]. Nguyen, Quoc Manh, and Shyh-Chour Huang. "*An investigation of the microstructure of an intermetallic layer in welding aluminum alloys to steel by MIG process*". Materials 8.12 (2015): 8246-8254.

[8]. https://thepphuongbac.vn/thanh-phan-hoa-hoc.html

[9]. Chang, Qing, et al. "*Microstructures and mechanical properties of metal inert-gas arc welded joints of aluminum alloy and ultrahigh strength steel using Al-Mg and Al-Cu fillers*". Journal of Materials Research 32.3 (2017): 666-676.

[10]. Cheepu, Muralimohan, et al. "*Dissimilar joining of stainless steel and 5083 aluminum alloy sheets by gas tungsten arc welding-brazing process*". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 330. No. 1. IOP Publishing, 2018.

[11]. Ye, Zheng, et al. "*Microstructure and mechanical properties of 5052 aluminum alloy/mild steel butt joint achieved by MIG-TIG double-sided arc welding-brazing*". Materials & Design 123 (2017): 69-79.

[12]. Chang, Qing, et al. "*Microstructures and mechanical properties of metal inert-gas arc welded joints of aluminum alloy and ultrahigh strength steel using Al-Mg and Al-Cu fillers*". Journal of Materials Research 32.3 (2017): 666-676.

MỘT NGHIÊN CỨU VỀ MÔ PHỎNG SỐ KẾT HỢP THỰC NGHIỆM TRONG TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC ROBOT: BÀI TOÁN ROBOT 2R

A STUDY ON NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENT OF ROBOT KINEMATICS: ROBOT 2R CASE

Đỗ Viết Long, Trương Văn Thuận*
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Tính toán mô phỏng robot ngày quan trọng và hữu dụng trong công nghiệp những năm gần đây. Cùng với sự phát triển của khoa học tính toán, rất nhiều công cụ hỗ trợ lĩnh vực này được phát triển. Kết quả thu được có độ tin cậy cao, có thể sử dụng cho tính toán thiết kế động học, động lực học và quỹ đạo cho robot nhằm tránh va chạm và tối ưu hóa vận hành. Bài báo này trình bày một số kết quả mô phỏng số kết hợp thực nghiệm về động học cho cánh tay robot công nghiệp, trường hợp robot 2R.

Từ khóa: *Động học robot; Robot phẳng; Mô phỏng số.*

ABSTRACT

The numerical simulation of robot is important and useful in industries day by day. According to the development of computational science, there are many supporting tools developed in this field. The obtained results are reliable, can be used for kinematic, dynamic calculation and trajectory planning for avoiding obstacle and optimized operation. The paper presents some results of numerical simulation and experiment combination, a case of 2R.

Keywords: *Robot Kinematics; Planar Robot; Numerical Simulation.*

1. GIỚI THIỆU

Robot là trang thiết bị có vai trò ngày càng lớn trong công nghiệp và dân dụng. Lý thuyết tính toán robot được phát triển trên cơ sở cơ học hệ nhiều vật [1] và được xây dựng bởi nhiều nhà nghiên cứu nổi tiếng như John J. Craig [2], Jazar [3]. Đó là những nền tảng để phát triển cho mọi tính toán, thiết kế và điều khiển các robot hiện đại ngày nay. Cùng với sự phát triển của khoa học tính toán, nhiều công cụ số được sử dụng hỗ trợ quá trình tính toán thiết kế robot được nhanh và hiệu quả để có thể nhanh chóng đưa vào ứng dụng. Một số công trình công bố có thể kể đến như: Mahmoud Gouasmi cùng các cộng sự [4] đã mô hình hóa và mô phỏng robot 2R sử dụng Solidworks và xác thực bằng Matlab/Simulink; Lin Jian Liang và Xue Guan Gao đã sử dụng Adam và Matlab để tính toán động lực cho robot dựa trên phương pháp Newton-Euler… Trong thực tế, khi robot công nghiệp được sản xuất và ứng

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

dụng hàng loạt, nhiệm vụ của đội ngũ kỹ sư và kỹ thuật viên chủ yếu tập trung tính toán động học và thiết kế quỹ đạo để quá trình vận hành trơn tru và tối ưu.

Trong nghiên cứu này, động học của robot 2R được khảo sát tính toán bằng RecurDyn kết hợp Matlab/Simulink cùng với thực nghiệm bằng cánh tay máy có động cơ Dynamixel phát triển bởi Robotics. Kết quả thu được phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, cho thấy sự kết hợp tính toán số và thực nghiệm này là bộ công cụ tin cậy để khảo sát động học robot hỗ trợ cho công nghiệp và dân dụng.

2. ĐỘNG HỌC THUẬN CỦA ROBOT 2R

Hình 1 mô tả một cấu hình robot 2R với hệ tọa độ và thông số kích thước được xác định. Cả hai khâu đều được chuyển động trong cùng mặt phẳng. Bảng thông số Denavit-Hartenberg được thể hiện bởi bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Bảng thông số D-H của robot 2R

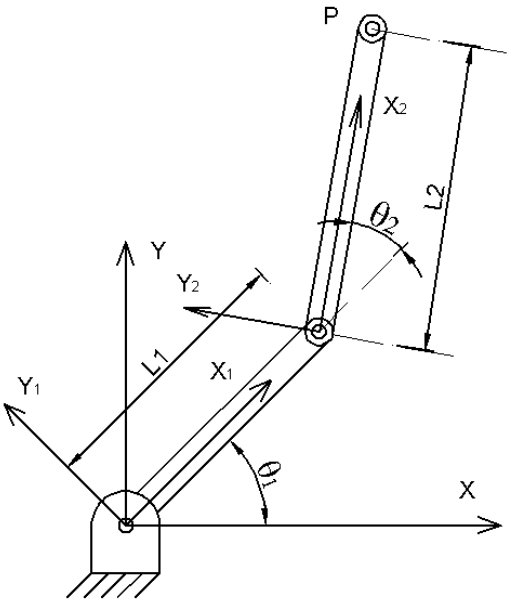
Link	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	L_1	0	θ_2

Từ bảng Denavit-Hartenberg, ma trận chuyển đổi được xác định bởi các công thức:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & L_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & L_1\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2^0 = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & L_1c_1 + L_2c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & L_1s_1 + L_2s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$



Hình 1. Cấu hình tay máy 2R được tính toán

3. ĐỘNG HỌC NGƯỢC CỦA ROBOT 2R

Ma trận mục tiêu của tính toán:

$$T_W^B = \begin{bmatrix} c_\phi & -s_\phi & 0 & x \\ s_\phi & c_\phi & 0 & z \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Vì $T_2^0 = T_W^B$, ta có:

$$x = L_1c_1 + L_2c_{12} \quad (5)$$

$$z = L_1s_1 + L_2s_{12} \quad (6)$$

Từ đó: ☞

$$x^2 + z^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2c_2 \quad (7)$$

$$\cos\theta_2 = \frac{x^2 + z^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \quad (8)$$

$$\sin\theta_2 = \pm\sqrt{1 - \cos^2\theta_2} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \pm a\tan\left(\frac{\sin\theta_2}{\cos\theta_2}\right) \quad (10)$$

Xác định thông số chuyển vị của khâu một theo công thức:

$$\theta_1 = a\tan(\frac{z}{x}) - a\tan(\frac{k_2}{k_1}) \quad (11)$$

Với góc cho trường hợp vồng lên:

$$\theta_1 = a\tan(\frac{z}{x}) - a\tan(\frac{L_2s_2}{L_1 + L_2c_2}) \quad (12)$$

Với góc cho trường hợp võng xuống:

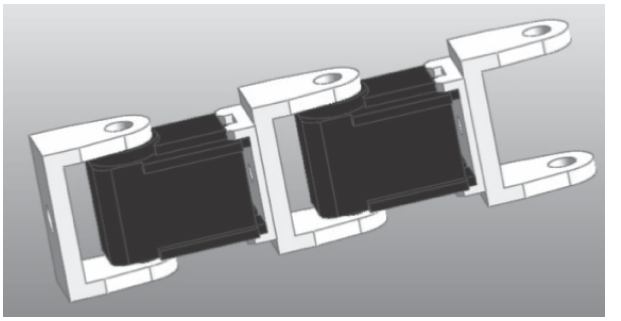
$$\theta_1 = a\tan(\frac{z}{x}) - a\tan(\frac{L_2s_2}{L_1 + L_2c_2}) \quad (13)$$

Vận tốc của điểm cuối (P) được tính qua ma trận Jacobian:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_1s\theta_1 - L_2s(\theta_1 + \theta_2) & -L_2s(\theta_1 + \theta_2) \\ L_1c\theta_1 + L_2c(\theta_1 + \theta_2) & L_2c(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

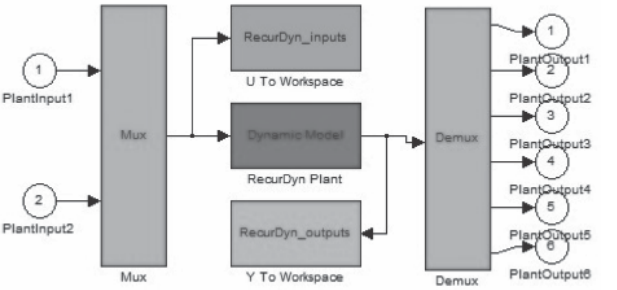
4. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC ROBOT 2R BẰNG CÔNG CỤ SỐ

Trên cơ sở động học thuận và động học ngược của robot 2R tổng hợp từ phần trước, phần này tập trung vào mô phỏng động học robot 2R bằng công cụ tính toán RecurDyn [6] kết hợp Matlab [7]. Hình 2 mô tả mô hình 3D của robot 2R:



Hình 2. Mô hình robot 2R trong thiết kế 3D

Thông số đầu vào/ra của robot 2R được thiết lập. Góc khớp của robot được tính toán trong Matlab. Các thông số chuyển vị này được tính toán trong RecurDyn và chuyển tới Matlab để xử lý. Mô hình mô phỏng kết hợp được thể hiện ở Hình 3.



Hình 3. Mô hình mô phỏng kết hợp giữa RecurDyn và Matlab

Trong nghiên cứu này, 2R robot có thông số $L_1 = L_2 = 68.1$ mm và $m_1 = m_2 = 0.069$ kg. Với vị trí ban đầu x =163.2 và z = 0; vị trí cuối x = 85.98 và z = 102.15, thay vào các phương trình động học ở phần trước sẽ được phương trình quỹ đạo chuyển động cho hai góc khớp. Kết quả chuyển động của robot 2R cho hai trường hợp vồng lên và võng xuống từ lý thuyết và mô phỏng trùng khớp, được thể hiện bởi bảng 2 dưới đây:

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

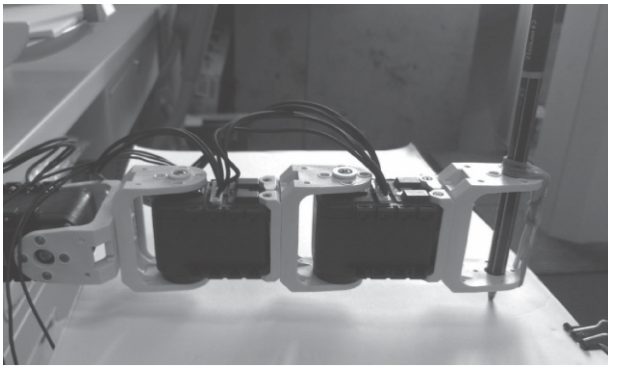
Bảng 2. Chuyển vị của robot 2R

Time (sec)	Vồng lên (Elbow up)		Võng xuống (Elbow down)		x	z
	Theta1 (deg)	Theta2 (deg)	Theta1 (deg)	Theta2 (deg)		
0	0	0	0	0	163.2000	0
0.1	2.5200	-1.6800	0.8400	1.6800	163.1268	3.9926
0.2	9.3600	-6.2400	3.1200	6.2400	162.1924	14.7821
0.3	19.4400	-12.9600	6.4800	12.9600	158.8826	30.3505
0.4	31.6800	-21.1200	10.5600	21.1200	151.8994	48.2447
0.5	45.0000	-30.0000	15.0000	30.0000	140.9335	65.7795
0.6	58.3200	-38.8800	19.4400	38.8800	126.9820	80.6177
0.7	70.5600	-47.0400	23.5200	47.0400	112.1073	91.3943
0.8	80.6400	-53.7600	26.8800	53.7600	98.8178	97.9829
0.9	87.4800	-58.3200	29.1600	58.3200	89.4634	101.2159
1	90.0000	-60.0000	30.0000	60.0000	85.9763	102.1500

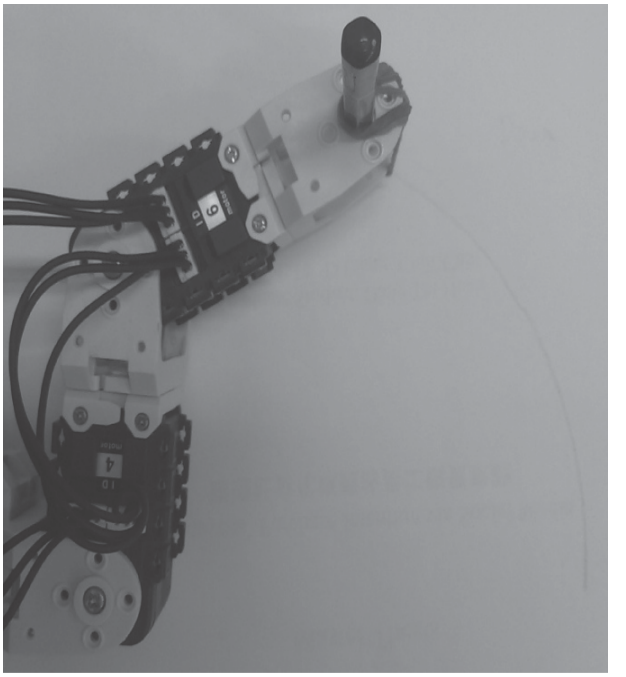
Từ kết quả thu được có thể thấy, chuyển vị của hai khâu ở trường hợp võng xuống thấp hơn trường hợp vồng lên. Việc quyết định để cánh tay robot chuyển động võng xuống hay vồng lên phụ thuộc vào yêu cầu tránh va chạm, tính ổn định... của yêu cầu điều khiển.

5. THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT ĐỘNG HỌC ROBOT 2R

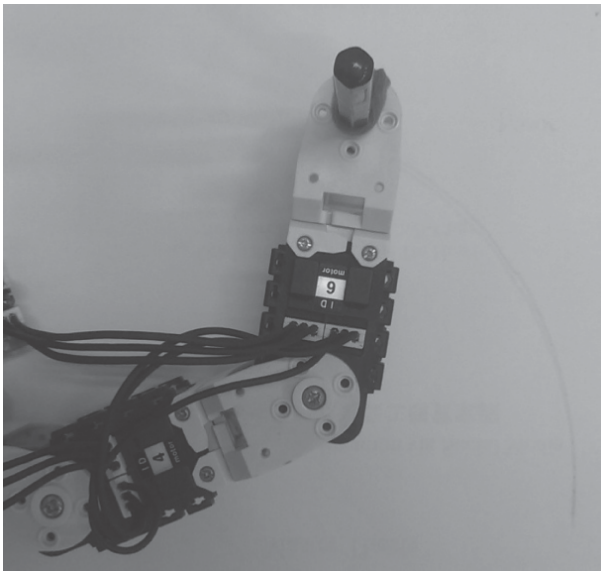
Mô hình thực xây dựng bởi Dynamixel [8] được kết nối với máy tính qua cổng USB được mô tả trong Hình 4. Hình 5 và Hình 6 lần lượt là chuyển vị của Robot 2D theo hai trường hợp tính toán trên.



Hình 4. Mô hình thực robot 2R



Hình 5. Chuyển vị của robot 2R trường hợp vồng lên



Hình 6. Chuyển vị của robot 2R trường hợp võng xuống

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, bộ công cụ RecurDyn và Matlab được sử dụng để tính toán khảo sát động học robot 2R. Kết quả thu được cho thấy sự tin cậy của bộ công cụ tính toán và ý nghĩa của nghiên cứu động học robot trong ứng dụng robot nói chung. Việc tính toán và mô phỏng với hỗ trợ của công cụ số sẽ giúp tối ưu hóa trong thiết kế cũng như vận hành robot công nghiệp.❖

Ngày nhận bài: **18/4/2024**
Ngày phản biện: **06/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. A.A. Shabana, "*Theory of Vibration: An Introduction*", Second edition, Springer-Verlag New York, Inc (1996).
[2]. John J. Craig, "*Introduction to Robotics Mechanics & Control"*, Third edition, Pearson Education International.
[3]. Reza N. Jazar, 2010, "*Theory of applied Robotics (kinematics, dynamics and control*", Second edition, Springer New York.
[4]. Mahmoud Gouasmi, Mohammed Ouali, Brahim Fernini and M'hamed Meghatria, "*Kinematic Modelling and Simulation of 2-R Rbot Using SolidWork and Verification by Matlab/Simulink*", International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 9, 2012.
[5]. Lin Jian Liang, Xue Guan Gao, "*Palletizing Robot Dynamic Analysis and Simulation*", Applied Mechanics and Materials (Volume 598), pp.623-626, 2014.
[6]. FunctionBay, Inc, 2013, Recurdyn Help.
[7]. The Mathworks, Simulink, http://www.mathworks.com/products/simulink/
[8]. ROBOTIS e-manual v1.14.00, http://support.robotis.com/en/

NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN KIỂM NGHIỆM ĐỘ BỀN CỦA MÓC NÂNG BẰNG PHẦN MỀM ANSYS

RESEARCH, CALCULATION, TESTING THE DURABILITY OF LIFTING HOOKS USING ANSYS SOFTWARE

ThS. **Đỗ Anh Tuấn**
Viện Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, móc nâng đã được thiết kế lại với sự tối ưu hóa cấu trúc liên kết và phân tích độ mỏi đã được thực hiện. Với phương pháp dựa trên mật độ, khối lượng đã được giảm thiểu. Tất cả các quy trình đã được thực hiện với sự trợ giúp của phương pháp phần tử hữu hạn được triển khai trong phần mềm Ansys. Một mô hình móc nâng tiêu chuẩn đã được sử dụng trong quá trình này. Sau khi tối ưu hóa, móc nâng tiêu chuẩn đã được sửa lại bằng phần mềm Cad. Sau đó, mô hình mới được phân tích. Quá trình này đã được lặp lại cho ba mô hình khác nhau. Trên cơ sở các kết quả thu được, việc tối ưu hóa cấu trúc liên kết được thực hiện trong phạm vi nghiên cứu chứng tỏ rằng có thể thiết kế lại móc nâng với trọng lượng giảm hơn, đồng thời đáp ứng các đặc tính độ bền cần thiết.

Từ khóa: *Ansys; Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM); Móc nâng; Tối ưu hóa cấu trúc liên kết; Phân tích độ mỏi.*

ABSTRACT

In this study, the lifting hook was redesigned with topology optimization and fatigue analysis was performed. With the density-based method, the volume was minimized. All the processes have been performed with the help of the finite element method implemented in Ansys software. A standard lifting hook model was used in this process. After optimization, the standard lifting hook was revised using Cad software. Then the new model is analyzed. This process was repeated for three different models. On the basis of the results obtained, the topology optimization carried out within the scope of the study demonstrates that it is possible to redesign the lifting hook with a reduced weight, while meeting the durability characteristics. necessary.

Keywords: *Ansys; Finite Element Method (FEM); Lifting hook; Topology optimization; Fatigue analysis.*

☞

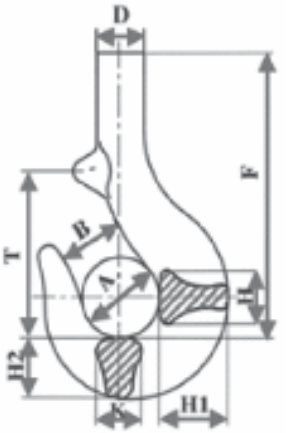
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Móc được sử dụng phổ biến tại các công trường xây dựng, trung tâm vận tải để nâng hạ các vật nặng. Với sự gia tăng khả năng chịu tải của móc nâng, kích thước của nó trở nên lớn hơn và trọng lượng của nó cũng nặng hơn. Trọng lượng tăng lên sẽ tiêu tốn rất nhiều vật liệu và tiền bạc cho nhà sản xuất. Đó là lý do tại sao cần có những thiết kế thay thế. Việc sử dụng các phương pháp tối ưu hóa cấu trúc liên kết là một trong những công cụ giúp các kỹ sư đạt được một số mục tiêu kỹ thuật đối với các vấn đề cụ thể [2]. Một trong những vấn đề mà việc sửa đổi cấu trúc liên kết được sử dụng là giảm trọng lượng trong các thiết kế cơ khí. Có một số nghiên cứu quan trọng về móc nâng như: phân tích dựa trên ứng suất của các móc có mặt cắt khác nhau đã được Bundela và Shrivistaya [3] thực hiện. Trong một nghiên cứu khác do Tigabey [9] thực hiện, phân tích độ mỏi của các mô hình móc nâng khác nhau đã được thực hiện. Maneengam và cộng sự [6] đã nghiên cứu việc tối ưu hóa kích thước của móc nâng. Trong nghiên cứu này, phương pháp tối ưu hóa dựa trên ứng suất tương tự như mô hình trước đây do Solanki et al [7] đã được sử dụng. Ngoài ra còn có một số nghiên cứu được hưởng lợi trực tiếp từ việc tối ưu hóa cấu trúc liên kết, Hajare và Jadhav [5] đã tiến hành tối ưu hóa cấu trúc liên kết của một móc nhiều lớp. Trong nghiên cứu đó, chỉ có ứng suất tương đương và biến dạng của móc được nghiên cứu bằng số và thực nghiệm. Tối ưu hóa cấu trúc liên kết của móc rèn cũng đã được Thejomurthy và Ramakrishn [8] kiểm tra.

Mục tiêu của nghiên cứu này là kiểm tra và so sánh các mô hình được tối ưu hóa khác nhau về tuổi thọ mỏi, độ bền cũng như trọng lượng của chúng. Với mục đích này, việc phân tích ứng suất của móc nâng được thực hiện bằng phương pháp phần tử hữu hạn cho các hình dạng được tối ưu hóa khác nhau. Dựa trên các trạng thái ứng suất dự đoán, các phân tích tuổi thọ mỏi đã được thực hiện. Kết quả nghiên cứu này sẽ cung cấp cho người thiết kế một số hướng dẫn trong việc thiết kế móc nâng.

2. MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG

Mẫu được sử dụng trong nghiên cứu là móc tiêu chuẩn DIN 15401-2.5. Các đặc tính và kích thước hình học – theo tiêu chuẩn DIN 15401-2.5 [4] – được thể hiện trong Hình 1, có khả năng chịu tải tối đa 5 tấn.



Hình 1. Thông số kỹ thuật móc nâng loại DIN 15401-2.5

* Kích thước móc DIN GM 15401-2.5 (mm):

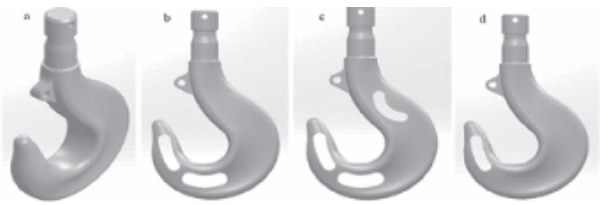
A	B	D	F	H	H1	H2	K	T
63	50	42	263	56	67	58	48	135

Trong mô phỏng vật liệu "Kết cấu thép" có sẵn trong cơ sở dữ liệu vật liệu phần mềm Ansys [1] đã được sử dụng. Trong mô hình FE, phần tử rắn tứ diện 10 nút 3D, SOLID92, đã được sử dụng. Móc đã được mô hình hóa bằng cách sử dụng các đặc tính vật liệu của 2,05E5 MPa và 0,30 tương ứng cho mô-đun và tỷ lệ Poisson.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Phân tích tĩnh đã được thực hiện với 5 tấn, tải trọng và phân tích độ mỏi của mô hình móc tiêu chuẩn đã đạt được thông qua Ansys 2017 R2 [1].

Hình 2 cho thấy cả mô hình móc tiêu chuẩn được xem xét và các mô hình được tối ưu hóa.



Hình 2. (a) Mô hình móc tiêu chuẩn; (b) Mô hình tối ưu hóa thứ nhất; (c) Mô hình tối ưu hóa thứ hai; (d) Mô hình tối ưu hóa thứ ba.

Bảng 1 chứa các giá trị thu được sau bước tải đầu tiên lấy giá trị làm phân tích tĩnh. Hình 3 cho thấy kết quả tối ưu hóa cấu trúc liên kết của móc nâng được xét đến.

Bảng 1. Kết quả phân tích tĩnh

Mẫu thử	Trọng lượng (kg)	Ứng suất tương đương [MPa]	Ứng suất chính tối đa [MPa]	Biến dạng tổng [mm]
Tiêu chuẩn	5.761	224,84	223,77	0,37744
Thứ nhất	5.194	300	310,11	0,42650
Thứ hai	4.932	300,97	306,55	0,44703
Thứ ba	5.476	224,68	223,51	0,37804

3. KẾT QUẢ

Trong phân tích độ mỏi, các hệ số tuổi thọ, hư hỏng và an toàn cũng được thu thập cho cả mô hình tiêu chuẩn và mô hình tối ưu hóa.

Trong phân tích tuổi thọ mỏi, cách tiếp cận dựa trên ứng suất được sử dụng cho mọi trường hợp. Bởi vì tuổi thọ mỏi tối thiểu của mô hình tiêu chuẩn đã được tìm thấy là 17162 chu kỳ (như trong Hình 4) nên giá trị tuổi thọ được chọn làm tiêu chí thiết kế cho các mô hình khác.

Hình 3. Tối ưu hóa cấu trúc liên kết của móc nâng

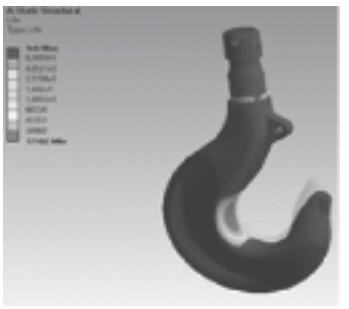
Trong phân tích hư hỏng, định nghĩa hư hỏng được sử dụng trực tiếp. Do đó, các đường viền hư hỏng (thể hiện trong Hình 5, 8, 11 và 14) có được bằng cách tính đến tuổi thọ thiết kế đã chọn trước đó là 17162 chu kỳ. Trong những hình này, các giá trị lớn hơn một cho biết sẽ xảy ra hư hỏng, nếu không thì kết cấu sẽ an toàn.

Do vật liệu được đề cập là thép kết cấu đẳng hướng nên trong tính toán an toàn, các giá trị ứng suất tương đương Von-mise được tính toán và tỷ lệ giới hạn chảy trên ứng suất tương đương được lấy làm hệ số an toàn. Giá trị của hệ số an toàn nhỏ hơn một có nghĩa là hư hỏng sẽ xảy ra trước khi đạt đến tuổi thọ thiết kế xác định. Nếu không, cấu trúc sẽ được an toàn. Khi hệ số an toàn tăng lên thì độ tin cậy của kết cấu sẽ tăng lên.

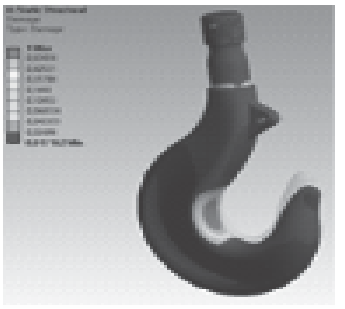
3.1. Phân tích mỏi của mô hình chuẩn

Hình 4, 5 và 6 lần lượt thể hiện tuổi thọ mỏi, hư hỏng và hệ số an toàn của mô hình ☞

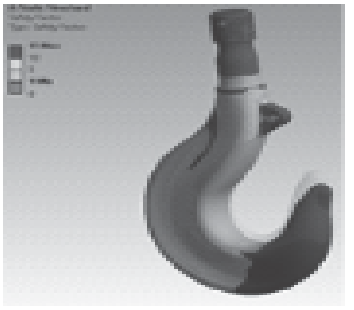
chuẩn. Ứng suất cao phát triển ở các vùng trên bề mặt bên trong của móc gần với bề mặt đường cong bên trong do sự tập trung ứng suất như mong đợi. Ứng suất tối đa phát triển gần bề mặt bên trong của móc. Vị trí này cũng phù hợp với vị trí bắt đầu vết nứt mỏi.



Hình 4. Tuổi thọ mỏi của mô hình chuẩn



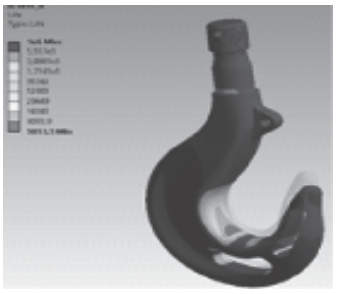
Hình 5. Hư hỏng của mẫu tiêu chuẩn



Hình 6. Hệ số an toàn của mô hình chuẩn

3.2. Phân tích độ mỏi của mô hình được tối ưu hóa đầu tiên

Hình 7, 8 và 9 lần lượt thể hiện tuổi thọ mỏi, hư hỏng và hệ số an toàn của mô hình được tối ưu hóa đầu tiên. Ứng suất cao lại phát triển ở các vùng trên bề mặt bên trong của móc gần với bề mặt đường cong bên trong do sự tập trung ứng suất. Ứng suất tối đa phát triển gần bề mặt bên trong của móc.



Hình 7. Tuổi thọ mỏi của mô hình tối ưu hóa đầu tiên

Hình 8. Hư hỏng của mô hình được tối ưu hóa đầu tiên

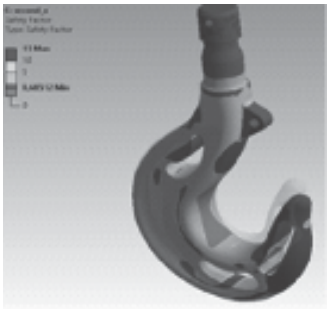
Hình 9. Hệ số an toàn của mô hình tối ưu hóa đầu tiên

3.3. Phân tích độ mỏi của mô hình tối ưu hóa thứ hai

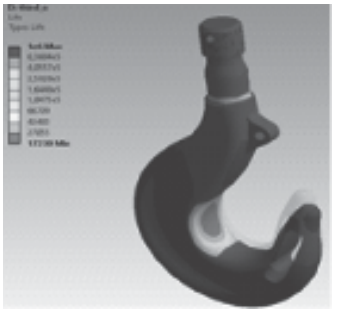
Hình 10, 11 và 12 lần lượt thể hiện tuổi thọ mỏi, hư hỏng và hệ số an toàn của mô hình được tối ưu hóa thứ hai. Ứng suất cao lại phát

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

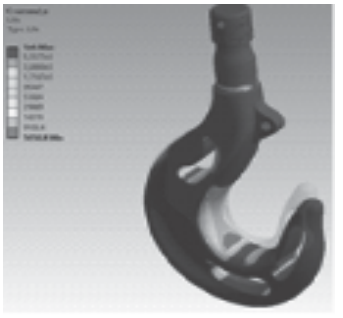
triển ở các vùng trên bề mặt bên trong của móc gần với bề mặt đường cong bên trong do sự tập trung ứng suất. Ứng suất tối đa phát triển gần bề mặt bên trong của móc.



Hình 10. Tuổi thọ mỏi của mô hình tối ưu hóa thứ hai



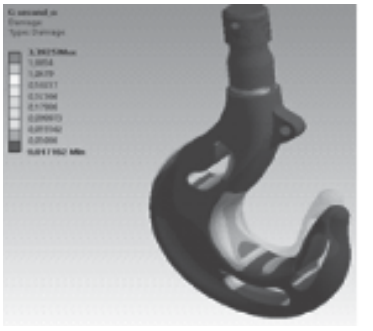
Hình 11. Hư hỏng của mô hình tối ưu hóa thứ hai



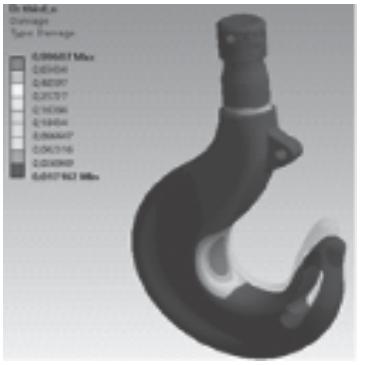
Hình 12. Hệ số an toàn của mô hình tối ưu thứ hai

3.4. Phân tích độ mỏi của mô hình tối ưu hóa thứ ba

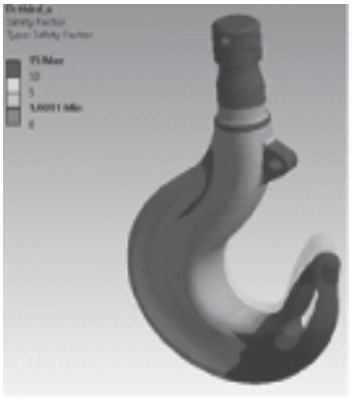
Hình 13, 14 và 15 lần lượt thể hiện tuổi thọ mỏi, hư hỏng và hệ số an toàn của mô hình được tối ưu hóa thứ 3. Ứng suất cao lại phát triển ở các vùng trên bề mặt bên trong của móc gần với bề mặt đường cong bên trong do sự tập trung ứng suất. Ứng suất tối đa phát triển gần bề mặt bên trong của móc.



Hình 13. Tuổi thọ mỏi của mô hình tối ưu hóa thứ ba



Hình 14. Hư hỏng của mô hình tối ưu hóa thứ ba



Hình 15. Hệ số an toàn của mô hình tối ưu hóa thứ ba

Việc so sánh giữa các mô hình về tuổi thọ mỏi, hệ số an toàn và hư hỏng được tóm tắt trong Bảng 2. ☞

Bảng 2. So sánh các thiết kế thay thế

Tên mẫu	Trọng lượng (kg)	Tuổi thọ tối thiểu [Cycle]	Hệ số an toàn tối thiểu	Hư hỏng
Standard	5,761	17.161	1,000	1,000
First	5,194	5.052	0,684	3.395
Second	4,932	5.058	0.684	3,391
Third	5,476	17.229	1,000	0,995

4. KẾT LUẬN

Tuổi thọ mỏi, hư hỏng, hệ số an toàn, ứng suất tối đa, biến dạng và trọng lượng của mô hình móc tiêu chuẩn đã được nghiên cứu cho tất cả các mô hình thay thế được thiết kế và có kết luận như sau:

- Phân tích số học cho thấy số chu kỳ dẫn đến hỏng hóc thay đổi tùy thuộc vào hình dạng của móc.

- Mô hình thứ ba phù hợp nhất: tuổi thọ mỏi, hư hỏng và hệ số an toàn; ứng suất tương đương và biến dạng tổng gần như nhau đối với mô hình tiêu chuẩn.

- Khi sử dụng mô hình tối ưu hóa thứ nhất và thứ hai, giá trị ứng suất của mô hình tăng khoảng 30%. Sự khác biệt có thể là do sự tập trung ứng suất phát sinh từ việc mở các lỗ trên móc. Nhưng khi sử dụng mô hình tối ưu thứ ba, người ta thấy giá trị ứng suất bằng với giá trị tiêu chuẩn.

- Mở các lỗ trên móc cẩu tiêu chuẩn, đặc biệt là ở mặt sau của vùng ứng suất tối đa và mặt sau của vùng tải sẽ làm giảm tuổi thọ mỏi của móc khoảng 70%.

- Mô hình tối ưu hóa thứ ba có tuổi thọ mỏi tương tự với mô hình thực tế. Tuy nhiên, trọng lượng của nó nhẹ hơn 285 gram so với mẫu tiêu chuẩn, đây là một lợi thế lớn về mặt kinh tế.

- Để loại bỏ sự tập trung ứng suất và cũng tăng tuổi thọ mỏi của móc, nên sử dụng hình học tối ưu. Mô hình tối ưu hóa thứ ba đạt giá trị cao nhất.❖

Ngày nhận bài: **22/4/2024**
Ngày phản biện: **29/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. *Ansys user's manual*, version 2017r2.
[2]. Arora, J. S., 2017. *Introduction to Optimum Design: Introduction to Design Optimization.* Elsevier Press, New York.
[3]. Bundela, S., Shrivastava, A. K., 2017. *Design and Static Stress Analysis of Various Cross Section of Hook*. International Journal of Recent Technology Science and Management 2(12), 52-59.
[4]. DIN 15401-2.5 hook standards.
[5]. Hajare, P.R., Jadhav, S.M., 2020. *Experimental Stress Analysis and Optimization of Crane Lifting Tackle.* International Research Journal of Engineering and Technology 7(8), 215-221.
[6]. Maneengam, A., Saisirirat, P., Suwankan, P.,2017. *Hook design loading by the optimization method with weighted factors rating method,* International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies. Bangkok, Thailand, pp. 337-342.
[7]. Solanki, M., Bhatt, A., Rathour, A., Thakka,r S., 2015. *Weight Optimization in Crane Hook*. Journal of Mechanical and Civil Engineering 1(6), 192-196.
[8]. Thejomurthy, M.C., Ramakrishn, D.S., 2018. *Topology Optimization and Analysis of Crane Hook Model*. Journal of Engineering Research and Application 8(9), 60-64.
[9]. Tigabey, S., *Optimization and Fatigue Analysis of Crane Hook Using Finite Element Method*. MSc Thesis Dissertation, Addis Ababa University, 2018.

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT DAO ĐỘNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN CỠ NHỎ

RESEARCH AND SURVEY OF VIBRATION OF SMALL ELECTRIC VEHICLES

Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Lâm Thanh Chương
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ngành ô tô trên thế giới đã phát triển trên một trăm năm. Những sản phẩm của nó ngày càng chứa hàm lượng công nghệ cao, ô tô ngày càng chạy nhanh hơn, số lượng ngày càng nhiều, các xe ngày càng được hoàn thiện hơn về độ an toàn cũng như độ êm dịu. Những phát triển đột biến đó đã đưa đến những áp lực mới cho xã hội như tai nạn giao thông, mức độ phá huỷ đường sá ngày càng nghiêm trọng. Nghiên cứu để hoàn thiện các kết cấu của ô tô nhằm nâng cao an toàn chuyển động và giảm ảnh hưởng xấu của dao động với môi trường là một nhu cầu cấp thiết của quốc gia. Nghiên cứu về dao động ô tô nói riêng và về động lực học ô tô nói chung ngày càng được quan tâm đúng mức. Ô tô là liên kết của hệ nhiều vật, các khối lượng đó được liên kết với nhau bằng các phần tử có đặc tính phi tuyến phức tạp, ví dụ như đặc tính giảm chấn, đặc tính đàn hồi, sự va chạm của bánh xe. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng số để khảo sát dao động của ô tô điện cỡ nhỏ khi di chuyển trên các loại mặt đường khác nhau. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để làm tiền đề cho những nghiên cứu sâu hơn về dao động ô tô trong tương lai, đồng thời có thể dùng để tối ưu hóa kết cấu của ô tô, nhất là xe điện cỡ nhỏ.

Từ khóa: *Xe điện cơ nhỏ; Mô phỏng số; Dao động ô tô.*

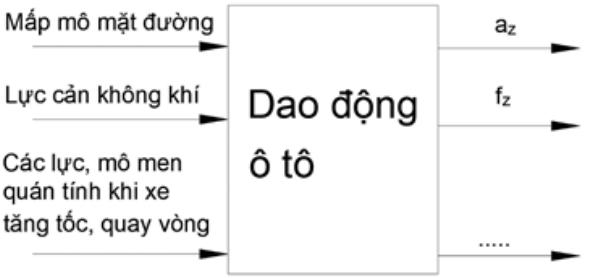
ABSTRACT

The world automobile industry has been developing for more than a hundred years. The company's products increasingly contain high technology content, cars are running faster and faster, the number is increasing and the vehicles are becoming more and more perfect in terms of safety and comfort. Sudden developments have caused new pressures on society such as traffic accidents, the ability to make the streets more and more dangerous. Research into perfecting car configurations to improve motion safety and reduce the negative impact of vibration on the environment is an urgent national need. Research on car vibrations in particular and car dynamics in general is increasingly receiving adequate attention. A car is a connection of a system of many objects, the masses are linked together by elements with impurity nonlinear properties such as damping properties, elastic properties and the sophistication of the wheels. In this article, the authors used numerical simulation methods to study the engine of electric vehicles when traveling on different types of road surfaces. The research results can serve as a basis for further research on car vibrations in the future and can be used to optimize car configurations, especially small electric cars.

Keywords: *Small electric vehicle; Vehicle vibrates.*

1. TỔNG QUAN

Dao động ô tô được gây ra bao gồm ba nguồn chủ yếu là [4]: Mấp mô mặt đường, lực cản không khí, các lực, mô men quán tính khi xe tăng tốc, phanh, quay vòng.



Hình 1. Sơ đồ các yếu tố ảnh hưởng đến dao động ô tô

Khi chuyển động trên đường, ô tô dao động ở tất cả các phương: phương dọc, phương ngang, phương thẳng đứng và ba dao động góc là dao động lắc dọc, lắc ngang và quay quanh trục thẳng đứng. Thông thường, khi xét dao động ô tô, ta chỉ quan tâm dao động phương thẳng đứng, dao dao động lắc dọc và lắc ngang mặc dù dao động ô tô là tích hợp. Dao động ô tô cũng chịu đồng thời nhiều yếu tố kích động ngẫu nhiên. Vì vậy, ta chỉ có thể lập mô hình và xét các yếu tố riêng rẽ. Trước tiên, ta xét các yếu tố gây dao động. Có 4 nguồn gây dao động: Mấp mô mặt đường: Trong thực tế, mấp mô mặt đường mang tính chất ngẫu nhiên, chúng thay đổi trong quá trình xe chuyển động về độ cao mấp mô, khoảng cách giữa các mấp mô.

Lực cản không khí (Gió): Ở nước ta, gió có cường độ mạnh, tác động đến ô tô đa phương, đa chiều với tính chất ngẫu nhiên, làm thay đổi xe chuyển động và về cơ bản tâm tác động của gió không trùng với trọng tâm của xe.

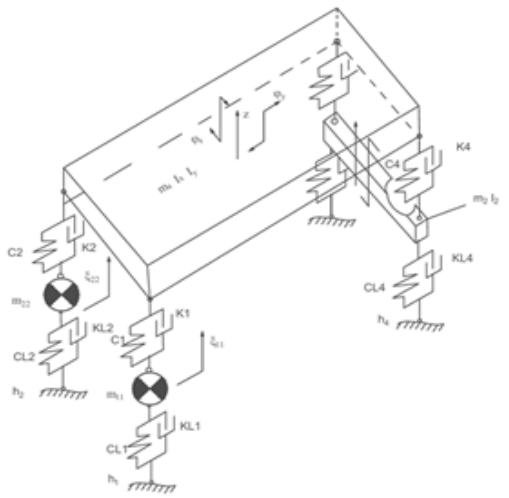
Các lực, mô-men quán tính khi xe tăng tốc, phanh, quay vòng (Lực quán tính): Khi ô tô chuyển động, lái xe thực hiện điều khiển xe theo ba chức năng là phanh, tăng tốc, quay vô lăng riêng rẽ hoặc tích hợp, làm xuất hiện gia tốc dọc, ngang. gây dao động lắc dọc và lắc ngang.

Ngoài ra, khi xe chạy, tải của động cơ thay đổi, mô-men quán tính của động cơ cũng gây dao động cho ô tô. Trước đây, khi nghiên cứu dao động, người ta chỉ xét ảnh hưởng của mấp mô đường trong trường hợp vận tốc không đổi. Chuyển động của ô tô là chuyển động tích hợp, khi nghiên cứu Động lực học ô tô ta phải xét tất cả các yếu tố ảnh hưởng, vì vậy trong mô hình dao động phải tổng quát hơn, bao hàm ba loại kích động vừa nêu trên.

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH DAO ĐỘNG KHÔNG GIAN

Để nghiên cứu về dao động của xe điện cỡ nhỏ, nhóm tác giả đã quyết định nghiên cứu trên xe tham khảo Vfe34 có cầu trước sử dụng hệ thống treo độc lập và cầu sau sử dụng hệ thống treo phụ thuộc. Mô hình động lực học không gian, mô hình ô tô tải HINO 500 có 2 trục là đối xứng theo trục dọc của xe, thân xe được coi như một tấm phẳng có khối lượng M đặt tại trọng tâm thân xe. Trong bài toán xét dao động của xe khi chuyển động thẳng, thân xe có 3 chuyển động (3 bậc tự do) bao gồm: chuyển động tịnh tiến theo trục thẳng đứng z và 2 góc xoay tương ứng: φ_y (góc lắc dọc – quay quanh trục ngang y), φ_x (góc lắc ngang – quay quanh trục dọc x), các cầu xe (cầu trước – 1, cầu sau – 2) là các khối lượng không được treo được coi như các thanh phẳng, có khối lượng m_{A1}, m_{A2} đặt tại trọng tâm của chúng. Mỗi cầu xe có 1 chuyển động tịnh tiến theo trục thẳng đứng (ξ_{A1}, ξ_{A2}) và 1 chuyển vị góc lắc ngang quanh trục dọc (φ_{xA1}, φ_{xA2}). Bỏ qua góc xoay của cầu xe theo trục thẳng đứng và trục ngang, thân xe

được nối với các cầu xe thông qua hệ thống treo (đặc trưng bởi các độ cứng C_{ij} và hệ số cản giảm chấn K_{ij}) (chỉ số i: 1 – Trước; 2 – Sau; chỉ số j: 1 – Trái; 2 – Phải), cầu xe liên kết với mặt đường bằng bánh xe đàn hồi, đặc trưng bởi độ cứng C_{Lij}. Bỏ qua thành phần cản của lốp, bỏ qua tác động của gió đến chuyển động của xe, bánh xe tiếp xúc điểm với mặt đường.



Hình 2. Mô hình động lực học không gian xe ô tô điện cỡ nhỏ

Trên mô hình sử dụng các ký hiệu sau:

OXYZ: Hệ tọa độ cố định; C: Trọng tâm của khối lượng được treo; A_1, A_2: Trọng tâm của khối lượng không được treo trước (cầu 1) và sau (cầu 2); M: Khối lượng được treo; m_{AJ}: Khối lượng không được treo cầu 1; m_{A2}: Khối lượng không được treo cầu 2; J_y: Mô-men quán tính trục y của khối lượng được treo xe con; J_x: Mô-men quán tính trục x của khối được treo xe; J_{Axi}: Mô-men quán tính trục x của khối lượng không được treo cầu thứ i (i = 1÷2); z: Chuyển vị theo phương thẳng đứng của trọng tâm khối lượng được treo; φ_x: Góc lắc ngang của thân xe; φ_y: Góc lắc dọc của thân xe; ξ_{A1}: Chuyển vị thẳng đứng của trọng tâm khối lượng không được treo trước (cầu thứ 1); φ_{xA1}: Góc lắc ngang của cầu thứ 1; ξ_{A2}: Chuyển vị thẳng đứng của trọng tâm khối lượng không được treo sau (cầu thứ 2); φ_{xA2}: Góc lắc ngang của cầu thứ 2; C_{ij}: Độ cứng của nhíp gần với bánh xe ij (i = 1÷2, j = 1÷2); K_{ij}: Hệ số cản giảm chấn gần với bánh xe ij (i = 1÷2, j = 1÷2); C_{Lij}: Độ cứng hướng kính của lốp thứ ij (i = 1÷2, j = 1÷2); L: Chiều dài cơ sở của xe; l_1: Khoảng cách từ trọng tâm thân xe đến cầu trước; l_2: Khoảng cách từ trọng tâm thân xe đến cầu sau; $2b_1$: Khoảng cách giữa tâm hai bánh xe cầu trước; $2b_2$: Khoảng cách giữa tâm hai bánh xe cầu sau; $2w_1$: Khoảng cách giữa hai vị trí bố trí treo cầu trước; $2w_2$: Khoảng cách giữa hai vị trí đặt nhíp trên cầu sau.

Như vậy, mô hình cấu trúc của xe ô tô điện cỡ nhỏ sẽ có 7 tọa độ suy rộng (7 bậc tự do) bao gồm: 3 bậc tự do mô tả chuyển động của thân xe (z, φ_x, φ_y), 2 bậc tự do mô tả cầu trước.

Phương trình mô tả dao động thân xe:

$$M\ddot{z} = F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} \quad (2.1)$$

$$J_y\ddot{\varphi}_y = -l_1\left(F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}\right) + l_2\left(F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}\right) \quad (2.2)$$

$$J_x.\ddot{\varphi}_x = b_1.(F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12}) + w_2.(F_{C21} + F_{K21} - F_{C22} - F_{K22}) \quad (2.3)$$

Phương trình mô tả dao động cầu sau (phụ thuộc):

$$m_{A2}\ddot{\xi}_{A2} = (F_{CL21} + F_{CL22}) - (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \quad (2.4)$$

$$J_{Ax2}.\ddot{\varphi}_{xA2} = b_2(F_{CL21} - F_{CL22}) + w_2(F_{C22} + F_{K22} - F_{C21} - F_{K21}) \quad (2.5)$$

Phương trình mô tả dao động cầu trước (độc lập):

$$m_{A11}.\ddot{\xi}_{A11} = F_{CL11} - (F_{C11} + F_{K11}) \quad (2.6)$$

$$m_{A12}.\ddot{\xi}_{A12} = F_{CL12} - (F_{C12} + F_{K12}) \quad (2.7)$$

3. THÔNG SỐ VÀ PHƯƠNG ÁN KHẢO SÁT

3.1. Thông số xe tham khảo Vfe34

Trong nghiên cứu này, đối tượng khảo sát được lựa chọn là Vfe34 – xe điện cỡ nhỏ thuộc công ty sản xuất ô tô Vinfast của Việt Nam.

Bảng 1. Thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Gia tốc trọng trường	g	9.81	m/s^2
2	Hệ số cản lăn	f	0.02	
3	Bán kính tĩnh bánh xe	r_t	0.325	m
4	Độ cứng hệ thống treo trước	C_1, C_2	76640	N/m
5	Độ cứng hệ thống treo sau	C_3, C_4	178870	N/m
6	Hệ số cản giảm chấn trước	K_1, K_2	7347	N.s/m
7	Hệ số cản giảm chấn sau	K_3, K_4	11106	N.s/m
8	Độ cứng hướng kính lốp trước	C_{L1}, C_{L2}	209067	N/m
9	Độ cứng hướng kính lốp sau	C_{L3}, C_{L4}	209067	N/m
10	Khối lượng không được treo trước	m_{A1}	110	kg
11	Khối lượng không được treo sau	m_{A2}	120	kg
12	Khối lượng được treo	M	1216	kg
13	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu trước	M_{c1}	870	kg
14	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu sau	M_{c2}	666	kg
15	Chiều dài toàn bộ của xe	LW	4.3	m
16	Chiều rộng toàn bộ của xe	BW	1.768	m
17	Chiều cao toàn bộ của xe	HW	1.613	m
18	Chiều dài cơ sở	L	2.610	m
19	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	l_1	1.132	m
20	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	l_2	1.478	m
21	Một nửa khoảng cách vết bánh xe trước	b_1	0.737	m
22	Một nửa khoảng cách vết bánh xe sau	b_2	0.745	m
23	Một nửa khoảng cách treo trước	w_1	0.7	m
24	Một nửa khoảng cách treo sau	w_2	0.6	m
25	Chiều cao trọng tâm	h_g	1.5	m

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

26	Bán kính động bánh xe trước	r_1	0.4572	m
27	Bán kính động bánh xe sau	r_2	0.4572	m
28	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục dọc x	J_x	8992	kgm^2
29	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục ngang y	J_y	96040	kgm^2
30	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục thẳng đứng z	J_z	101940	kgm^2
31	Mô-men quán tính khối lượng của cầu sau quanh trục dọc x	J_{Ax2}	335	kgm^2
32	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe trước quanh trục ngang y	J_{Ay1}, J_{Ay2}	10	kgm^2
33	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe sau quanh trục ngang y	J_{Ay3}, J_{Ay4}	20	kgm^2

3.2. Kích thích mấp mô mặt đường

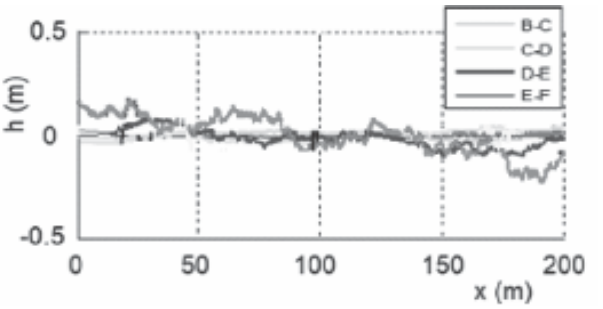
ISO 8608:2016 là tiêu chuẩn được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong các tính toán động lực học ô tô. Tiêu chuẩn này phân biệt các dạng đường theo mật độ phổ công suất (PSD) và chia chúng thành 8 loại với ký hiệu quy ước từ A đến H [6].

$$h(x)=\sum_{i=0}^{N}\sqrt{\Delta n}.2^{k}.10^{-3}.\left(\frac{n_0}{i\Delta n}\right).\cos(2\pi.\mathrm{i}.\Delta n.x+\varphi_i) \quad (3.1)$$

Công thức (3.1) cho phép tính toán và vẽ đồ thị mô tả chiều cao mấp mô mặt đường theo dịch chuyển x. Hàm h(x) sẽ được sử dụng làm hàm kích thích trong mô hình chuyển động tổng quát của ô tô với các loại đường khác nhau. Nếu coi ô tô chuyển động đều với vận tốc v thì biểu thức tính độ cao mấp mô theo biến x có thể viết lại theo biến thời gian t như sau:

$$h(t)=\sum_{i=0}^{N}\sqrt{\Delta n}.2^{k}.10^{-3}.\left(\frac{n_0}{i\Delta n}\right).\cos(2\pi.\mathrm{i}.\Delta n.V.t+\varphi_i) \quad (3.2)$$

Mấp mô bề mặt của các loại đường theo ISO 8608:2016 được thể hiện trên một khoảng chiều dài 200m như trên hình 3. Trong nghiên cứu này, bốn loại đường theo ISO 8608:2016 đã được thử nghiệm, bao gồm: Loại đường B-C (đường tốt), đường C-D (đường trung bình), đường D-E (đường xấu) và đường E-F (đường rất xấu) được khảo sát.

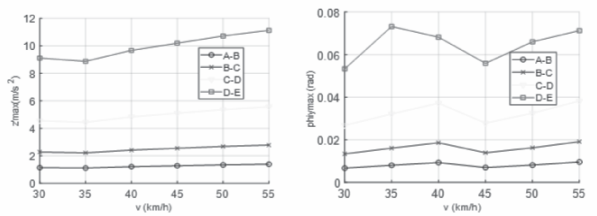


Hình 3. Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016

3.3. Kết quả khảo sát

a. Khảo sát sự ảnh hưởng của tốc độ tới dao động xe

Trong nghiên cứu này, bốn loại đường ISO được khảo sát, xe ô tô chạy với các vận tốc từ 30-55 km/h. Tổng cộng 28 lần chạy chương trình mô phỏng để đánh giá. ☞

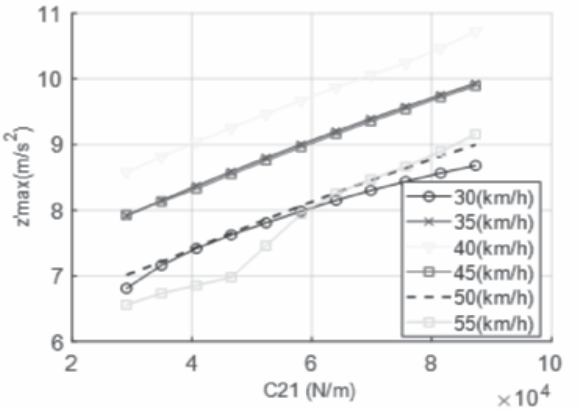


Hình 4. Gia tốc dao động thẳng đứng cực đại và góc lắc theo phương Y cực đại của thân xe khi ô tô đi trên các loại đường khác nhau.

Hình 4 thể hiện kết quả khảo sát gia tốc thẳng đứng cực đại của thân xe khi ô tô chuyển động trên các loại đường có mấp mô khác nhau trong dải vận tốc khảo sát. Trên đồ thị, có hai đường thể hiện hai giá trị ngưỡng đánh giá tương ứng với giới hạn cảnh báo 5 m/s^2 tương ứng với giới hạn can thiệp. Kết quả trên hình 4 cho thấy, khi đi trên đường tốt (B-C), mọi giá trị gia tốc dao động thẳng đứng cực đại đều dưới 3 m/s^2 (ngưỡng cảnh báo), nên ô tô đảm bảo được chỉ tiêu về an toàn hàng hóa. Với loại đường trung bình (C-D), khi xe chạy với vận tốc trên 55 km/h, gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe vượt ngưỡng cảnh báo là 5 m/s^2. Góc lắc ngang thân xe cũng tương tự như gia tốc max, khi xe di chuyển trên mặt đường D-E thì góc lắc max vượt ngưỡng cảnh báo, còn trên các mặt đường tốt như B-C và A-B thì góc lắc tương đối nhỏ.

b. Khảo sát sự ảnh hưởng của độ cứng hệ thống treo sau đến dao động của xe

Trong khảo sát này, xe chạy với các vận tốc từ 30-55 km/h trên loại đường xấu (D-E). Cho C_2 thay đổi trong dải [0,5 0,6… 1… 1,4 1,5]*C_{20}, chạy chương trình mô phỏng, xác định được các giá trị để đánh giá bao gồm gia tốc thẳng đứng cực đại của thân xe ($\ddot{z}_{max}$), hệ số tải trọng động cực đại ($k_{dij,max}$), hệ số tải trọng động cực tiểu ($k_{dij,\ min}$). Tổng cộng 44 lần chạy chương trình mô phỏng để khảo sát.



Hình 5. Gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe khi thay đổi độ cứng C_2 của hệ thống treo sau (đường D-E, v = 30-55km/h)

Hình 3.11 thể hiện kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ cứng C_2 của hệ thống treo sau đến gia tốc dao động thẳng đứng cực đại của thân xe khi ô tô chuyển động trên loại đường xấu D-E trong dải vận tốc khảo sát. Trên đồ thị, có hai đường thể hiện hai giá trị ngưỡng đánh giá: tương ứng với giới hạn cảnh báo và giới hạn can thiệp. Kết quả trên cho thấy, khi ô tô đi trên đường xấu (D-E), với mỗi giá trị vận tốc khảo sát, khi C_2 tăng dần, gia tốc dao động thẳng đứng cực đại cũng tăng dần. Chính vì thế, trong thiết kế để cải thiện độ an toàn cho hàng hóa, nên giảm độ cứng C_2 của hệ thống treo sau.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học khi xe chuyển làn đơn và sử dụng phần mềm Matlab – Simulink tiến hành mô phỏng quá trình chuyển làn đơn của. Tiến hành thay đổi các thông số đầu vào là các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình chuyển động, ta có được các kết quả là các thông số đầu ra. Với loại đường có một hệ số bám nhất định khi cho xe tiến hành khảo sát chuyển động với các vận tốc, góc đánh lái và thời gian đánh lái khác

nhau đã đánh giá được quỹ đạo và khả năng chuyển động của xe để từ đó đưa ra được các biện pháp khắc phục nhằm giảm tình trạng mất lái, mất ổn định khi xe chuyển động trong quá trình chuyển làn.❖

Ngày nhận bài: **15/3/2024**
Ngày phản biện: **17/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, 2007; *Lý thuyết ô tô máy kéo*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

[2]. Lưu Văn Tuấn, 2019; *Lý thuyết ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[3]. Nguyễn Trọng Hoan, 2019; *Thiết kế tính toán ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[4]. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Hoàng Đàm Phúc 2019; *Động lực học ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[5]. Lâm Thanh Chương, 2024; *Nghiên cứu khảo sát dao động xe điện cỡ nhỏ*. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội.

XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH QUAN HỆ GIỮA CÁC THÔNG SỐ GIA CÔNG VỚI ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI GIA CÔNG BÁNH RĂNG CÔN RĂNG THẲNG TRÊN MÁY PHAY CNC 3 TRỤC

BUILDING A CORRELATION EQUATION BETWEEN MACHINING PARAMETERS WITH SURFACE ROUGHNESS WHEN MACHINING THE STRAIGHT BEVEL GEAR ON 3-AXIS CNC MILLING MACHINE

Nguyễn Hồng Lĩnh
Khoa Cơ khí và Động lực, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, phương pháp thực nghiệm được sử dụng để xây dựng phương trình quan hệ giữa các thông số công nghệ (tốc độ quay trục chính, vận tốc tiến dao và chiều sâu cắt dọc) với độ nhám bề mặt khi gia công bánh răng côn răng thẳng Z18m5 trên máy phay CNC 3 trục. Phương pháp ma trận trực giao được áp dụng để thiết kế bảng ma trận thực nghiệm Taguchi L32 và mô hình đáp ứng bề mặt (RSM) được sử dụng để xây dựng phương trình quan hệ. Từ phương trình tường minh đã thu được, các thông số công nghệ được lựa chọn phù hợp khi gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục có thể.

Từ khóa: *Tối ưu hóa; Độ nhám bề mặt; Bánh răng côn răng thẳng.*

ABSTRACT

In this paper, an experimental method was used to build the correlation equation between technology parameters (spindle speed, feed, deep of cut) with surface roughness when machining the straight bevel gears Z18m5 on a 3 axis CNC milling machine. The orthogonal matrix method was applied to design the Taguchi L32 experimental matrix table and the response surface methodology (RSM) was used to build the correlation equation. From the obtained explicit equation, the technological parameters were predicted appropriately when machining the straight bevel gear on 3-axis CNC milling machine.

Keywords: *Optimization; Surface roughness; Straight bevel gear.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

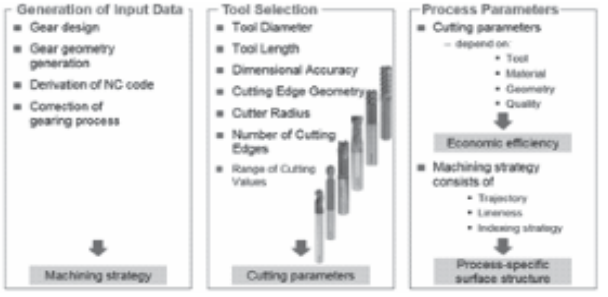
Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ gia công kỹ thuật số đã cho phép chúng ta có thể gia công nhiều bề mặt phức tạp trên các máy phay CNC. Sử dụng máy phay CNC để gia công các bề mặt bánh răng côn răng thẳng có thể hạn chế sự phụ thuộc vào dụng cụ cắt răng, máy gia công răng chuyên dùng,… của các phương pháp gia công răng truyền thống [1÷3]. Tuy nhiên, phương pháp gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC đang tồn tại một số nhược điểm như khó kiểm soát chất lượng bề mặt gia công và thời gian gia công lớn. Để xử lý vấn đề trên, chúng ta cần thiết lập được chế độ gia công hợp lý cho máy phay CNC.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Phương pháp gia công bánh răng trên máy phay CNC

Theo tiêu chuẩn DIN 8589-3 thì quy trình chế tạo bánh răng trên máy CNC về cơ bản là tương đương với tổng hợp của hai quy trình [4]:

➢ Chế tạo khuôn mẫu: Tương đồng về vật liệu, độ cứng, cấp chính xác gia công.
➢ Chế tạo cánh quạt: Tương đồng về hình dáng hình học.



Hình 1. Quy trình gia công bánh răng trên máy phay CNC

2.2. Thiết bị, dụng cụ và đối tượng gia công

Trong nghiên cứu này, máy gia công được sử dụng để thực hiện cho tất cả các thí nghiệm là máy phay CNC 3 trục SUPER TORNADO HCMC-11000 của hãng Harford, tại Công ty Cổ phần Cơ khí Hồng Lĩnh. Thiết bị đo độ nhám bề mặt là máy Surftest SJ-301 của hãng Mitutoyo, tại phòng đo lường trực thuộc Công ty Z117 - Bộ Quốc phòng. Đối tượng gia công là bộ bánh răng côn răng thẳng Z18 – Z18 m5 vật liệu thép C45, dụng cụ gia công là dao phay R2 GSBNH202003506 của hãng NACHI Nhật Bản.

Hình 2. Máy gia công và máy đo độ nhám bề mặt.

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Với chế độ gia công (hướng chéo profile, chiều sâu cắt không đổi, chế độ cắt thuận) và khuyến cáo của các nhà sản xuất máy phay và dụng cụ cắt, miền nghiên cứu và cấp độ thực nghiệm của các thông số công nghệ được lựa chọn như trong bảng 1. ☞

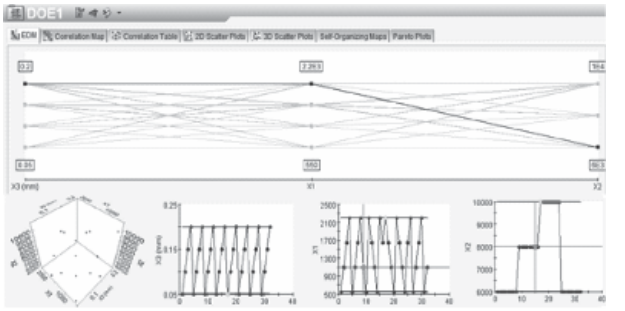
Bảng 1. Các yếu tố đầu vào.

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Cấp độ			
				1	2	3	4
1	Chiều sâu cắt dọc	ap	mm	0,05	0,1	0,15	0,2
2	Vận tốc tiến dao	F	mm/phút	550	1100	1650	2200
3	Tốc độ quay trục chính	S	Vòng/phút	6000	8000	10000	-

Để hạn chế số lượng thí nghiệm trong khi vẫn đảm bảo được mức thông tin phản hồi mà không làm mất tính tổng quan của kết quả, tác giả sử dụng phương pháp quy hoạch ma trận trực giao để thiết kế thí nghiệm. Khi đó, hạng của ma trận được xác định bởi công thức (Trong đó: k là số biến đầu vào):

$$n > \frac{(k+1).(k+2)}{2} = \frac{4.5}{2} = 10 \qquad (1)$$

Với n > 10, tác giả lựa chọn ma trận làm thí nghiệm là ma trận Taguchi L32 với quan hệ các biến như trên hình 2 (Trong đó: X1 là chiều sâu cắt dọc, X2 là vận tốc tiến dao và X3 là tốc độ quay trục chính).



Hình 3. Quan hệ các biến đầu vào.

Từ mối quan hệ thực nghiệm đã được xây dựng, tiến hành gia công ở các chế độ được thiết lập, đo kiểm độ nhám bề mặt và thu được ma trận thực nghiệm như trong bảng 2 (Để đảm bảo độ chính xác của kết quả thử nghiệm, mỗi một thử nghiệm sẽ được thực hiện lặp lại ba lần và lấy giá trị trung bình của ba lần đo).

Bảng 2. Ma trận thực nghiệm

Counter	Input			Output	Counter	Input			Output
	ap (mm)	F (mm/p)	S (v/p)	Ra (mm)		ap (mm)	F (mm/p)	S (v/p)	Ra (mm)
DOE 1	0,05	550	6000	0,39	DOE 17	0,05	2200	10000	0,52
DOE 2	0,10	1100	6000	0,82	DOE 18	0,10	1650	10000	0,97
DOE 3	0,15	1650	6000	1,68	DOE 19	0,15	1100	10000	0,92
DOE 4	0,20	2200	6000	2,71	DOE 20	0,20	550	10000	0,83
DOE 5	0,05	550	6000	0,31	DOE 21	0,05	2200	10000	0,53
DOE 6	0,10	1100	6000	0,85	DOE 22	0,10	1650	10000	0,88
DOE 7	0,15	1650	6000	1,91	DOE 23	0,15	1100	10000	0,85
DOE 8	0,20	2200	6000	2,88	DOE 24	0,20	550	10000	0,81
DOE 9	0,05	1100	8000	0,38	DOE 25	0,05	1650	6000	0,98

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

DOE 10	0,10	550	8000	0,46	DOE 26	0,10	2200	6000	1,47
DOE 11	0,15	2200	8000	1,89	DOE 27	0,15	550	6000	0,75
DOE 12	0,20	1650	8000	2,01	DOE 28	0,20	1100	6000	1,52
DOE 13	0,05	1100	8000	0,31	DOE 29	0,05	1650	6000	0,55
DOE 14	0,10	550	8000	0,42	DOE 30	0,10	2200	6000	1,38
DOE 15	0,15	2200	8000	2,11	DOE 31	0,15	550	6000	0,73
DOE 16	0,20	1650	8000	2,01	DOE 32	0,20	1100	6000	1,55

3. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY

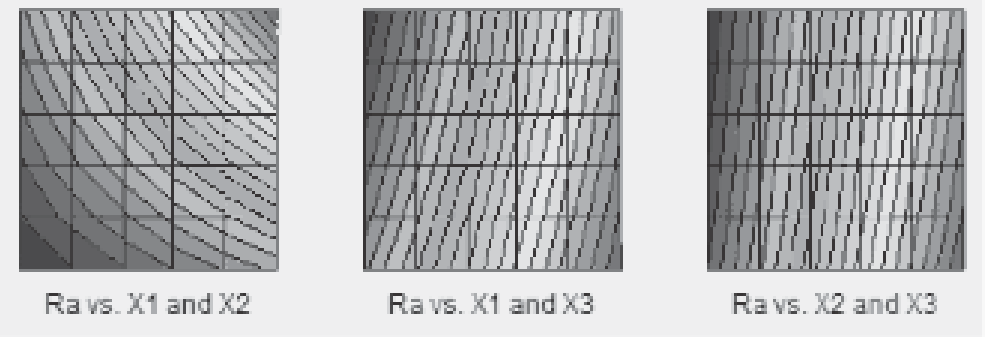
Sử dụng phần mềm SIMULIA ISIGHT [5] để xử lý dữ liệu 32 điểm thí nghiệm trong bảng 2 với mô hình đáp ứng bề mặt bậc 2, ta có phương trình quan hệ giữa các thông số công nghệ gia công (ap, F, S) với độ bóng bề mặt (Ra) như sau:

$$Ra = 0{,}7247 - 0{,}2055.X_1 + 0{,}0002.X_2 - 0{,}0001.X_3 + 2{,}500.X_1^2 + 5{,}6349.10^{-24}.X_2^2 + 3{,}6328.10^{-9}.X_3^2 + 0{,}0052.X_1.X_2 + 0{,}0001.X_1.X_3 - 1.7218.10^{-8}.X_3.X_2 \quad (2)$$

Độ tin cậy của phương trình hồi quy (2) được kiểm nghiệm thông qua các tiêu chí như trong bảng 3.

Bảng 3. Hệ số đánh giá độ tin cậy mô hình.

TT	Thông số đánh giá	Giá trị cho phép	Chỉ số phương trình	Kết quả
1	Sai số tuyệt đối trung bình	≤ 0,2	0,04	Đạt
2	Sai số cực đại	≤ 0,3	0,15	Đạt
3	Sai số căn bậc 2 trung bình	≤ 0,2	0,05	Đạt
4	Hệ số xác định	≥ 0,9	0,96	Đạt



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa thông số

Sử dụng phương trình hồi quy (2) để dự đoán độ nhám bề mặt ở chế độ chế độ gia công (S = 8500 v/p, F = 700 mm/p và ap = 0.1 mm) cho ta kết quả Ra = 0.4664 μm. Để đánh giá độ tin cậy của của kết quả, tác giả đã tiến hành gia công thử theo bộ thông số đã được gợi ý và thu được kết quả thực sai lệch với thông số tính toán là 4.66%. Sai số này là sai số chấp nhận được.

4. KẾT LUẬN

Với kết quả đã đạt được, chúng ta có thể khẳng định việc gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục để thay thế cho các phương pháp gia công truyền thống là khả thi. Ngoài ra, chúng ta có thể sử dụng kết quả nghiên cứu để dự đoán độ nhám bề mặt hoặc lựa chọn chế độ gia công khi gia công phù hợp khi gia công bánh răng côn răng thẳng Z18m5 trên máy phay CNC 3 trục. ❖

Ngày nhận bài: **17/4/2024**
Ngày phản biện: **27/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Kazumasa Kawasaki, Kazuyoshi Shinma, *Accuracy measurement and evaluation of straight bevel gear manufactured by end mill using CNC milling machine* (2009), ASME J. Manuf.

[2]. Cihan Ozel, Ali Nan, Latif Ozler, *An investigation on manufacturing of the straight bevel gear using end mill by CNC milling machine* (2005), ASME 127 503-511, Journal of Manufacturing Science and Engineering.

[3]. Fador L.Litvin, Alfonso Fuentes, *Gear geometry and applied theory* (2004), Cambridge University Press.

[4]. F. Klocke, M. Brumm, J. Staudt, *Quality and surface of gears manufactured by free form milling with standard tools* (2014), International Gear Conference, Lyon – France.

[5]. Rajashekar Reddy Kallem, *FEA analysis and automated design optimization using SIMULIA Abaqus and Isight* (2010), California State University, Sacramento.

MỘT NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ARDUINO VÀ LOADCELL TRONG ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC LỰC CỦA MÁY ÉP TRỤC ĐỨNG

A STUDY ON ARDUINO CIRCUIT AND LOADCELL APPLICATION IN FORCE CONTROL OF VERTICALLY HYDRAULIC PRESS

Đỗ Viết Long, Hoàng Anh Trường, Trương Văn Thuận*
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một giải pháp điều khiển chính xác lực cho máy ép thủy lực 20 tấn. Cấu hình máy bao gồm hai phần: Máy ép thủy lực 4 trụ 20 tấn và bộ điều khiển van phân phối bằng mạch Arduino. Đầu xy-lanh được tích hợp cảm biến lực loadcell báo tín hiệu phản hồi liên tục, nhờ đó bộ điều khiển xử lý vận hành van phân phối. Nghiên cứu được thực hiện bằng tính toán mô phỏng số. Kết quả cho thấy cụm cảm biến loadcell và mạch Arduino đáp ứng tốt với yêu cầu đặt ra và có thể là giải pháp hữu dụng trong các hệ thống cần giám sát lực.

Từ khóa: *Máy ép thủy lực; Arduino và loadcell; Điều khiển lực.*

ABSTRACT

The paper offers a solution to accurately control force for a 20-ton hydraulic press. The machine configuration includes two parts: 4-pillar 20-ton hydraulic press and directional valve controller using Arduino circuit. The cylinder rod is integrated with a load cell force sensor that provides continuous feedback signals, then the controller operates the directional valve. The research was carried out using numerical simulation calculations. The results show that the combination of load cell and Arduino circuit meets the requirements well and can be a useful solution in systems that need to monitor force.

Keywords: *Hydraulic press; Arduino and Loadcell; Force control.*

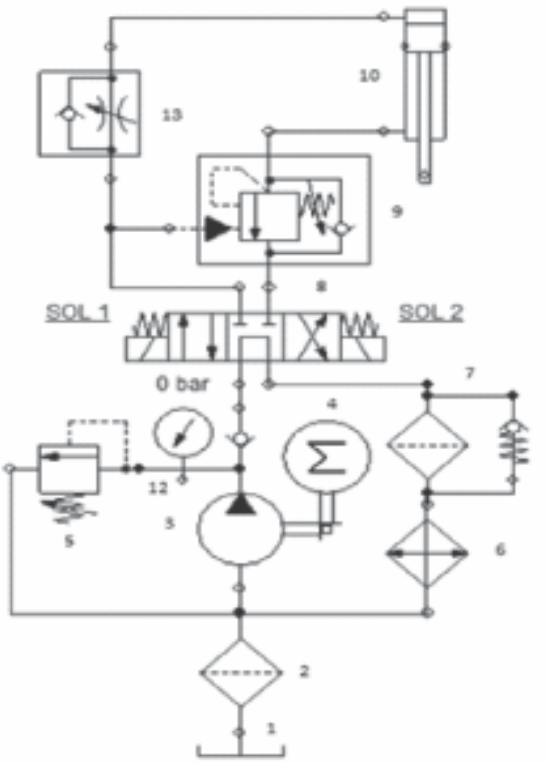
1. GIỚI THIỆU

Máy ép thủy lực là một thiết bị được sử dụng rộng rãi và quan trọng trong nhiều lĩnh vực của công nghiệp đời sống, đặc biệt trong ngành công nghiệp chế tạo để thực hiện các công đoạn lắp ráp, rèn, dập tấm, chuốt ép và hàng loạt các công việc gia công khác… Trước đây, việc điều khiển lực thường được thực hiện thông qua các hệ thống tích hợp cồng kềnh, không đảm bảo độ chính xác cao, khó trong việc điều chỉnh và theo dõi. Việc giám sát lực thông qua cảm biến áp suất dầu cũng gặp nhiều nhiễu dẫn đến sai số do đặc tính đàn hồi của dầu [1, 2]. Đối với những thiết bị đòi hỏi chính xác về lực thì loadcell đang ngày một sử dụng rộng rãi. Việc tích hợp loadcell và một bộ Arduino vào bàn ép thủy lực nhằm giải quyết những khuyết điểm trên. Arduino cung cấp một nền tảng linh hoạt và dễ dàng lập trình, trong khi loadcell là một cảm biến lực có khả năng đo lực chính xác. Sự kết hợp hai ưu điểm nổi bật này có thể cung cấp một hệ thống điều khiển lực hiệu quả và dễ dàng tích hợp vào quy trình sản xuất công nghiệp.

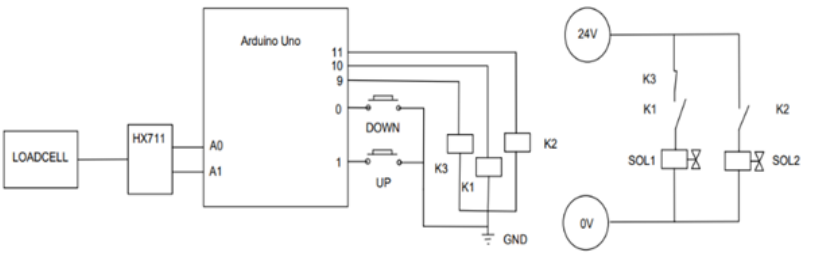
Nghiên cứu này khảo sát tính toán một cấu hình máy ép thủy lực tiêu biểu (Hình 1) với cần xy-lanh gắn bàn ép được tích hợp loadcell. Tín hiệu cảm biến được truyền liên tục để cụm Arduino xử lý và đưa ra tín hiệu điều khiển van phân phối. Quá trình này được tiến hành trong môi trường mô phỏng số.

2. CẤU HÌNH VÀ THÔNG SỐ HỆ THỐNG

Hình 1 là sơ đồ nguyên lý của hệ thống điều khiển thủy lực điển hình [3] máy ép đứng với các bộ phận chính sau: (1) Bể dầu, (2) Lọc dầu thô, (3) Bơm thủy lực, (4) Động cơ, (5) Van an toàn, (6) Bộ làm mát, (7) Bộ lọc dầu, (8) Van phân phối, (9) Van cân bằng, (10) Xy-lanh thủy lực, (11) Van một chiều, (12) Đồng hồ áp suất, (13) Van tiết lưu. Mạch thủy lực này được vận hành qua cụm điều khiển điện từ mô tả ở Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ mạch điều khiển thủy lực máy ép



Hình 2. Sơ đồ mạch điều khiển Arduino

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Thông số làm việc của mạch điều khiển thủy lực được thể hiện ở Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Thông số chính của hệ thống thủy lực

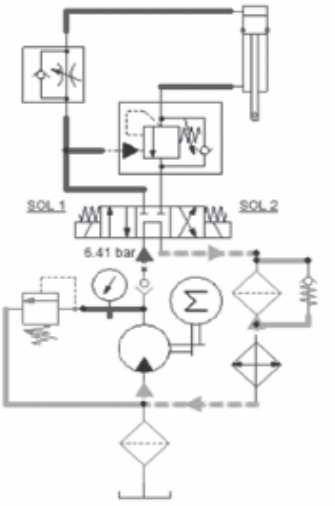
Thông số hệ thống	Giá trị
Lực ép F (tấn)	20
Lưu riêng bơm, q_b (cm^3/vg)	13,44
Công suất động cơ điện, $N_{đc}$ (kW)	7,5
Áp suất nguồn làm việc P_{lv} (bar)	180
Đường kính ngoài xy-lanh (mm)	150
Đường kính trong xy-lanh (mm)	125
Đường kính cần pít-tông, d (mm)	70
Hành trình xy-lanh, L (mm)	400
Lực để Arduino ngắt van phân phối (tấn)	20

Hình 3 mô tả thuật toán điều khiển chuyển vị của xy-lanh khi ép. Trong quá trình làm việc, tín hiệu từ loadcell được liên tục truyền về bộ điều khiển và giám sát. Khi đạt lực đặt trước, bộ điều khiển sẽ đưa tín hiệu thay đổi trạng thái của van phân phối, dẫn tới thay đổi trạng thái của cơ cấu chấp hành.

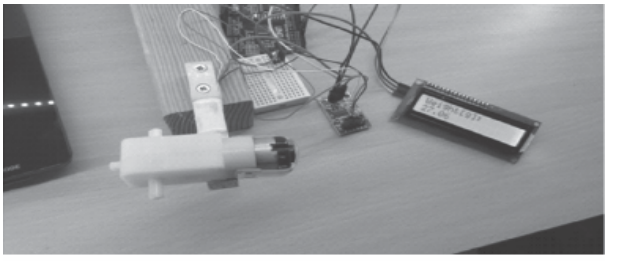
Hình 3. Sơ đồ thuật toán điều khiển

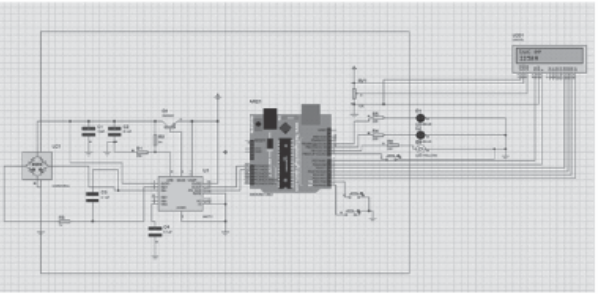
3. MÔ HÌNH HÓA, MÔ PHỎNG, THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Trên cơ sở mạch điều khiển thủy lực đề xuất, hệ thống được mô hình hóa trong môi trường mô phỏng Automation Studio [5] như Hình 4. Bộ công cụ này cho phép tính toán mô phỏng các đặc tính thủy khí như áp suất, lưu lượng, vận tốc,... cũng như kiểm tra tính logic của hệ truyền động, cách mà hệ thống sẽ hoạt động trong điều kiện thực tế. Nhờ đó, quá trình khảo sát được nhanh và tiết kiệm chi phí rất nhiều so với thực nghiệm hoàn toàn. Hình 5 thể hiện mạch điều khiển Arduino giả lập [6], với tín hiệu điều khiển van được thay bằng tín hiệu đèn báo nhằm thể hiện tường minh tính đúng đắn logic của chương trình điều khiển.



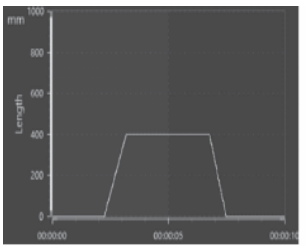
Hình 4. Mạch điều khiển thủy lực được mô hình hóa



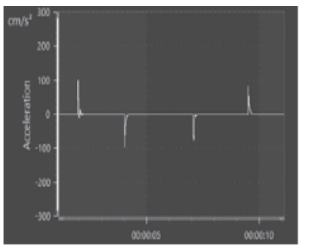


Hình 5. Mô hình mạch Arduino kết nối loadcell

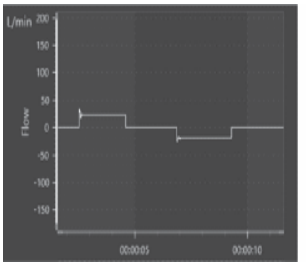
Hình 6 trình bày kết quả thu được từ khảo sát mạch điều khiển thủy khí.



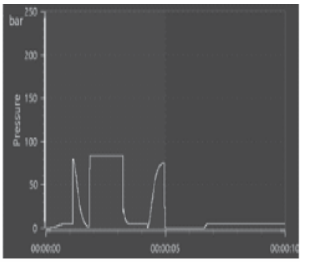
Chuyển vị của xy-lanh



Gia tốc của xy-lanh



Lưu lượng của xy-lanh



Áp suất của xy-lanh

Hình 6. Mô phỏng và đồ thị các thông số của xy-lanh khi hoạt động theo thời gian

Mô phỏng trong Automation Studio cho phép quan sát trực quan hệ thống hoạt động đúng nguyên lý yêu cầu. Trong quá trình khảo sát, chương trình liên tục tính toán các thông số như áp suất, lưu lượng, tốc độ và các đại lượng khác của hệ thống. Điều này cho phép đánh giá hiệu suất của hệ thống dưới nhiều điều kiện khác nhau và tinh chỉnh các thông số để đảm bảo rằng chúng đáp ứng được các tiêu chuẩn về hiệu suất và an toàn. Tương tự với mạch Arduino, chương trình bằng ngôn ngữ lập trình C/C++ trong phần mềm Arduino IDE được mô phỏng với công cụ Proteus [6]. Trong đó, lực đặt được hiển thị qua màn Led và đèn sáng giả lập cho tín hiệu điều khiển van phân phối. Kết quả của chương trình Arduino thể hiện ở bảng 2, qua đó có thể thấy mạch Arduino điều khiển chính xác yêu cầu logic đề ra của hệ thống.

Bảng 2. Bảng logic hoạt động

Nút bấm / Đèn LED	Chân số 0	Chân số 1	Chân số 8	Khi ≥ F_{yc}
Chân số 9	0	0	0	1
Chân số 10	1	0	0	0
Chân số 11	0	1	0	0

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một hướng tiếp cận điều khiển chính xác lực được đề xuất cho máy ép 20 tấn. Thay vì sử dụng cảm biến áp suất dầu thì loadcell và mạch Arduino được ứng dụng. Kết quả thu được qua mô phỏng số chỉ ra rằng đây có thể được xem là giải pháp hữu hiệu cho bài toán điều khiển lực của hệ truyền động thủy khí. Đó là tiền đề để thực hiện những nghiên cứu thực nghiệm sâu hơn với những hệ thống công nghiệp liên quan.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2024**
Ngày phản biện: **07/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Phạm Trọng Hòa, Jürgen Webwer; *Cơ sở truyền động và điều khiển thủy lực.*
[2]. GS,TSKH. Vũ Duy Quang, PGS,TS. Phạm Đức Nhuận; *Giáo trình Kỹ thuật thủy khí*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
[3]. TS. Phạm Văn Khảo; *Tính toán tĩnh các hệ truyền động thủy lực thể tích.*
[4]. Automation Studio 7.0 Professional, famic technologies.
[5]. Arduino IDE, Arduino LLC.
[6]. Proteus, Labcenter Electronics Ltd.

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH PHAY THÉP CT3 CÓ SỰ HỖ TRỢ CỦA RUNG SIÊU ÂM

STUDY OF CT3 STEEL MILLING PROCESS WITH THE SUPPORT OF ULTRASONIC VIBRATION

Nguyễn Văn Trúc
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Bài báo này tập trung vào thực nghiệm và phân tích xử lý số liệu từ ảnh hưởng của các thông số vận tốc cắt của hai phương án thường và phay có hỗ trợ của rung siêu âm. Ta thấy phương pháp phay có hỗ trợ của rung siêu âm có độ bóng cao hơn, chất lượng bề mặt tốt hơn. Khi thay đổi tốc độ vòng quay tăng lên từ 1000-1300 (vòng/phút) thì độ nhám bề mặt Ra giảm từ 1,551-1,118 µm ở phay thường và phay có hỗ trợ của rung siêu âm giảm từ 0,542-0,236 µm cho thấy khi càng tăng tốc độ vòng quay thì độ nhám bề mặt được cải thiện hơn ở cả hai phương pháp gia công. Bên cạnh đó, chiều sâu cắt giảm từ 0,5-0,1 mm thì độ nhám bề mặt cũng được cải thiện.

Từ khóa: *Rung siêu âm; Phay siêu âm; Gia công phay; Thép CT3; Hỗ trợ rung.*

ABSTRACT

This article focuses on experiments and analysis of data processing from the influence of cutting speed parameters of two methods: conventional and ultrasonic vibration-assisted milling. We see that the assisted milling method is Ultrasonic vibration has higher gloss and better surface quality. When changing the rotation speed from 1000-1300 (rpm), the surface roughness Ra decreases from 1.551-1.118 µm in normal milling and ultrasonic vibration-assisted milling decreases from 0.542-0.236 µm, showing that As the rotation speed increases, the surface roughness is improved in both machining methods. Besides, the cutting depth is reduced from 0.5-0.1 mm, the surface roughness is also improved.

Keywords: *Ultrasonic vibration; Ultrasonic milling; Milling processing; CT3 steel; Vibration support.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép CT3 là thép cacbon có hàm lượng thấp, thường từ 0,14-0,22%. CT là ký hiệu thể hiện hàm lượng C < 0,25%. Ngoài ra, một số thành phần khác trong mác thép CT3 gồm Mangan: 0,4-0,6%; Silic: 0,12-0,3%; Lưu huỳnh: ≤ 0,05%; Phốt pho: ≤ 0,04%. Các hàm lượng nguyên tố hóa học này sẽ ảnh hưởng đến đặc tính của thép CT3. Khối lượng riêng của thép CT3 khoảng 7,85 g/cm^3 [2].

Việc thực nghiệm gia công có hỗ trợ của rung siêu âm nhằm đánh giá phân tích, xử lý số liệu đưa ra ảnh hưởng của các thông số trong quá trình gia công, từ đó so sánh hai phương án phay thường và phay có hỗ trợ của rung siêu âm.

2. CHUẨN BỊ THỰC NGHIỆM

Quá trình thực nghiệm để đánh giá chất lượng bề mặt khi gia công phay thường và phay có sự hỗ trợ của rung siêu âm.

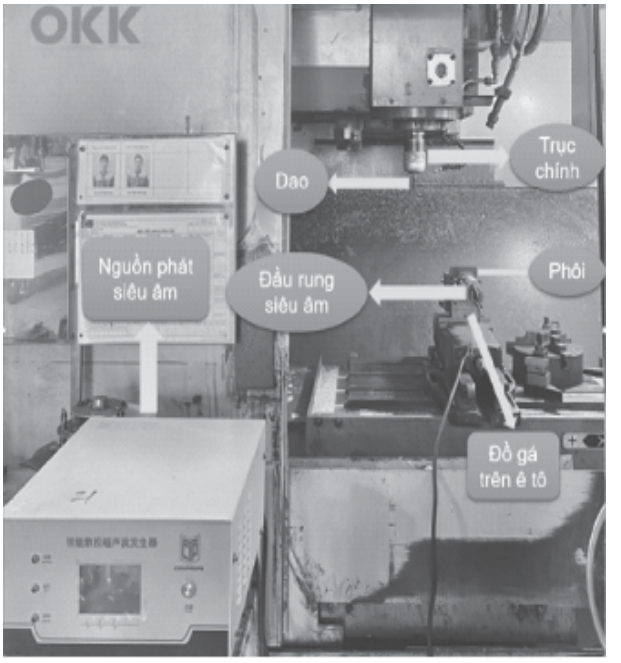
- Máy phay CNC;

- Hệ thống siêu âm: Đầu phát sóng siêu âm. Thông số kỹ thuật: Công suất 60W; Tần số phát sóng siêu âm 20kHz; Trọng lượng 1k;

- Chi tiết gia công: Phôi có kích thước 80mm x 80mm x 15mm;

- Dụng cụ cắt: Đường kính dao 12mm; Chiều dài lưỡi cắt 45mm; Tổng chiều dài 100mm; Góc xoắn dao 35 độ; Số lưỡi cắt là 4 me; Lớp phủ UNICO COATING có khả năng chịu nhiệt tốt, phù hợp gia công các loại vật liệu thép, gang xám có độ cứng từ 30 đến 55 HRC, [3].

3. TIẾN HÀNH THỰC NGHIỆM



Hình 1. Tiến hành thực nghiệm

Sau khi lắp đặt xong, tiến hành thực nghiệm với số lượng 14 phôi, mỗi phôi sẽ gia công gồm có bốn mặt. Tổng số lần thực nghiệm sẽ là 64 lần gia công (28 lần gia công có hỗ trợ của rung siêu âm và 28 lần gia công không có hỗ trợ của rung siêu âm để so sánh với cùng chế độ gia công. Thực nghiệm với phôi thứ nhất mặt đầu tiên cho trục chính quay với tốc độ 1000 vòng/phút, bước tiến dao là 0,3 mm/răng, và chiều sâu cắt là 0,1 mm, sử dụng dao phay ngón 4 me Ø12, thông số này được thay đổi liên tục dưới bảng sau để áp dụng với hai quá trình phay có hỗ trợ của rung siêu âm và phay không có hỗ trợ của rung siêu âm. Các thông số gia công được thể hiện ở bảng dưới đây:

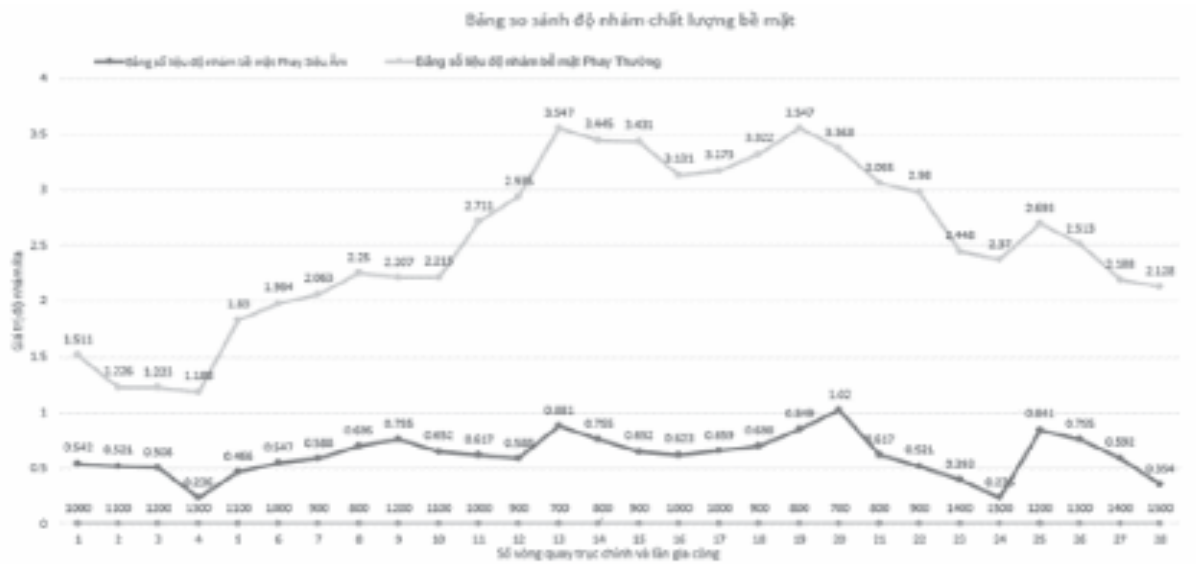
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm

Mặt phôi tương ứng	Chế độ GC / Số lần	Phay thường Ra	Phay siêu âm Ra	Mặt phôi tương ứng	Chế độ GC / Số lần	Phay thường Ra	Phay siêu âm Ra
P1, M1	1	1,551	0,542	P4, M3	15	3,431	0,652
P1, M2	2	1,226	0,521	P4, M4	16	3,131	0,623
P1, M3	3	1,223	0,508	P5, M1	17	3,173	0,659
P1, M4	4	1,188	0,236	P5, M2	18	3,322	0,698
P2, M1	5	1,830	0,466	P5, M3	19	3,547	0,849
P2, M2	6	1,984	0,547	P5, M4	20	3,368	1,020
P2, M3	7	2,063	0,588	P6, M1	21	3,055	0,617
P2, M4	8	2,250	0,659	P6, M2	22	2,980	0,521
P3, M1	9	2,207	0,755	P6, M3	23	2,448	0,393
P3, M2	10	2,215	0,652	P6, M4	24	2,370	0,236
P3, M3	11	2,711	0,617	P7, M1	25	2,693	0,841
P3, M4	12	2,935	0,588	P7, M2	26	2,513	0,755
P4, M1	13	3,547	0,881	P7, M3	27	2,188	0,592
P4, M2	14	3,445	0,755	P7, M4	28	2,128	0,354

P là Phôi; M là mặt.

4. XỬ LÝ SỐ LIỆU



Hình 2. Đồ thị so sánh giá trị độ nhám

Từ đồ thị so sánh giá trị độ nhám, ta nhận thấy khi gia công có hỗ trợ của rung siêu âm, chất lượng độ nhám Ra được cải thiện rõ rệt. Tất cả các giá trị độ nhám ở bảng và đồ thị của gia công có hỗ trợ của rung siêu âm đều nhỏ hơn giá trị độ nhám của gia công không có hỗ trợ của rung siêu âm ở cùng điều kiện gia công. Ngoài ra, khi cố định bước tiến dao và chiều sâu cắt, số vòng quay tăng lên thì độ nhám bề mặt cũng được cải thiện tức là giá trị độ nhám giảm dần, tương tự đối với giảm chiều sâu cắt giá trị độ nhám cũng giảm, và giảm bước tiến dao giá trị độ nhám cũng giảm dần, điều này cũng phù hợp với lý thuyết nhám bề mặt [1] và phù hợp với các công trình nghiên cứu đã công bố trước đây.

5. KẾT LUẬN

- Đã nghiên cứu tổng quan gia công siêu âm và phay có hỗ trợ của rung siêu âm, cơ sở lý thuyết quá trình phay có hỗ trợ rung siêu âm, các ảnh hưởng cũng như ưu, nhược điểm của nó.

- Ứng dụng gia công phay có hỗ trợ của rung siêu âm trên chi tiết phôi thép CT3 để đánh giá chất lượng bề mặt và phân tích, xử lý số liệu từ kết quả thực nghiệm.

- Thực hiện đo độ nhám bề mặt của các chi tiết gia công, từ đó xác định được nhám bề mặt Ra tốt tối ưu nhất khi đạt được giá trị 0,236 µm khi tốc độ vòng quay là 1500 vòng/phút, bước tiến là 0,2mm/răng và chiều sâu cắt là 0,1mm.❖

Ngày nhận bài: **18/3/2024**
Ngày phản biện: **22/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. GS,TS. Nguyễn Đắc Lộc, PGS,TS. Lê Văn Tiến, PGS,TS. Ninh Đức Tốn, PGS,TS. Trần Xuân Việt; "*Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập 2*", NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2005, Hà Nội.

[2]. Xuetao Wei, Caixu Yue, Desheng Hu, Xianli Liu, Yunpeng Ding & Steven Y. Liang, "*Research on Surface Roughness of Supersonic Vibration Auxiliary Side Milling for Titanium Alloy*", Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2020 DOI: 10.1186/s10033-022-00770-9.

[3]. Fuda Ning, Weilong Cong, "*Ultrasonic vibration-assisted (UV-A) manufacturing processes: State of the art and future perspectives*", Journal of Manufacturing Processes, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.01.028.

NGHIÊN CỨU TRIỂN KHAI TỰ ĐỘNG HÓA CHI PHÍ THẤP CHO DOANH NGHIỆP SẢN XUẤT NỘI THẤT

A CASE STUDY OF LOW COST AUTOMATION APPLICATION FOR A FURNITURE COMPANY

Ngô Ngọc Lân, Phạm Văn Dũng, Trần Văn Thắng
Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Việc kiểm soát, giám sát các quá trình sản xuất và dịch vụ bằng công nghệ được gọi là tự động hóa. Ngày nay, do thị trường cạnh tranh khốc liệt nên mỗi một doanh nghiệp muốn tồn tại được thì đều cần phải tự động hóa. Việc tự động hóa thường cần rất nhiều tiền đầu tư. Do vậy, các doanh nghiệp nhỏ và vừa sẽ không đủ tiềm lực về tài chính để thực hiện. Chúng tôi đã nghiên cứu khái niệm Tự động hóa chi phí thấp (TĐHCPT), hiện khá phổ biến trên thế giới cùng với những điều kiện đặc thù của Việt Nam để áp dụng cho các doanh nghiệp cỡ nhỏ và vừa. Một đặc trưng cơ bản của TĐHCPT là đạt được mục tiêu tối đa với chi phí tối thiểu bằng cách sử dụng nguồn tài nguyên sẵn có (con người, máy móc, thiết bị). Trong bài báo này, chúng tôi sẽ giới thiệu vắn tắt về TĐHCPT. Sau đó, các kết quả nghiên cứu thực nghiệm và những bài học rút ra cũng được công bố sau khi đã áp dụng TĐHCPT cho một doanh nghiệp cỡ vừa chuyên sản xuất nội thất.

Từ khóa: *Tự động hóa chi phí thấp; Doanh nghiệp vừa và nhỏ; CAD (Computer Aided Design); CNC (Computer Numeric Control).*

ABSTRACT

The control, monitoring of production and service processes using technologies is called automation. Today, due to competitive market, every business that wants to survive needs to be automated. Automation often requires a lot of capital investment. Therefore, small and medium-sized enterprises will not have enough financial potential to implement. We have researched the concept of Low Cost Automation (LCA), which is currently quite popular in the world along with the specific conditions of Vietnam to apply to small and medium-sized enterprises. A basic concept of LCA is to achieve maximum goals with minimum costs by using available resources (people, machineries & equipment). In this article, we will briefly introduce LCA. After that, the results of A case study and lessons learned were also published after applying LCA to a medium-sized company specializing in furniture production.

Keywords: *Low Cost Automation (LCA); Small & medium-sized enterprises; CAD (Computer Aided Design); CNC (Computer Numeric Control).*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tự động hóa là tập hợp nhiều công nghệ dẫn đến sự hoạt động của máy móc và hệ thống mà không cần sự can thiệp đáng kể của con người, để đạt được năng suất và chất lượng vượt trội so với vận hành thủ công. Mặc dù, bất kỳ ai cũng đều thấy rõ các ưu điểm của tự động hóa nhưng không phải doanh nghiệp nào cũng có thể triển khai, chủ yếu do các khó khăn về tài chính. Do đó, tự động hóa chi phí thấp (TĐHCPT), như tên của nó đã thể hiện, có thể là một giải pháp khả thi. Tùy theo từng trường hợp cụ thể, nhưng đại đa số phụ tùng từ các máy móc, thiết bị cũ sẽ được kiểm tra và tái sử dụng lại. Khi phải trang bị thêm thiết bị mới, hướng ưu tiên số một là sử dụng các phụ tùng, vật tư tiêu chuẩn có sẵn trên thị trường để giảm chi phí và thời gian cung cấp. Ví dụ như: Các thiết bị khí nén (piston, xy-lanh, van điện từ và van hơi tiêu chuẩn) và các thiết bị điện, điện tử (bộ điều khiển khả trình PLC, các relay, contactors…).

Với cách làm như vậy, việc áp dụng TĐHCPT có thể giúp các doanh nghiệp cỡ vừa và nhỏ giải quyết được bài toán khó, đó là: Tăng tính cạnh tranh của doanh nghiệp bằng cách tăng năng suất và chất lượng của sản phẩm với khả năng tài chính hạn hẹp của mình [2].

2. KHÁI NIỆM VỀ TỰ ĐỘNG HÓA CHI PHÍ THẤP

Giải pháp công nghệ tạo ra một mức độ tự động hóa cao nhất có thể với các tài nguyên sẵn có trong tổ chức (thiết bị, công cụ, phương pháp và con người) và sử dụng đa số các thiết bị tiêu chuẩn có sẵn trên thị trường. Chi phí đầu tư thấp nhất có thể và thời gian hoàn vốn ngắn, thường là từ vài tuần đến dưới một năm, được gọi là Tự động hóa chi phí thấp [3].

2.1. Ưu điểm của tự động hóa chi phí thấp

- Không cần nhiều tiền để đầu tư;
- Năng suất lao động cải thiện đáng kể;
- Giảm chi phí nhân công trực tiếp và gián tiếp;
- Giảm thời gian sản xuất và giao hàng;
- Giảm thiểu lãng phí nguyên, nhiên vật liệu;
- Tinh thần làm việc nhóm, sự hài lòng và lòng tự trọng của công nhân được cải thiện;
- Tiếp cận từng bước nên gần như không có rủi ro;
- Thân thiện với người sử dụng;
- Chi phí đào tạo gần như bằng không;
- Tăng chất lượng sản phẩm;
- Thời gian hoàn vốn ngắn, từ vài tháng đến 1 năm.

2.2. Hạn chế của tự động hóa chi phí thấp

- Do được xây dựng đơn chiếc và cá biệt nên cần nhiều thời gian hơn để phát triển;

- Do chủ yếu dùng nguồn nhân lực sẵn có nên thời gian huấn luyện và đào tạo cũng dài hơn;

- Việc sử dụng các phần mềm phổ biến sẵn có trên thị trường sẽ khó khăn hơn các phần mềm chuyên biệt;

- Nghi ngại về khả năng thành công và thu hồi vốn đầu tư từ chủ doanh nghiệp;

- Sự không hợp tác của công nhân ở giai đoạn đầu vì họ lo sợ bị mất việc làm khi áp dụng tự động hóa.

Tuy nhiên, thực tế trong và ngoài nước đã chứng minh rằng: TĐHCPT có nhiều ưu điểm vượt trội so với những hạn chế của nó.

3. CÁC NGÀNH TIỀM NĂNG CHO VIỆC ÁP DỤNG TỰ ĐỘNG HÓA CHI PHÍ THẤP

Bất kỳ một ngành nào cũng có thể áp dụng TĐHCPT, đặc biệt là các ngành sản xuất bao gồm những công đoạn chế tác rời rạc. Ví dụ như [4]:

- Công nghiệp chế tạo máy bao gồm các quá trình từ cấp phôi, gá kẹp, chế tác, hàn, nguội, lắp ráp, bao gói,…;

- Sản xuất đồ nội thất;

- In ấn, dán nhãn bao bì và logistics;

- Trồng trọt và chăn nuôi;

- Chế biến thực phẩm với các điều kiện vệ sinh nghiêm ngặt.

4. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

Sau khi nghiên cứu, chúng tôi đã đưa ra một quy trình thực hiện TĐHCPT, gồm một số bước cơ bản sau:

4.1. Xác định các lĩnh vực và khu vực áp dụng khả thi

Mặc dù tất cả các lĩnh vực đều có thể áp dụng TĐHCPT, nhưng yếu tố hạn chế là chi phí và nguồn nhân lực có tay nghề cao để thực thi điều này. Do vậy, cần lựa chọn những lĩnh vực giúp giảm đáng kể sức lao động.

4.2. Lựa chọn mô hình

Trong nhiều trường hợp, khi một doanh nghiệp muốn áp dụng TĐHCPT, ban đầu cần phải thay đổi các quy trình hiện tại để rô-bốt/ máy móc tự động có thể thực hiện được. Do vậy, cần nghiên cứu quy trình hiện tại để đề xuất các thay đổi tương ứng trước khi bắt đầu tiến hành TĐHCPT.

4.3. Lập kế hoạch thực hiện tự động hóa

Khi bắt đầu quá trình TĐHCPT, cần phải lập kế hoạch để chuyển đổi từng bước, từ thực hiện bằng con người sang xử lý bằng máy. Giai đoạn chuyển tiếp có thể kéo dài từ vài tháng đến hàng năm, tùy theo mức độ phức tạp của quá trình.

4.4. Triển khai theo giai đoạn

Tất cả các dự án nên được thực hiện theo từng giai đoạn và sự thành công của mỗi giai đoạn mang lại niềm tin cho chủ doanh nghiệp. Đồng thời, người lao động cũng cần có thời gian để thích ứng với quy trình mới. Trước khi chuyển từ giai đoạn này sang giai đoạn khác, cần có sự phê duyệt của các bên liên quan. Ngoài ra, vấn đề thời gian tạm ngừng sản xuất để chuyển đổi cũng cần được lưu tâm.

4.5. Hoàn thiện và bàn giao

Trước khi hoàn thiện và bàn giao dự án, người thực hiện cần chuẩn bị kỹ chương trình đào tạo, huấn luyện vận hành. Sau đó, các vấn đề phát sinh trong quá trình sản xuất chưa lường trước được cần được hoàn thiện thêm. Các kỹ năng chẩn đoán và xử lý sự cố sẽ được cập nhật và đào tạo liên tục cho cán bộ kỹ thuật và công nhân vận hành dây chuyền tự động.

5. ÁP DỤNG TỰ ĐỘNG HÓA CHI PHÍ THẤP – MỘT NGHIÊN CỨU THỰC TIỄN ĐIỂN HÌNH Ở MỘT CÔNG TY SẢN XUẤT NỘI THẤT

Sau một thời gian dài nghiên cứu cả về ☞

lý thuyết và thực tiễn, nhóm tác giả đã đưa ra một quy trình tương đối hoàn thiện để áp dụng tự động hóa chi phí thấp cho các doanh nghiệp vừa và nhỏ ở Việt Nam. Do đó, đầu năm 2022, được sự trợ giúp và tin tưởng của Ban lãnh đạo Công ty cổ phần DHT chuyên sản xuất nội thất với quy mô trên 100 công nhân, dự án đã được triển khai và tiến hành theo các bước sau:

5.1. Xác định lĩnh vực, khu vực nên triển khai TĐHCPT

Công ty cổ phần DHT là một doanh nghiệp hàng đầu có truyền thống lâu năm về sản xuất đồ nội thất tại khu vực các tỉnh miền duyên hải Bắc Bộ. Mặt hàng chủ yếu của công ty là sản xuất đồ nội thất gia đình và công cộng từ ván gỗ công nghiệp gồm hai nhóm hàng chính là hàng hóa tiêu chuẩn với chất liệu, mẫu mã không đổi và hàng hóa theo đơn đặt hàng hoặc theo thiết kế với đa dạng các chất liệu và mẫu mã. Đầu năm 2022, ban giám đốc công ty đã đặt ra nhiệm vụ cho nhóm tác giả như sau:

- Giảm chi phí sản xuất nhưng không làm giảm chất lượng sản phẩm, dịch vụ;

- Rút ngắn thời gian bàn giao hàng;

- Tăng mức độ hài lòng của khách hàng;

- Cải thiện môi trường làm việc cho người lao động;

- Chi phí đầu tư hợp lý và thời gian thu hồi vốn ngắn hơn 1 năm;

- Tăng tính cạnh tranh cho doanh nghiệp.

Sau một thời gian nghiên cứu doanh nghiệp cả về quy trình quản lý và sản xuất, nhóm tác giả đã đề nghị triển khai TĐHCPT giai đoạn thứ nhất cho công đoạn thiết kế và gia công nhóm sản phẩm theo đơn đặt hàng, với lý do là lĩnh vực này hiện đang rất khan hiếm nhân công trình độ cao và chi phí của công đoạn này chiếm đến gần 50% giá thành của một sản phẩm.

5.2. Lựa chọn mô hình

5.2.1. Cách làm truyền thống của Công ty cổ phần DHT

Về công đoạn thiết kế, theo cách truyền thống luôn tồn tại hai dạng bản vẽ thiết kế cho 1 sản phẩm, đó là:

- Bản vẽ dành cho khách hàng: Gồm bản vẽ 3D dùng để diễn họa và bản vẽ 2D kèm theo kích thước tương đối để phục vụ cho bản vẽ diễn họa;

- Bản vẽ dành cho cán bộ kỹ thuật và công nhân: Thường bản vẽ này là bản vẽ 2D dùng trong nội bộ nhà máy có đầy đủ kết cấu, kích thước, vật liệu để tiến hành sản xuất. Hệ thống bản vẽ này có số lượng rất lớn, đặc biệt với các các sản phẩm phức tạp bao gồm hàng trăm chi tiết khác nhau.

Hai dạng bản vẽ nêu trên thường không (hoặc rất ít) liên hệ với nhau, đồng nghĩa với việc người thiết kế phải vẽ hai loại bản vẽ cho 1 sản phẩm với khối lượng công việc rất lớn. Điều này một mặt gây nên lãng phí về thời gian và công sức, đồng thời còn tạo ra tính không nhất quán và gây nên sai sót trong quá trình thiết kế sản phẩm.

Về công đoạn gia công sản phẩm, cán bộ kỹ thuật có trình độ cao căn cứ theo bản vẽ nội bộ sẽ bóc tách các chi tiết để chuyển xuống bộ phận cắt ra phôi, hoàn thiện cạnh, khoan lỗ,

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

sơn hoàn thiện. Do tính chất phức tạp và chính xác cao của các chi tiết diễn ra trong nhiều công đoạn phụ với rất nhiều người cùng tham gia nên sai sót là khó tránh khỏi. Nhằm khắc phục sai sót ở các công đoạn, thì mỗi sản phẩm sau khi gia công cần được lắp ráp thử tại nhà máy. Sau đó, công nhân tháo rời ra rồi mới đóng gói để vận chuyển tới khách hàng. Việc này tiêu tốn khá nhiều thời gian, công sức và tiền bạc.

5.2.2. Mô hình áp dụng

Mô hình được nhóm tác giả lựa chọn ở đây là sử dụng CAD (Computer Aided Design) và CNC (Computer Numeric Control) được tích hợp đồng bộ từ công đoạn thiết kế đến gia công sản phẩm, nhằm đạt được các yêu cầu của Ban giám đốc doanh nghiệp.

Các giải pháp tích hợp sản xuất hiện nay trên thị trường đang tồn tại khá nhiều, những mô hình này thường được cung cấp kèm theo các hệ thống sản xuất hiện đại của nhiều hãng chế tạo máy công cụ. Có thể kể ra đây một số hãng nổi tiếng hàng đầu trên thế giới như: Biese, Homag, SCM Group, IMA của châu Âu, hay KDT, Nanxing của Trung Quốc. Những phần mềm này mặc dù tương đối mạnh về CAD và CAM, nhưng nhược điểm lớn là chỉ sử dụng cho các máy của hãng đó và một điều trở ngại rất lớn cho các doanh nghiệp cỡ vừa và nhỏ là chi phí đầu tư rất cao, từ hàng triệu Mỹ kim trở lên [6].

Xuất phát từ tình hình thực tế kể trên, chúng tôi đã đề nghị áp dụng một mô hình tích hợp, chỉ sử dụng các tài nguyên phổ thông và sẵn có (máy móc, con người, phần mềm) nhằm đạt được hiệu quả công việc, nhưng với chi phí thấp nhất có thể và thân thiện với người sử dụng. Cụ thể là:

A. Thiết kế:

• Phần mềm thiết kế 3D: Lựa chọn Sketchup bản Education miễn phí hoặc bản Pro với giá khoảng 1,8 triệu đồng [7]. Bên cạnh giá tương đối hợp lý, thì điều quan trọng hơn là tất cả thiết kế viên của doanh nghiệp đều đã và đang sử dụng rất thành thạo phần mềm này để diễn họa. Điều cần thiết để phục vụ cho dự án là thiết kế viên cần được đào tạo thêm các kiến thức về nhân trắc học, kết cấu, vật liệu, phụ kiện và dung sai. Để tạo nên các lỗ khoan, gia công cho các chi tiết liên kết, các Plugin miễn phí sẵn có như ABF, SFFD, SOFTEN-SMOOTH… được sử dụng.

• Một hệ thống quản lý dữ liệu được xây dựng, để các bộ phận trong công ty chia sẻ tài nguyên trực tuyến (online). Từ đó, các bộ phận có thể kiểm soát được đơn hàng và hỗ trợ nhau kịp thời. Ví dụ sau đây mô tả quá trình thực hiện đơn hàng là một chiếc bàn văn phòng.

Hình 1. Bản 3D vẽ bằng Sketchup và các Plugin cùng các tùy biến

• Qua bộ phận quảng cáo (Marketing), bán hàng (Sale) sẽ làm việc với khách hàng để lập bản concept.

• Thiết kế viên sẽ vẽ bản demo sản phẩm theo concept.

• Bộ phận bán hàng và thiết kế viên sẽ cùng khách hàng chỉnh sửa lần cuối bản vẽ. Tất cả những thay đổi theo yêu cầu của khách hàng được thực hiện chỉ bằng một click chuột. Ngay ☞

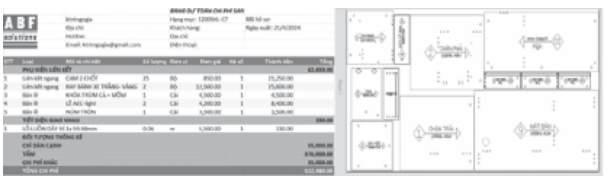
khi bản vẽ được hoàn thành, người phụ trách bán hàng sẽ báo giá trực tiếp cho khách hàng qua bảng dự toán chi phí sản xuất chính xác kèm theo bản vẽ 3D như trên Hình 2.

• Ngay sau khi khách hàng đồng ý và ký kết hợp đồng, bộ phận vật tư và kho đã có ngay số liệu vật tư cần thiết để thực hiện đơn hàng. Số liệu này rất chính xác và chi tiết, ví dụ như: cần bao nhiêu tấm gỗ loại nào, bao nhiêu bản lề, ốc vít, tay nắm cửa… Tất cả đều có trên bảng liệt kê như trên Hình 2.

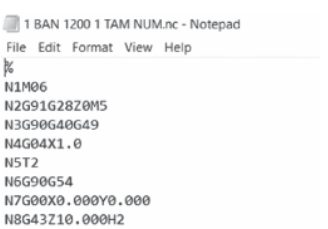
• Những chi tiết này sẽ được sắp xếp một cách tối ưu trên các tấm gỗ có kích thước tiêu chuẩn như trên Hình 2, sao cho tổng hao phí là nhỏ nhất.

• Viết lại trình biên dịch (Post-processor) để chuyển các file dưới dạng vector thành các file G-code tương thích với bộ điều khiển Syntec 6MB, để gia công trên máy CNC như trên Hình 3 (là một trích đoạn file G-Code).

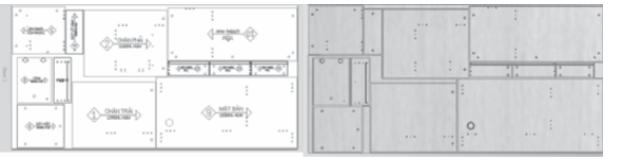
• Trước khi gia công cắt trên máy CNC, chương trình được mô phỏng trước trên máy tính để phát hiện các sai sót nếu có như trên Hình 4.



Hình 2. Bảng vật tư, phụ kiện tiêu hao và sắp xếp tối ưu các chi tiết trên tấm gỗ



Hình 3. Ví dụ một đoạn G-code gia công tấm gỗ



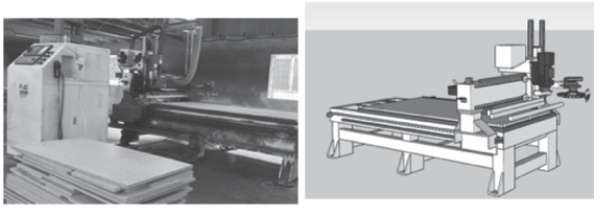
Hình 4. Mô phỏng quá trình gia công trên máy CNC

B. Gia công:

Máy gia công CNC được đề nghị sử dụng là các máy CNC phổ dụng có trang bị bàn hút chân không. Lúc đó, nhà máy đã có sẵn một máy CNC-12 dao thay tự động mà trước đây chỉ dùng để điêu khắc các họa tiết trang trí nhỏ được tái sử dụng, kèm theo một số hoán cải cho phù hợp như:

- Trang bị thêm bàn hút với máy hút chân không vòng nước công suất 7,5 (Kw);

- Lắp đặt thêm cơ cấu xắp tấm gỗ tự động, hoạt động bằng khí nén – điện;



Hình 5. Máy CNC hoán cải: Bản thiết kế và thực hiện

- Lắp đặt thêm cơ cấu hút bụi và thổi sạch mặt bàn tự động;

- Lắp đặt thêm cơ cấu đẩy phôi và gắp tấm tự động;

- Thay đổi/viết lại chương trình của bộ điều khiển Syntec 6MB [8] để phù hợp với quy trình gia công mới, kết hợp thêm nhiều thao tác tự động.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Tất cả những hoán cải với máy CNC được thiết kế và thi công trong thời gian 30 ngày như trên Hình 5, mà không làm gián đoạn quá trình sản xuất, với chi phí rất thấp khoảng 50 triệu đồng, do tận dụng tối đa các tài nguyên sẵn có hoặc sử dụng các trang thiết bị tiêu chuẩn trên thị trường.

5.3. Huấn luyện và đào tạo

Nhóm tác giả đã biên soạn tài liệu và tổ chức những buổi huấn luyện, đào tạo cho các cán bộ kỹ thuật, công nhân của những bộ phận liên quan trong quá trình thực hiện dự án. Do vậy, ngay sau khi bàn giao và đưa vào sản xuất chính thức, tất cả các bộ phận đã thích ứng rất nhanh và làm chủ được toàn bộ quy trình sản xuất mới.

5.4. Kết quả đạt được và bài học kinh nghiệm

Sau thời gian khoảng 3 tháng triển khai tích cực, dự án được hoàn thành, nghiệm thu và bàn giao cuối năm 2022. Sau 1 năm vận hành, ban lãnh đạo nhà máy đã có tổng kết và đánh giá rất tốt về kết quả đã đạt được của dự án vào cuối năm 2023. Tất cả các yêu cầu đề ra đều được thực hiện, một số chỉ tiêu vượt ngoài mong đợi như: thời gian hoàn vốn ngắn hơn rất nhiều, chỉ hết tầm 3 tháng và chất lượng sản phẩm tốt hơn đáng kể so với trước. Đây cũng là một động lực lớn cho nhóm tác giả triển khai tiếp giai đoạn 2 tại công ty DHT, cũng như sẽ thực hiện nhiều dự án mới lớn hơn cho các công ty cỡ vừa và nhỏ trong thời gian tới.

6. KẾT LUẬN

Sau khi nghiên cứu, tìm hiểu rất nhiều chủ doanh nghiệp vừa và nhỏ bằng các nguồn tài liệu và qua phỏng vấn trực tiếp, với một câu hỏi là: Doanh nghiệp vừa và nhỏ cần gì? Chúng tôi đã nhận được một câu trả lời rất giản đơn, đó là: Họ cần có khách hàng, cần lợi nhuận. Điều khó khăn nhất với họ là phải cạnh tranh sòng phẳng với các doanh nghiệp lớn, trong khi tiềm lực tài chính của họ rất hạn hẹp. Đâu là lời giải cho bài toán khó này?

Các hệ thống TĐHCPT đã và đang được triển khai rất rộng rãi ở nhiều nơi, cả các nước phát triển và đang phát triển, và đã thu được các kết quả rất đáng khích lệ. Có thể nói TĐHCPT là một thế võ hiểm giúp các doanh nghiệp vừa và nhỏ chiến thắng trong cuộc chiến không cân sức với các gã khổng lồ.

Vấn đề tự động hóa cho các doanh nghiệp vừa và nhỏ ở Việt Nam càng trở lên quan trọng vì theo số liệu thống kê vào năm 2017, số doanh nghiệp vừa và nhỏ chiếm tới 98,41 (%) trong tổng số doanh nghiệp đăng ký hoạt động [1]. Những doanh nghiệp này góp mặt trong tất cả các lĩnh vực và trải dài từ Bắc tới Nam. Do đó, nếu như có các giải pháp công nghệ hiệu quả để thúc đẩy sự phát triển của lực lượng sản xuất này, thì đây thực sự là động lực mới của đất nước trong công cuộc phát triển và hội nhập sâu rộng hiện nay.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT23-24-18. Tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **20/4/2024**
Ngày phản biện: **25/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. https://www.gso.gov.vn/Default.aspx?tabid=382&idmid=&ItemID=18945

[2]. NgP. Kopacek, *Advanced "low-cost" automation for small sized industries*, IFAC 11th. Triennial World. Congress, Tallinn, Estonia, USSR, 1990.

[3]. http://www.ircc.iitb.ac.in/IRCC-Webpage/PDF/update/archives/sept_2002/focus-sharm.html

[4]. Sameer S. Gajmal, Sudhir.G Bhatwadekar, *Low Cost Automation(LCA): A Case Study International Journal of Advanced Engineering and GlobalTechnology,* Vol-2, Issue-12, December 2014,

[5]. Yiran Luo, Wei Xu, *Optimization of Panel Furniture Plates Rework Based on Intelligent Manufacturing,* bioresources.com, 2023.

[6]. https://www.marketresearchintellect.com/product/panel-furniture-equipment-market-size-and-forecast/

[7]. https://www.sketchup.com/en/plans-and-pricing/sketchup-pro

[8]. https://syntecvietnam.com/san-pham/6mb/

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ HÌNH HỌC CỦA CÁNH TRAO ĐỔI NHIỆT ĐẾN HIỆU QUẢ TRAO ĐỔI NHIỆT THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT ỐNG LỒNG ỐNG

A STUDY TO EVALUATE THE EFFECTS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF FINS ON THE EFFICIENCY OF THE DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER BY CFD SIMULATION

Nguyễn Thành Sơn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống bằng phương pháp mô phỏng số (CFD). Các thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống có các cánh dọc với tỷ số x = 75%, 50% và 37,5% được đưa ra đánh giá. Trong phạm vi khảo sát với số Reynolds của dòng nước nóng Re_h = 5000-14000 thì hiệu suất trao đổi nhiệt của thiết bị tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng và có giá trị lớn nhất là 16,05% ứng với Re_h = 14000 của trường hợp tỷ số x = 50%. Ngoài ra, số Nusselt trung bình của dòng nước nóng của cả ba trường hợp tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng nhưng số Nusselt trung bình của dòng nước lạnh lại có khuynh hướng giảm xuống.

Từ khóa: *Thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống; Mô phỏng CFD; Cánh dọc; Truyền nhiệt.*

ABSTRACT

The paper presents research on the influence of geometrical parameters of fins on the efficiency of the double pipe heat exchanger by using numerical simulation (CFD). Double pipe longitudinal fined heat exchangers have a ratio x = 75%, 50% and 37,5% were investigated. In the scope of the survey with Reynolds numbers of the hot fluid flow Re_h = 5000-14000, the thermal effectiveness of the double pipe longitudinal fined heat exchanger increases with increasing the Reynolds numbers of the hot fluid flow and obtains maximum of 16,05% corresponding to Re_h = 14000 and x = 37.5%. Additionally, mean Nusselt numbers of the hot fluid flow increase with Reynolds numbers of the hot fluid flow increases in all cases, but mean Nusselt numbers of the cold fluid flow has decreased trend.

Keywords: *Double pipe heat exchanger; CFD simulation; Longitudinal fin; Heat transfer.* ☞

1. GIỚI THIỆU

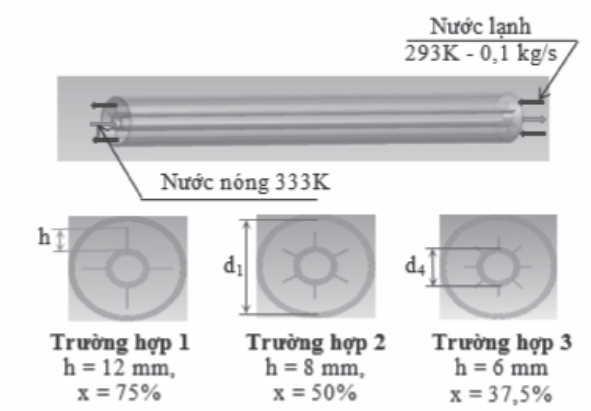
Thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống là loại thiết bị trao đổi nhiệt có dãy nhiệt độ làm việc rộng, có thể làm việc ở áp suất cao, chi phí thiết kế và bảo trì thấp nên được sử dụng rộng rãi nhiều ngành công nghiệp và đời sống như hóa chất, thực phẩm, dầu khí, dệt may, hệ thống lạnh, thông gió,…. Tuy nhiên, loại thiết bị này có nhược điểm kích thước lớn, cồng kềnh do hiệu quả trao đổi nhiệt thấp. Vì vậy, việc cải tiến liên tục hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống có ý nghĩa hết sức quan trọng. Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển của kỹ thuật mô phỏng CFD thì việc nghiên cứu thiết kế thiết bị trao đổi kiểu ống lồng ống có hiệu suất cao hơn đã có những bước tiến lớn. Sun and Zhang [1] đã ứng dụng phương pháp số để nghiên cứu sự ảnh hưởng của xoáy lớn đến các đặc tính dòng chảy và nhiệt của dòng khí chuyển động hỗn loạn trong thiết bị trao đổi nhiệt ống và cánh. Kết quả cho thấy hệ số truyền nhiệt của ống lớn cao hơn 20-30% so với ống nhỏ. Sharifi và cộng sự [2] đã sử dụng CFD để nghiên cứu sự ảnh hưởng dây xoắn ốc đến quá trình truyền nhiệt và tổn thất áp suất trong thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống. Kết quả của họ cho thấy thiết bị có lắp cuộn dây P = 69 mm thì số Nusselt tăng lên 1,77 lần so với thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống thông thường. Arjmandi và cộng sự [3] đã tiến hành nghiên cứu về phương pháp số về ảnh hưởng của sự kết hợp bộ tạo xoáy và băng xoắn, với môi chất là chất lỏng nano Al_2O_3-H_2O đến quá trình truyền nhiệt và tổn thất áp suất trong thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống.

Kết quả cho thấy rằng tỷ số $\frac{P_i}{\ell}$ có ảnh hưởng lớn đến số Nusselt, hệ số ma sát và đây cũng là nguyên nhân làm hiệu suất tăng lên 5 lần so với thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống thông thường. Ngoài ra, việc giảm góc của bộ tạo xoáy cũng làm số Nusselt, hệ số ma sát tăng lên. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu khác [4-7] cũng ứng dụng CFD để nghiên cứu nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống.

Trong nghiên cứu này, phương pháp mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD) được tiến hành để nghiên cứu ảnh hưởng của thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống. Các trường hợp khác nhau của cánh trao đổi nhiệt kiểu dọc được đưa ra phân tích và bàn luận.

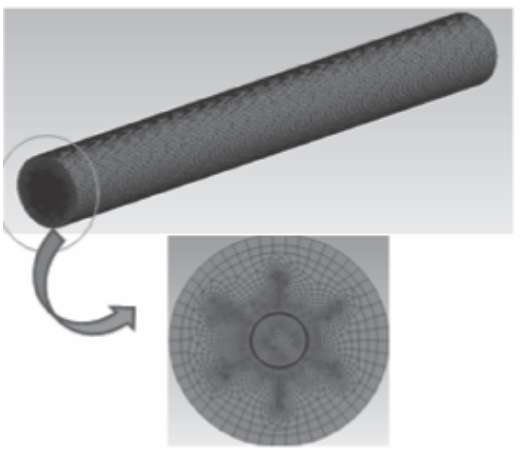
2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Để nghiên cứu quá trình nhiệt của dòng lưu chất bên trong thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống, tác giả đã xem xét một bộ trao đổi nhiệt ống lồng ống làm bằng thép, có chiều dài 500 mm, ống ngoài có đường kính d_2/d_1 = 60/54 mm, ống trong có đường kính d_4/d_3 = 22/16 mm với 3 trường hợp cánh dọc hình chữ nhật với thông số hình học khác nhau được thể hiện như hình 1. Ở đây, cánh trao đổi nhiệt được cố định dọc theo ống trong, dạng hình chữ nhật, làm bằng thép, có bề dày 1 mm được thiết kế thông qua việc thay đổi tỷ số chiều cao của cánh với độ dày của không gian giữa hai ống (gọi là $x = \frac{h}{0,5.(d_1 - d_4)}$, với h là chiều cao của cánh) nhưng phải đảm bảo diện tích trao đổi nhiệt của ống trong không đổi. Nước nóng chảy trong ống trong với nhiệt độ đầu vào là 333K, nước lạnh chảy ngược chiều trong không gian giữa hai ống với nhiệt độ đầu vào là 293K và lưu lượng là 0,1 kg/s. Ống ngoài không trao đổi nhiệt với môi trường.



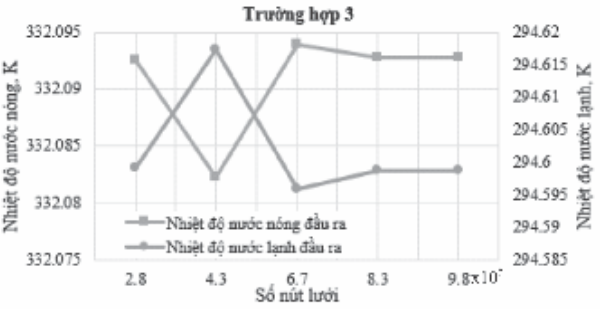
Hình 1. Hình 3D và mặt cắt ngang của các thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống được nghiên cứu

Các trường hợp nghiên cứu của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng được tiến hành chia lưới (hình 2).



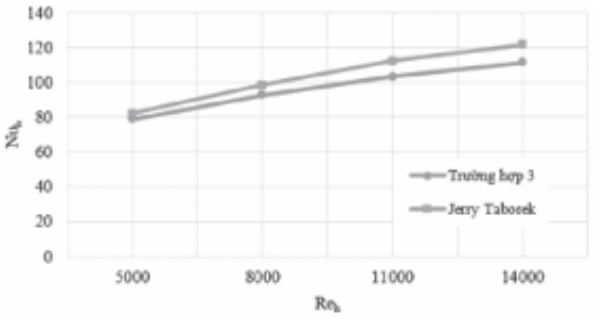
Hình 2. Cấu trúc lưới của trường hợp 2

Để kiểm tra độc lập của lưới thì một nghiên cứu độ nhạy của lưới được tiến hành cho trường hợp 3 với số Reynolds của dòng nước nóng Re_h = 14000 và kết quả sự chia lưới được trình bày ở hình 3. Qua đây, khi số nút lưới lần lượt lớn hơn 825995 thì nhiệt độ dòng nước lạnh và nước nóng đầu ra không phụ thuộc vào lưới. Như vậy, với số nút lướt như trên thì sẽ đảm bảo độ chính xác mô phỏng và thời gian tính toán thích hợp, do đó được sử dụng cho mô phỏng với các trường hợp khác.



Hình 3. Kiểm tra độc lập của lưới

Trong nghiên cứu này, mô hình chảy rối k-epsilon-realizable kết hợp xử lý tăng cường vách (Enhanced wall treatment) được sử dụng trong mô phỏng. Sai số cho phương trình liên tục, phương trình động lượng, phương trình năng lượng trong mô phỏng là 10^{-6}. Ngoài ra, để đảm bảo độ tin cậy của kết quả mô phỏng, một mô phỏng số về sự ảnh hưởng của số Reynolds dòng nước nóng đến số Nusselt dòng nước nóng đã được thực hiện cho trường hợp 3, và hình 4 thể hiện kết quả của mô phỏng hiện tại với kết quả thực nghiệm khảo sát số Nusselt dòng nước nóng của Jerry Taborek [8]. Qua đây, số Nusselt dòng nước nóng của kết quả mô phỏng hiện tại với dữ liệu đã công bố trước đó của Jerry Taborek [8] có tính phù hợp cao, với sai số lớn nhất là 9,15% tại Re_h = 14000. Do đó, kết quả mô phỏng có thể tin cậy và sẽ bàn luận ở phần tiếp theo.



Hình 4. So sánh kết quả mô phỏng với dữ liệu đã công bố

3. PHƯƠNG PHÁP LUẬN

Để xác định hiệu quả trao đổi nhiệt của TBTĐN ống lồng ống thì các đặc tính truyền nhiệt và thủy lực của thiết bị cần được xác định dựa vào các đại lượng quan trọng sau: Nhiệt lượng dòng nước nóng nhả ra và nhiệt lượng dòng nước lạnh nhận vào được xác định theo các công thức:

$$Q_h = m_h.C_{p,h}.\left(T_{in} - T_{out}\right)_h \quad (1)$$

$$Q_c = m_c.C_{p,c}.\left(T_{out} - T_{in}\right)_c \quad (2)$$

Trong đó:

Q_h: Nhiệt lượng dòng nước nóng nhả ra, kW;

Q_c: Nhiệt lượng dòng nước lạnh nhận vào, kW;

m_c, m_h: Lưu lượng khối lượng dòng nước lạnh và dòng nước nóng, kg/s;

$C_{p,c}$, $C_{p,h}$: Nhiệt dung riêng của dòng nước lạnh và dòng nước nóng kJ/kg.K;

$T_{c,in}$, $T_{c,out}$: Nhiệt độ vào và ra của dòng nước lạnh, K;

$T_{h,in}$, $T_{h,out}$: Nhiệt độ vào và ra của dòng nước nóng, K.

Lượng nhiệt trao đổi trung bình giữa dòng nước nóng và dòng nước lạnh [9]:

$$Q = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (3)$$

Hiệu suất của TBTĐN ống lồng ống được xác định theo công thức [10] :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (4)$$

Trong đó: Q_{max} là lượng nhiệt trao đổi lớn nhất của TBTĐN ống lồng ống.

$$Q_{max} = \left(m.C_p\right)_{min}\left(T_{h,in} - T_{c,in}\right) \quad (5)$$

Với: $(m.C_p)_{min} = \min(m_h.C_{p,h}, m_c.C_{p,c})$.

Hệ số tỏa nhiệt đối lưu trung bình của dòng nước nóng và lạnh được xác định lần lượt theo các công thức [5]:

$$\overline{\alpha_h} = \frac{\overline{q_w}}{0,5\left(T_{h,in} + T_{h,out}\right) - \overline{T_w}} \quad (6)$$

$$\overline{\alpha_c} = \frac{\overline{q_w}}{\overline{T_w} - 0,5\left(T_{c,in} + T_{c,out}\right)} \quad (7)$$

Trong đó: $\overline{T_w}$ là nhiệt độ trung bình của vỏ ống trong của TBTĐN ống lồng ống, K; $\overline{q_w}$ là mật độ dòng nhiệt trung bình truyền qua vỏ ống trong của TBTĐN ống lồng ống, W/m^2.

Số Nusselt trung bình của dòng nước nóng và lạnh được tính theo công thức:

$$\overline{Nu_h} = \frac{\overline{\alpha_h}.d_3}{\lambda_h} \quad (8)$$

$$\overline{Nu_c} = \frac{\overline{\alpha_c}.D_c}{\lambda_c} \quad (9)$$

Trong đó: d_3 là đường kính trong của ống trong, m; D_c là đường kính thủy lực của dòng nước lạnh, m; λ_h, λ_c là hệ số dẫn nhiệt của dòng nước nóng và lạnh, W/m.K.

Số Reynolds của dòng nước nóng và lạnh được tính theo công thức:

$$Re_h = \frac{\rho_h.\omega_h.d_3}{\mu_h} \quad (10)$$

$$Re_c = \frac{\rho_c.\omega_c.D_c}{\mu_c} \quad (11)$$

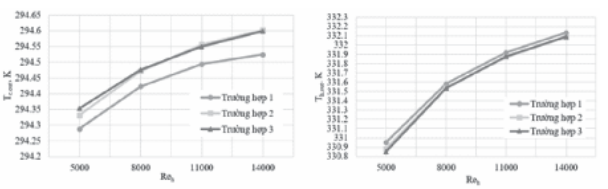
Trong đó: μ_h, μ_c là độ nhớt động lực học của dòng nước nóng và lạnh, kg/m.s; ρ_h, ρ_c là khối lượng riêng của dòng nước nóng và lạnh, kg/m^3; ω_h, ω_c là tốc độ của dòng nước nóng và lạnh, m/s.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá ảnh hưởng của thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống thì phân bố nhiệt độ, tốc độ truyền nhiệt và hiệu suất trao đổi nhiệt của trường hợp 1, 2, 3 được báo cáo và phân tích. Ngoài ra, việc so sánh giữa các trường hợp cũng được thực hiện.

4.1. Phân bố nhiệt độ

Trong phạm vi khảo sát số Reynolds của dòng nước nóng Re_h = 5000 ÷ 14000 thì ảnh hưởng của số Reynolds của dòng nước nóng đến nhiệt độ nước nóng và nước lạnh ở đầu ra được thể hiện ở hình 5. Qua đây có thể thấy, ở cả ba trường hợp thì nhiệt độ nước nóng và nước lạnh ở đầu ra tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng. Điều này là do khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng lên thì tốc độ của dòng nước nóng cũng tăng lên (theo công thức (10)), do đó dẫn đến nhiệt độ nước nóng ở đầu ra cũng tăng lên. Ngoài ra, hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng, điều này dẫn đến nhiệt độ nước lạnh ở đầu ra cũng tăng lên.



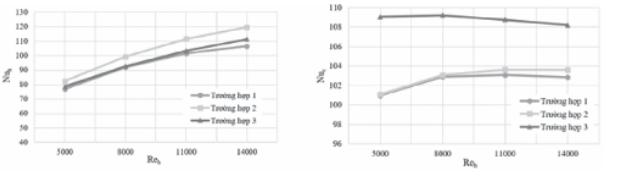
Hình 5. Sự ảnh hưởng của số Reynolds của dòng nước nóng đến nhiệt độ nước nóng và lạnh ở đầu ra của ba trường hợp

Từ hình 5, có thể thấy nhiệt độ lớn nhất của nước lạnh ở đầu ra cho các trường hợp 1, 2, 3 lần lượt là 294,52K, 294,6K, 294,59K ứng với Re_h = 14000 và nhiệt độ nhỏ nhất của nước nóng ở đầu ra cho các trường hợp 1, 2, 3 lần lượt 330,95K, 330,88K, 330,84K ứng với Re_h = 5000.

4.2. Tốc độ truyền nhiệt

Qua hình 6, có thể thấy khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng thì số Nusselt trung bình của dòng nước nóng của cả ba trường hợp tăng lên, nhưng số Nusselt trung bình của dòng nước lạnh lại có khuynh hướng giảm xuống.

Trong đó, $\overline{Nu_h}$, $\overline{Nu_c}$ của trường hợp 1 có giá trị nhỏ nhất trong ba trường hợp. Cụ thể, tại R_{eh} = 14000, của trường hợp 2, 3 cao hơn trường hợp 1 lần lượt là 12,29%, 4,5% và của trường hợp 2, 3 cao hơn trường hợp 1 lần lượt là 0,77%, 5,22%.

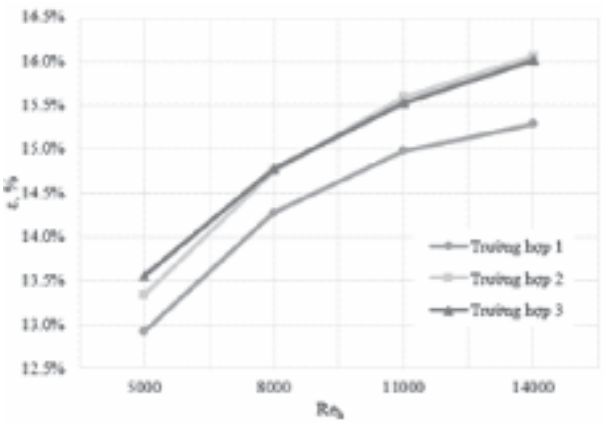


Hình 6. Sự ảnh hưởng của số Reynolds của dòng nước nóng đến số Nusselt trung bình của dòng nước nóng và lạnh của ba trường hợp

4.3. Hiệu suất trao đổi nhiệt

Hình 7 thể hiện sự ảnh hưởng của số Reynolds của dòng nước nóng đến hiệu suất trao đổi nhiệt của ba trường hợp. Có thể thấy rằng hiệu suất trao đổi nhiệt của ba trường hợp tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng. Điều này là do bởi khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng dẫn đến lượng nhiệt trao đổi trung bình giữa dòng nước nóng và dòng nước lạnh Q tăng lên, trong khi đó lượng nhiệt ☞

trao đổi lớn nhất của thiết bị Q_{max} thì không đổi, vì vậy hiệu suất trao đổi nhiệt của thiết bị tăng lên (theo công thức (4)). Từ hình 7, có thể thấy hiệu suất trao đổi nhiệt của trường hợp 1 là nhỏ nhất trong ba trường hợp. Cụ thể, tại Re_h = 14000, hiệu suất trao đổi nhiệt của trường hợp 2, 3 cao hơn so với trường hợp 1 lần lượt là 5,01%, 4,74%.



Hình 7. Sự ảnh hưởng của số Reynolds của dòng nước nóng đến hiệu suất trao đổi nhiệt của ba trường hợp

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này trình bày đánh giá ảnh hưởng của thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống. Qua nghiên cứu có một số kết luận như sau:

- Nhiệt độ nước nóng và nước lạnh ở đầu ra của ba trường hợp tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng. Nhiệt độ lớn nhất của nước lạnh ở đầu ra cho các trường hợp 1, 2, 3 lần lượt là 294,52K, 294,6K, 294.59K ứng với Re_h = 14000 và nhiệt độ nhỏ nhất của nước nóng ở đầu ra cho các trường hợp 1, 2, 3 lần lượt 330,95K, 330,88K, 330,84K ứng với Re_h = 5000.

- Khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng thì số Nusselt trung bình của dòng nước nóng của cả ba trường hợp tăng lên, nhưng số Nusselt trung bình của dòng nước lạnh lại có khuynh hướng giảm xuống. Trong đó, $\overline{Nu_h}$, $\overline{Nu_c}$ của trường hợp 1 có giá trị nhỏ nhất trong ba trường hợp.

- Hiệu suất trao đổi nhiệt của ba trường hợp tăng lên khi số Reynolds của dòng nước nóng tăng, và hiệu suất trao đổi nhiệt của trường hợp 1 là nhỏ nhất trong ba trường hợp. Cụ thể, tại Re_h = 14000, hiệu suất trao đổi nhiệt của trường hợp 2, 3 cao hơn so với trường hợp 1 lần lượt là 5,01%, 4,74%.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số T2022-06-20.❖

Ngày nhận bài: **26/3/2024**
Ngày phản biện: **23/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. L. Sun and C.-L. Zhang, "*Evaluation of elliptical finned-tube heat exchanger performance using CFD and response surface methodology*", International Journal of Thermal Sciences, vol. 75, pp. 45-53, 2014/01/01/ 2014.

[2]. K. Sharifi, M. Sabeti, M. Rafiei, A. H. Mohammadi, and L. Shirazi, "*Computational fluid dynamics (CFD) technique to study the effects of helical wire inserts on heat transfer and pressure drop in a double pipe heat exchanger*", Applied Thermal Engineering, vol. 128, pp. 898-910, 2018/01/05/ 2018.

[3]. H. Arjmandi, P. Amiri, and M. Saffari Pour, "*Geometric optimization of a double pipe heat exchanger with combined vortex generator*

and twisted tape: A CFD and response surface methodology (RSM) study", Thermal Science and Engineering Progress, vol. 18, p. 100514, 2020/08/01/ 2020.

[4]. B. K. Dandoutiya and A. Kumar, "*W-cut twisted tape's effect on the thermal performance of a double pipe heat exchanger: A numerical study*", Case Studies in Thermal Engineering, vol. 34, p. 102031, 2022/06/01/ 2022.

[5]. D. Huu-Quan, A. Mohammad Rostami, M. Shokri Rad, M. Izadi, A. Hajjar, and Q. Xiong, "*3D numerical investigation of turbulent forced convection in a double-pipe heat exchanger with flat inner pipe*", Applied Thermal Engineering, vol. 182, p. 116106, 2021/01/05/ 2021.

[6]. N. Timerbaev, A. Ali, O. Almohamed, and A. Koryakin, "*Simulation of the effectiveness of longitudinal rectangular fins on the efficiency of the double pipe heat exchanger*", Power engineering: research, equipment, technology, vol. 21, pp. 48-57, 12/09 2019.

[7]. M. A. Ali and S. N. Shehab, "*Numerical analysis of heat convection through a double-pipe heat exchanger: Dimpled influence*", Journal of Engineering Research, vol. 11, no. 1, p. 100016, 2023/03/01/ 2023.

[8]. J. Taborek, "*Double-Pipe and Multitube Heat Exchangers with Plain and Longitudinal Finned Tubes*", Heat Transfer Engineering, 1997.

[9]. A. Fouda, S. A. Nada, H. Elattar, H. Refaey, and A. Mahfouz, "*Thermal Performance Modeling of Turbulent Flow in Multi Tube in Tube Helically Coiled Heat Exchangers*", International Journal of Mechanical Sciences, vol. 135, 12/01 2017.

[10]. H. Sadighi Dizaji, S. Jafarmadar, and F. Mobadersani, "*Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger*", International Journal of Thermal Sciences, vol. 96, pp. 211-220, 2015/10/01/ 2015.

NGHIÊN CỨU CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỊNH MỨC CHỈ VÀ XÁC ĐỊNH LƯỢNG CHỈ TIÊU HAO CHO SẢN PHẨM ÁO POLO-SHIRT TRONG MAY CÔNG NGHIỆP

STUDYING METHODS FOR CALCULATING THREAD RATINGS AND DETERMINING THE QUANTITY OF CONSUMPTION INDICATORS FOR POLO-SHIRT PRODUCTS IN INDUSTRIAL GARMENT

Nguyễn Quốc Toản, Bùi Thanh Hương
Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xác định định mức chỉ cho sản phẩm trong may công nghiệp dựa trên các mô hình tính lượng chỉ tiêu hao cho các đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514 được xác định bằng phương pháp khảo sát thực nghiệm và phương pháp tính toán dựa trên trên cấu trúc hình học đường may. Lượng tiêu hao chỉ cho đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514 trong sản xuất công nghiệp có thể được ước tính dựa trên mô hình tuyến tính đa biến với các biến đầu vào là chiều dài đường may, mật độ mũi may và độ dày vải đã được xác định với hệ số từ 0,929 đến 0,999. Nghiên cứu đã tiến hành phân tích kết cấu đường may, xây dựng quy trình công nghệ may sản phẩm dệt kim điển hình là áo Polo-Shirt, tính lượng tiêu hao chỉ cho sản phẩm và so sánh với lượng chỉ tiêu hao trong thực tế sản xuất. Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng vào thực tế sản xuất tại các doanh nghiệp sản xuất hàng may mặc.

Từ khóa: *Tiêu hao chỉ; Đường may mũi 300-400-500.*

ABSTRACT

This article presents the results of research on determining thread norms for products in industrial sewing based on models to calculate the amount of thread consumed for seams using stitches 301, 406, 504, and 514, determined by experimental survey methods and calculation methods based on the geometric structure of the seams. Thread consumption for seams using stitches 301, 406, 504, and 514 in industrial production can be estimated based on a multivariate linear model with input variables being stitch length, stitch density, and fabric thickness, which was determined with coefficients ranging from 0,929 to 0,999. The study conducted an analysis of the seam structure, built a technological process for sewing a typical knitted product such as a Polo-Shirt, calculated the thread consumption for the product and compared it with the actual thread consumption manufacture. The research results can be applied to actual production at garment manufacturing enterprises.

Keywords: *Sewing thread consumption; Lockstitches of class 300-400-500.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, một trong những yêu cầu của sản xuất là giảm chi phí và tối đa hóa lợi nhuận. Chỉ may là một trong những phụ liệu được sử dụng nhiều nhất trong ngành may mặc, việc tính chính xác định mức chỉ cho sản phẩm may có vai trò và ý nghĩa rất quan trọng vì nó giúp cho quá trình sản xuất được được liên tục, không bị gián đoạn hoặc làm tăng chi phí sản xuất. Một số phương pháp được sử dụng để xác định mức tiêu hao chỉ may như: Phương pháp ước lượng tính; Phương pháp tính toán dựa trên trên cấu trúc hình học từng dạng đường may; Phương pháp khảo sát thực nghiệm; Phương pháp phân tích hình ảnh. Phương pháp ước lượng tính theo kinh nghiệm thường cho kết quả với độ chính xác không cao, một số yếu tố ảnh lớn đến lượng tiêu hao chỉ như mật độ mũi may, độ dày vải, chiều dài đường may, độ rộng đường may chưa được đề cập đến [1]. Trong nghiên cứu [2, 3], tác giả và cộng sự phát triển một mô hình hình học để tính toán tiêu hao chỉ cho đường may 301 và 406 dựa trên chiều dài mũi may, mật độ mũi may, độ dày lớp vật liệu. Kết quả cho thấy đạt độ chính xác trên 97% so với kết quả khảo sát thực nghiệm. Nghiên cứu các dạng đường may dạng 500 dùng chắp và vắt sổ của Malek Sarah [4], bằng cách so sánh ước lượng tính tiêu hao chỉ với các phương pháp khảo sát thực nghiệm, đã kết luận rằng phương pháp hình học chính xác hơn phương pháp khảo sát thực nghiệm từ 97,00 đến 98,78%. B. Jaouachi [5, 6] và cộng sự sử dụng phương pháp phân tích hình ảnh đường may 301, 504 và 516, dựa trên lượng tiêu hao chỉ giữa thực nghiệm và lý thuyết cho thấy sai số giá trị phần trăm, phương pháp phân tích hình ảnh là phương pháp tốt nhất để xác định lượng tiêu hao chỉ, sai số nằm trong khoảng từ 0 đến 3,89%, trong đó phương pháp mô hình hình học và phương pháp khảo sát thực nghiệm có sai số tương ứng từ 0,17 đến 18,98%. Nghiên cứu [7], xác định định mức chỉ cho sản phẩm may trong công nghiệp dựa trên các mô hình tính lượng chỉ tiêu hao cho đường may thông dụng xây dựng từ dữ liệu thực nghiệm ứng dụng kỹ thuật BMA (Bayesian Model Average). Mô hình tính lượng chỉ tiêu hao đã được xác định với hệ số R^2 từ 0,964 đến 0,999.

Các nghiên cứu trên được tiến hành với một số đường may riêng lẻ, chưa đề cập đến việc ứng dụng để xác định lượng chỉ tiêu hao cho sản phẩm cụ thể. Việc định mức chỉ may hiện tại các doanh nghiệp thường được thực hiện bằng cách thủ công, dựa vào khảo sát hoặc ước lượng theo kinh nghiệm, mất nhiều thời gian trong quá trình chuẩn bị sản xuất và không đảm bảo độ chính xác cao. Vì vậy, nghiên cứu về việc xác định lượng chỉ tiêu hao cho từng sản phẩm cụ thể trong công nghiệp may là rất cần thiết. Mục tiêu của nghiên cứu là phân tích ưu và nhược điểm của các phương pháp hiện có, và từ đó xây dựng bảng định mức chỉ cho các dạng đường may của áo Polo-Shirt trong sản xuất công nghiệp, dựa trên các thông số như mật độ mũi may, độ dày vải, chiều dài và độ rộng của đường may. Điều này giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất và đảm bảo sự chính xác trong việc xác định lượng chỉ tiêu hao cho từng đơn hàng.

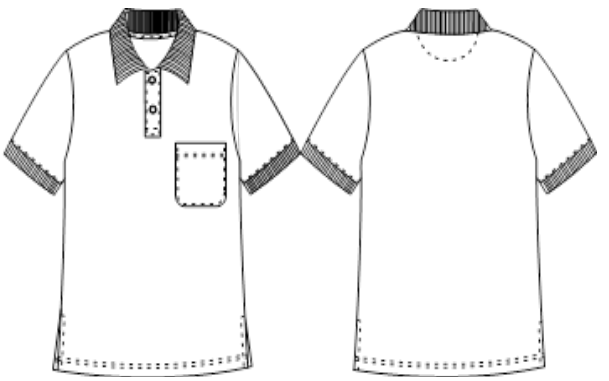
2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trên 04 loại đường may sử dụng chủ yếu trong may công nghiệp, gồm: đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514. Đây là 04 loại đường may được sử dụng trong quá trình gia công sản phẩm Polo-Shirt trong may công nghiệp.

Lựa chọn sản phẩm Polo-Shirt có kết cấu công nghệ điển hình: áo dáng thẳng, ngắn tay, thân trước có nẹp cân, thân sau có đáp cổ, cổ áo dùng băng dệt, dây viền băng dệt bọc chân cổ, mở xẻ tà hai bên sườn. Vải sử dụng may sản phẩm là vải single có thành phần nguyên liệu: 92% polyester, 8% elastan, khối lượng 190 g/m^2, mật độ ngang 130 (cột vòng/100 mm), mật độ dọc 210 (hàng vòng/100 mm), độ dày vải 0,15 (mm), chi số sợi: N_e = 18.

Chỉ sử dụng trong nghiên cứu có thành phần 100% polyester (60/2), độ dày của sợi là 18 tex, phù hợp với độ dày vải được sử dụng cho các đường may áo Polo-Shirt.



Hình 1. Đặc điểm hình dáng sản phẩm áo Polo-Shirt

2.2. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu xác định tiêu hao chỉ cho các đường may sử dụng may áo Polo-Shirt bằng phương pháp khảo sát thực nghiệm theo chiều dài đường may;

- Nghiên cứu công thức tính định mức chỉ các dựa trên cấu trúc hình học của các dạng đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514;

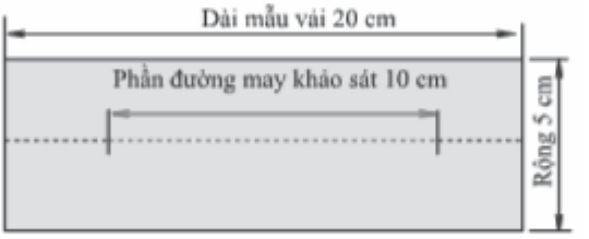
- Ứng dụng kết quả nghiên cứu xác định tiêu hao chỉ cho sản phẩm áo Polo-Shirt tại Công ty may Thời trang Minh Vũ; so sánh, đánh giá kết quả nghiên cứu với thực tiễn trong sản xuất.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Thực nghiệm xác định tiêu hao chỉ cho đường may

Các mẫu vải thực nghiệm được cắt với chiều rộng 5 cm, chiều dài 20cm, chiều dài đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514 được thiết kế cho các thực nghiệm có chiều dài 10 cm [2]. Mật độ mũi may được lựa chọn 5 mức: 3, 4, 5, 6 và 7 mũi/cm. Độ dày lớp vật liệu trên đường may được thay đổi bằng cách thay đổi từ 2 đến 6 lớp vải. Độ rộng đường may sử dụng mũi 406 lấy theo khoảng cách giữa hai kim của thiết bị là 0,64 cm, đường may sử dụng mũi 504 và 514 lấy độ rộng đường may 0,64 cm theo mức trung bình thường được sử dụng trong sản xuất công nghiệp.

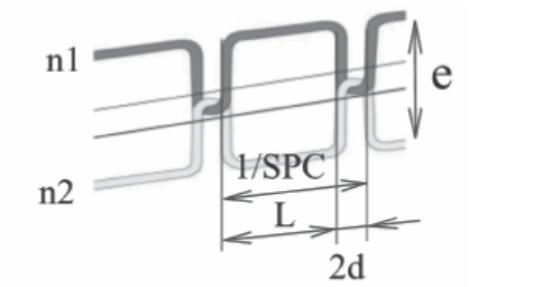
Lượng tiêu hao chỉ cho các đường may thực nghiệm được xác định bằng phương pháp tháo chỉ trên chiều dài đường may mỗi loại là 10 cm. Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả nghiên cứu, thu thập dữ liệu từ 3 mẫu đường may cùng phương án như mật độ mũi may, số lớp vải, sau đó tính trung bình cộng làm kết quả của thực nghiệm. Như vậy, số mẫu thực nghiệm cho mỗi dạng đường may là 75 mẫu, với 4 dạng đường may kể trên, tổng số mẫu sử dụng trong nghiên cứu là 300.



Hình 2. Kích thước mẫu vải thử nghiệm đường may 301

2.3.2. Phân tích sự tiêu hao chỉ cho từng loại đường may dựa trên cấu trúc hình học

* Đường may 301 [2]:



Hình 3. Cấu trúc mô hình hình học mũi may 301
Ký hiệu: n1 – Chỉ kim; n2 – Chỉ suốt; e – Độ dày lớp vật liệu; L – Chiều dài mũi may; SPC – Mật độ mũi may (mũi may/cm); d – Đường kính chỉ

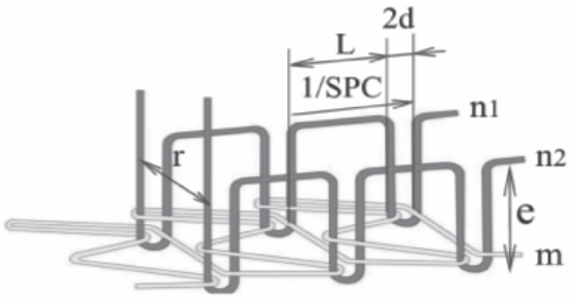
Đường kính của chỉ được tính dựa vào chi số tex:

$$d(cm) = \left(\frac{0,375}{100}\right)\sqrt{T} \quad (1)$$

Chiều dài mũi may 301 được tính dựa trên công thức như sau:

$$C_{301} = SPC(2(\left(\frac{1}{SPC}\right) - (3\left(\frac{0,375}{100}\right).\sqrt{T}\,)) + e) + (3,53\times10^{-2}\sqrt{T}\,) \quad (2)$$

* Đường may 406 [3]:



Hình 4. Cấu trúc mô hình hình học mũi may 406
Ký hiệu: n1 – Chỉ kim 1; n2 – Chỉ kim 2; m – Chỉ móc; e – Độ dày lớp vật liệu; L – Chiều dài mũi may; SPC – Mật độ mũi may (mũi may/cm) ; d – Đường kính chỉ; r – Khoảng cách giữa hai kim

Chiều dài mũi may được tính dựa vào mật độ mũi may SPC/cm và đường kính của chỉ (d):

$$L = \left(\frac{1}{SPC}\right) - 2d \quad (3)$$

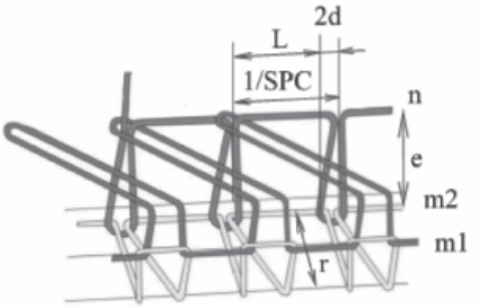
Khoảng cách giữa hai mép ngoài đường may:

$$S = r + \frac{e}{2} + d \quad (4)$$

Chiều dài mũi may 406 được tính dựa trên công thức như sau:

$$C_{406} = SPC.\,(6L + 4e + S + \sqrt{(L)^2 + (S)^2}) \quad (5)$$

* Đường may 504 [4]:



Hình 5. Cấu trúc mô hình hình học mũi may 504
Ký hiệu: n – Chỉ kim 1; m1 – Chỉ móc trên; m2 – Chỉ móc dưới; e – Độ dày lớp vật liệu; L – Chiều dài mũi may; SPC – Mật độ mũi may (mũi may/cm); d – Đường kính chỉ; r – Độ rộng đường may

Chiều dài mũi may 504 được tính dựa trên công thức như sau:

$$C_{504} = (C_n + C_{m1} + C_{m2}) \times SPC \times L \quad (6)$$

Trong đó:

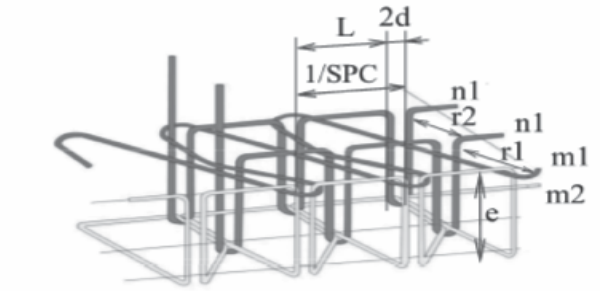
$$- C_n = L + 2\sqrt{e^2 + d^2} + \frac{1}{2}(\pi\times2\times d) + 2\times\frac{d}{2} = L + 2e + d(\pi + 1) \quad (7)$$

$$- C_{m1} = 2\left[\pi\frac{(0,8\times SL)}{2} + \sqrt{S^2+(0,4L)^2}\right] \quad (8)$$

$$- C_{m2} = 2\left(\frac{0,9SL}{2}\times\pi\right) + S + \sqrt{S^2+(0,9L)^2} \quad (9)$$

Với: $S = r + \frac{e}{2} + d$ (10)

* Đường may 514 [4]:



Hình 6. Cấu trúc mô hình hình học mũi may 514
Ký hiệu: n1 – Chỉ kim 1; n2 – Chỉ kim2; m1 – Chỉ móc trên; m2 – Chỉ móc dưới; e – Độ dày lớp vật liệu; r1 – Khoảng cách từ kim n2 đến mép vải; r2 – Khoảng cách 2 kim; L – Chiều dài mũi may; SPC – Mật độ mũi may (mũi may/cm); d – Đường kính chỉ

Chiều dài mũi may 514 được tính dựa trên công thức như sau:

$$C_{514} = (C_{n1}+C_{n2}+C_{m1}+C_{m2}) \times SPC \times L \quad (10)$$

Trong đó:

$$- C_{n1} = C_{n2} = C_{n504} = L+2e+d(\pi+1) \quad (11)$$

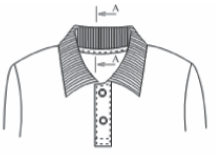
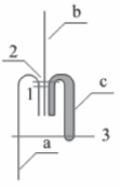
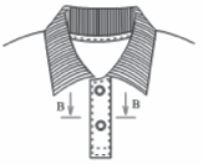
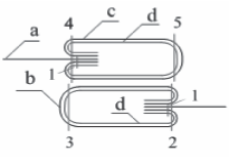
$$- C_{m1} = S_2 + \sqrt{(S_1+S_2)^2+SL^2} + \sqrt{S_1^{\,2}+(4d)^2} + \frac{1}{2}(2\times\pi\times d) \quad (12)$$

$$- C_{m2} = L + 2e + S_1 + S_2 + L + S_2 + \sqrt{S_1^{\,2}+L^2} + 7\times\frac{d}{2} \quad (13)$$

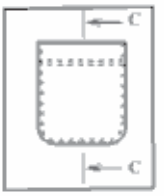
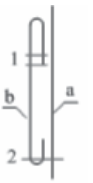
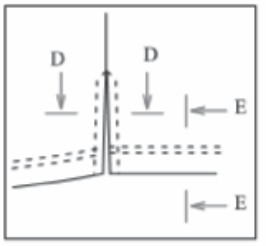
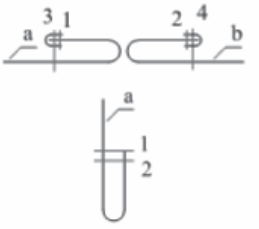
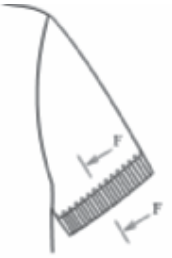
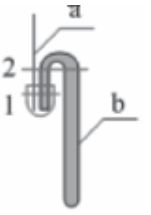
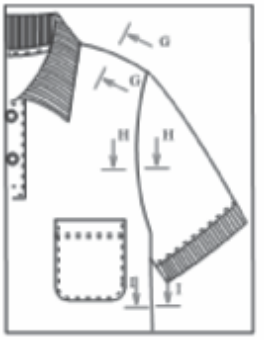
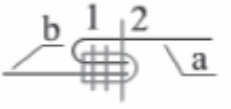
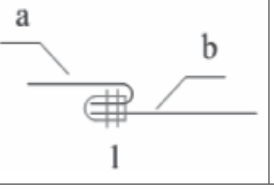
Với: $S_1 = r1 + \frac{e}{2} + d$; $S_2 = r2 + d$ (14)

2.3.3. Phân tích quy trình công nghệ gia công sản phẩm áo Polo-Shirt

Bảng 2.1. Kết cấu cụm chi tiết chính và đường liên kết của nhóm sản phẩm áo Polo-Shirt

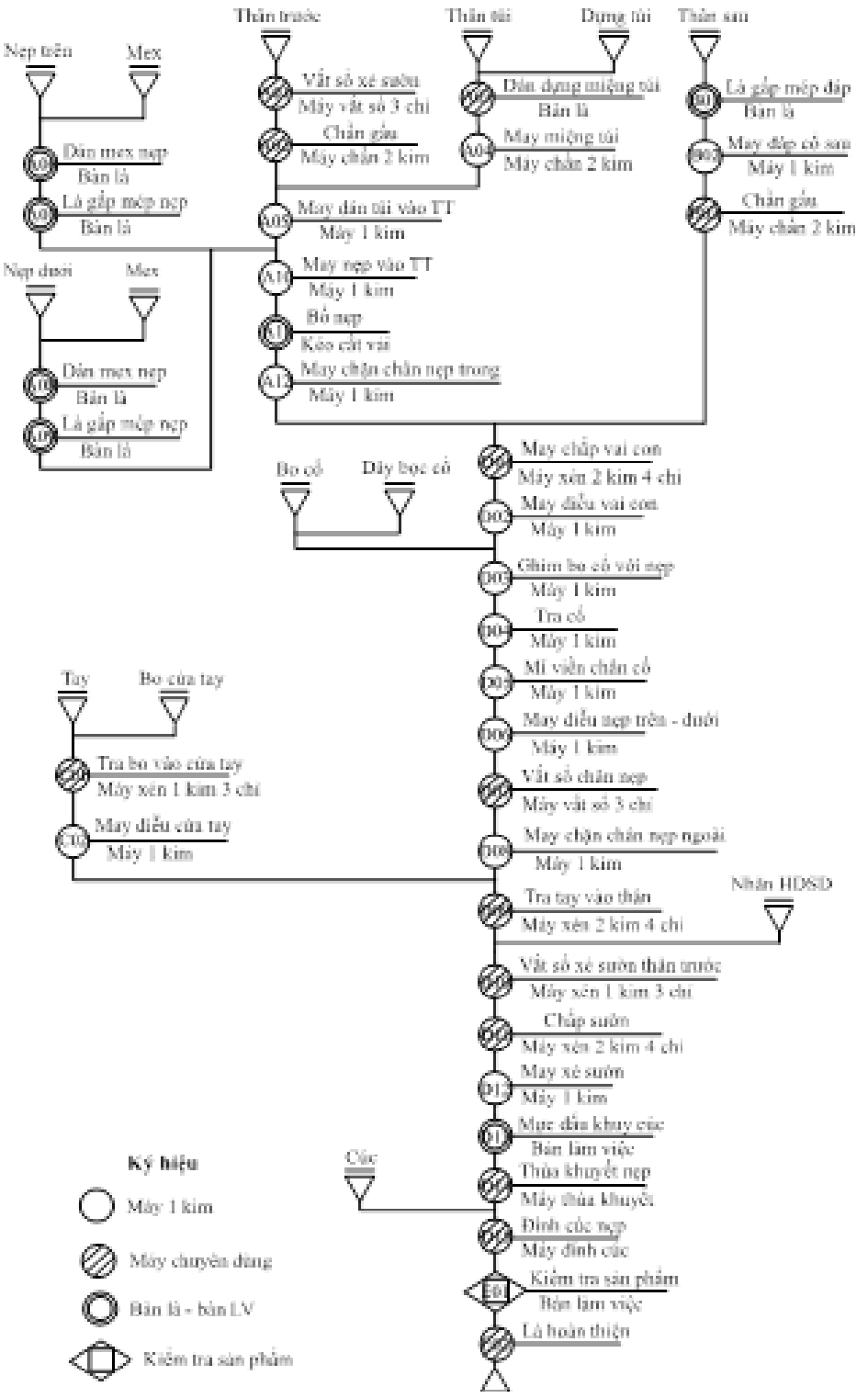
Cụm chi tiết	Tên cụm kết cấu	Kết cấu cụm chi tiết	Giải thích ký hiệu
Cụm cổ	Cổ cài kín không chân, bản cổ bằng băng dệt 	Mặt cắt (A-A) 	a. Thân áo; b. Bo cổ; c. Dây viền 1- May bo cổ vào thân áo 2- May dây viền vào thân áo 3- Đường may mí dây viền
Cụm nẹp	Nẹp cân xòa 	Mặt cắt (B-B) 	a. Thân áo; b. Nẹp trên c. Nẹp dưới; d. Dựng nẹp 1- Đường may nẹp vào thân 2+4- May bản to nẹp trên 3+5- May mí diễu nẹp

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

<table>
<tr><td rowspan="1">Cụm túi</td><td>Túi ốp ngoài
  </td><td>Mặt cắt (C-C)
  </td><td>a. Thân áo
b. Túi áo
1- Đường may miệng túi
2- May gắn túi vào thân áo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Cụm gấu áo</td><td rowspan="2">Gấu chần đè 2 kim
  </td><td rowspan="2">Mặt cắt (D-D) và (E-E)
  </td><td>a. Thân trước; b. Thân sau
1+2- Vắt sổ
3+4- May xẻ</td></tr>
<tr><td>a. Thân áo
1+2- May gấu (chần đè)</td></tr>
<tr><td>Cụm gấu tay</td><td>Xén 3 chỉ - lật đè mí
  </td><td>Mặt cắt (F-F)
  </td><td>a. Tay áo
b. Bo cửa tay
1- Đường may xén (chắp bo tay)
2- May mí đè bo cửa tay</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Đường liên kết</td><td rowspan="2">- May vai con, vòng nách
- Sườn áo, bụng tay
  </td><td>Mặt cắt (G-G)
  </td><td>a. Thân sau; b. Thân trước
1- May xén (chắp vai con)
2- Đường may diễu</td></tr>
<tr><td>Mặt cắt (H-H) và (I-I)
  </td><td>a. Thân trước; b. Thân sau
1- May xén
(chắp sườn, vòng nách)</td></tr>
</table>

☞

* Phân tích quy trình công nghệ may sản phẩm sản phẩm áo Polo-Shirt:



Hình 7. Sơ đồ phân tích quy trình công nghệ may sản phẩm sản phẩm áo Polo-Shirt

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Xác định tiêu hao chỉ cho các đường may sử dụng may áo Polo-Shirt bằng phương pháp thực nghiệm và tính toán

Bảng 3.1. Bảng xác định định mức tiêu hao chỉ 1 cm chiều dài đường may

Đường may	Số lớp vải	Kết quả đo thực nghiệm theo mật độ mũi may (cm/cm)					Kết quả tính toán theo mật độ mũi may (cm/cm) theo công thức (2;5;6;10)				
		3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
301	2	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	2,34	2,46	2,57	2,69	2,8
	3	2,5	2,7	2,8	3,0	3,2	2,43	2,58	2,72	2,87	3,01
	4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	2,52	2,7	2,87	3,05	3,22
	5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	2,61	2,82	3,02	3,23	3,43
	6	2,8	3,0	3,4	3,6	3,8	2,7	2,94	3,17	3,41	3,64
406	2	8,5	9,0	9,7	10,5	11,2	7,99	8,54	9,1	9,68	10,26
	3	8,9	9,5	10,3	10,9	11,7	8,19	8,81	9,3	10,08	10,74
	4	9,0	9,7	10,5	11,3	12,2	8,4	9,08	9,78	10,49	11,21
	5	9,4	10,1	10,9	11,8	12,7	8,6	9,34	10,11	10,89	11,68
	6	9,7	10,5	11,4	12,3	13,2	8,8	9,64	10,45	11,3	12,15
504	2	13,6	15,7	17,8	20,1	22,0	12,48	14,36	16,26	18,16	20,08
	3	13,9	15,8	18,1	20,5	22,5	12,64	14,57	16,52	18,48	20,45
	4	14,0	16,1	18,5	20,5	22,9	12,79	14,78	16,78	18,79	20,81
	5	14,0	16,4	18,5	21,0	23,4	12,95	14,98	17,04	19,11	21,18
	6	14,4	16,7	18,9	21,6	24,0	13,1	15,19	17,3	19,42	21,55
514	2	15,0	18,2	21,5	24,6	28,2	13,82	16,72	19,66	22,63	25,62
	3	15,3	18,8	22,1	25,8	28,9	14,16	17,17	20,22	23,3	26,41
	4	15,8	19,3	22,5	26,4	29,6	14,5	17,62	20,78	23,98	27,19
	5	16,2	19,6	23,3	27,0	30,7	14,84	18,07	21,34	24,65	27,98
	6	16,7	20,0	23,9	27,2	31,7	15,17	18,52	21,91	25,33	28,77

So sánh kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán cho các dạng đường may dựa vào công thức (15):

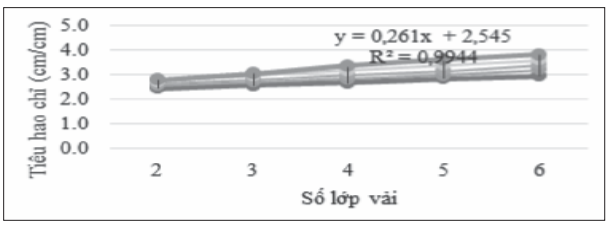
$$\text{Sai số} = \frac{|\text{KQ tính toán} - \text{KQ thực nghiệm}|}{\text{KQ thực nghiệm}} \times 100 \quad (15)$$

Bảng 3.2. Sai số trung bình của từng loại đường may

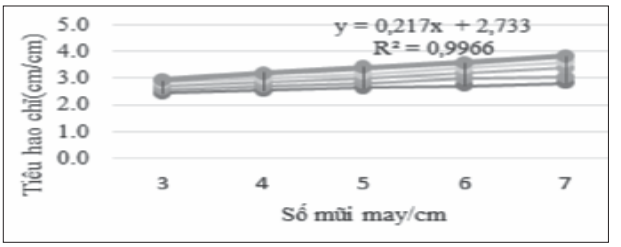
Đường may mũi	**301**	**406**	**504**	**514**
Sai số (%)	3,83 đến 4,93	7,64 đến 8,05	8,38 đến 9,23	8,21 đến 8,79

Kết quả trong bảng 3.2 cho ta thấy sai số trung bình không vượt quá 10%, sai số này nằm trong khoảng giá trị của các nghiên cứu đã công bố trước đây [5], đường may 301 có sai số nhỏ nhất và đường may 504 và 514 có sai số lớn hơn. Vì vậy, các mô hình sử dụng trong nghiên cứu là hợp lý và các phát hiện có tính ứng dụng cao trong thực tiễn sản xuất. Một số nguyên nhân dẫn đến sai số này có thể giải thích dựa trên quá trình tạo mũi may, các lớp vải bị ép lại, chỉ bị kéo căng gây ra biến dạng của vải và chỉ may, ngoài ra với cấu trúc từng loại đường may, dưới tác động của thiết bị làm thay đổi chiều dài đường may, độ rộng đường may.

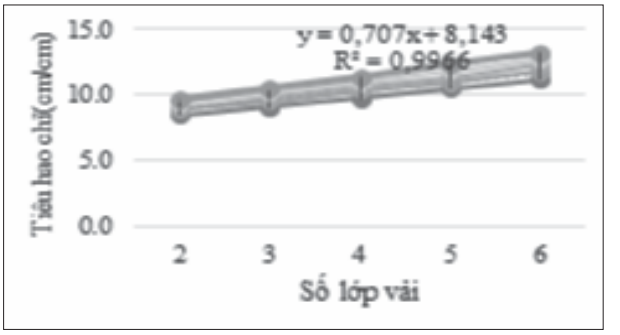
Dựa vào kết quả thống kê trong bảng 3.1, tiến hành phân tích mối quan hệ giữa mật độ mũi may và chiều dài đường may, độ dày lớp vật liệu với chiều dài đường may trên phần mềm Excel, tìm quan hệ tuyến tính giữa các đại lượng này để làm cơ sở tính toán lượng tiêu hao chỉ cho các dạng đường may khi thay đổi các biến đầu vào của đường may như mật độ mũi may, độ dày lớp vật liệu, độ rộng đường may, chi số chỉ…



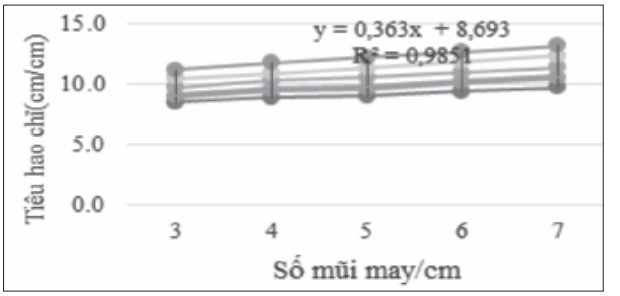
Hình 8. Mối quan hệ chiều dài đường may và số lớp vải đường may mũi 301



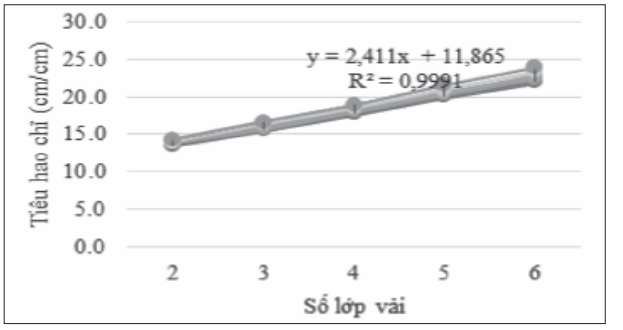
Hình 9. Mối quan hệ chiều dài đường may và mật độ mũi may/cm đường may mũi 301



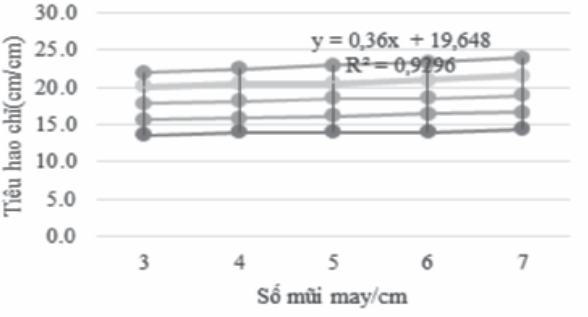
Hình 10. Mối quan hệ chiều dài đường may và số lớp vải đường may mũi 406



Hình 11. Mối quan hệ chiều dài đường may và mật độ mũi may/cm đường may mũi 406

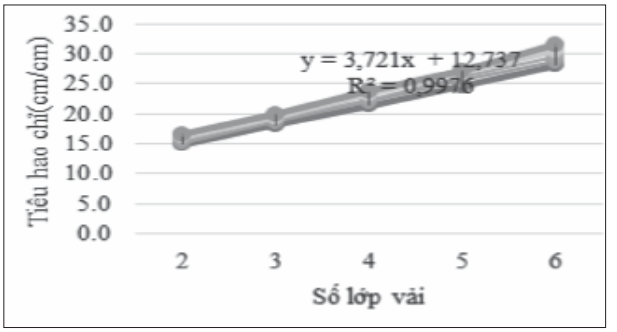


Hình 12. Mối quan hệ chiều dài đường may và số lớp vải đường may mũi 504

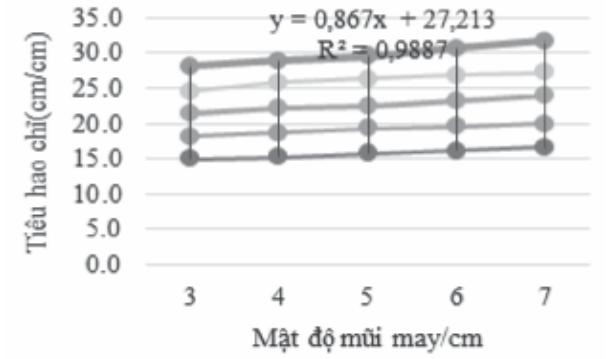


Hình 13. Mối quan hệ chiều dài đường may và mật độ mũi may/cm đường may mũi 504

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 14. Mối quan hệ chiều dài đường may và số lớp vải đường may mũi 514



Hình 15. Mối quan hệ chiều dài đường may và mật độ mũi may/cm đường may mũi 514

Kết quả phân tích cho thấy các mô hình đã thiết lập cho phép tính lượng chỉ tiêu hao cho các đường may một cách khá chính xác với hệ số xác định $R^2 = 0,929 \div 0,999$. Lượng chỉ tiêu hao cho các đường may đã nghiên cứu tỷ lệ thuận với chiều dài đường may, mật độ mũi may, độ dày vật liệu.

3.2. Tính định mức tiêu hao chỉ sản phẩm áo Polo-Shirt

Tính định mức chỉ sử dụng cho từng loại đường may trên sản phẩm dựa vào tổng chiều dài đường may và hệ số tiêu hao chỉ cho từng đường may theo công thức:

$$L_k = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} L_{kij} + h_p \quad (16)$$

Trong đó: L_k là lượng chỉ tiêu hao của loại chỉ k cho một sản phẩm, L_{ij} là lượng chỉ tiêu hao cho đường may thứ j của loại đường may i may bằng chỉ loại k (được tính từ mô hình xác định lượng chỉ tiêu hao cho loại đường may i); m là tổng chiều dài đường may i bằng chỉ k; n là số lượng đường may may bằng chỉ k trên sản phẩm; h_p là lượng chỉ hao hụt tính cho loại chỉ k.

Dựa trên kết quả tính lượng chỉ tiêu hao cho các dạng đường may trong bảng 3.1; Phân tích quy trình công nghệ gia công sản phẩm hình 2, chiều dài đường may các chi tiết được xác định dựa trên phần mềm thiết kế chuyên ngành Gerber. Nghiên cứu chọn các thông số đường may phù hợp điều kiện sản xuất thực tế tại doanh nghiệp như: mật độ mũi may 7 mũi/cm, số lớp vật liệu dựa vào bảng phân tích cấu trúc đường may trong bảng 2.3 để xác định. Nghiên cứu tập trung tính lượng chỉ may thực tế, chưa tính hao phí khác như đầu và cuối đường may, lượng chỉ tồn dư trên máy sau sản xuất.

Bảng 3.3. Bảng tính lượng tiêu hao chỉ áo Polo-Shirt cỡ M của đơn hàng PLS-200A với mật độ mũi may 7 mũi/cm (đơn vị: cm)

Ký hiệu	Tên đường may	Chiều dài đm	Số lượng đm (n)	Tổng chiều dài đường may (m)	Tiêu hao chỉ cho 1 cm đm (L_{ij})	Tiêu hao chỉ trên từng công đoạn SP (L_{kij})
Nhóm đường may (301)						
A05	May dán túi vào thân trước	37	01	37	2,9	107,3
A10	May nẹp vào thân trước	17	02	34	2,9	98,6
A12	May chặn chân nẹp trong	3	01	3	3,8	11,4
B02	May đáp cổ vào thân sau	20	01	20	2,9	58,0
D02	May diễu vai con	13,5	02	27	3,2	86,4
D03	Ghim bo cổ với nẹp	5	02	10	2,9	29
D04	Tra cổ	43	01	43	2,9	124,7
D05	Mí viền chân cổ	40	01	40	2,9	116
D06	Mí diễu nẹp trên – dưới	33	02	66	2,9	191,4
D08	May chặn chân nẹp ngoài	6	01	6	3,8	22,8
C02	Diễu cửa tay	34,5	02	69	2,9	200,1
D11	May xẻ hai bên sườn	10	02	20	3,2	64
Nhóm đường may (406)						
A02	May chần gấu thân trước	49	01	49	13,2	646,8
A04	May chần miệng túi ngực	13	01	13	13,2	171,6
B03	May chần gấu thân sau	49	01	49	13,2	646,8
Nhóm đường may (504)						
D07	Vắt sổ chân nẹp	3	01	3	24	72
C01	Tra bo vào cửa tay	34,5	02	69	24	1656
D10	Vắt sổ xẻ sườn thân trước	8	02	16	24	384
Nhóm đường may (514)						
D01	Chắp vai con	13,5	02	27	31,7	855,9
D09	Tra tay	49	02	98	31,7	3106,6
D11	Chắp sườn	48,5	02	97	31,7	3074,9
Tổng chỉ may trên sản phẩm (cm)						11.724,3

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Kết quả xác định lượng chỉ tiêu hao may áo Polo-Shirt hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát tại doanh nghiệp và nghiên cứu công bố trước đây [1], lượng chỉ tiêu hao trung bình các cỡ trong đơn hàng khoảng 11.500 đến 12.000 cm. Trong thực tế, dựa trên định mức sản phẩm cỡ trung bình cộng thêm hệ số chênh lệch hệ số giữa các cỡ và lượng chỉ hao phí đầu đường may, chỉ thùa khuy cúc, lượng chỉ tồn đọng trên dây chuyền trung bình từ 6 đến 10%, tuỳ theo số lượng hàng và màu sắc để xác định lượng chỉ cho toàn bộ đơn hàng.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu xác định tiêu hao chỉ cho các đường may sử dụng mũi 301, 406, 504 và 514 bằng phương pháp khảo sát thực nghiệm và tính toán dựa trên cấu trúc hình học đường may, kết quả cho thấy sai số giữa phương pháp tính toán dưới 10%. Kết quả thống kê phân tích chỉ ra mật độ mũi may có ảnh hưởng lớn nhất đến lượng tiêu hao của chỉ cho các dạng đường may, độ dày lớp vật liệu thể hiện qua số lớp vải trên các đường may ít ảnh hưởng tới mức tiêu hao của chỉ, đường kính của chỉ có ảnh hưởng không đáng kể đến mức tiêu hao chỉ cho các dạng đường may. Mô hình tuyến tính thể hiện mối quan hệ giữa lượng chỉ tiêu hao cho chiều dài đường may với mật độ mũi may và độ dày lớp vật liệu với hệ số xác định rất cao R^2 = 0,929 đến 0,999. Điều này thể hiện lượng chỉ tiêu hao cho các đường may đã nghiên cứu tỷ lệ thuận với chiều dài đường may, mật độ mũi may và độ dày vật liệu. Phương pháp tính toán lượng tiêu hao của chỉ dựa trên cấu trúc hình học đường may có sai số nhỏ so với lượng chỉ tiêu hao thực nghiệm trong nghiên cứu và kết quả so sánh với thực tế sản xuất đơn hàng áo Polo-Shirt tại doanh nghiệp, phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng để xác định lượng chỉ tiêu hao cho sản xuất công nghiệp.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Công ty may Đức Giang và Công ty Thời trang Minh Vũ đã hỗ trợ để chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **17/3/2024**
Ngày phản biện: **18/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. American & Efird, Inc., 2007. *Estimating Thread Consumption.* Technical Bulletin.

[2]. Abher R., Sheraz A., Mohsin M., Faheem A., Ali A., 2014. *Geometrical model to calculate the consumption of sewing thread for 301 Lockstitch.* The Journal of the Textile Institute, 105, 1259-1264.

[3]. Ateeq ur Rehman, Abher Rasheed, Zafar Javed2, M. Salman Naeem, Babar Ramzan, 2021, *Geometrical Model to Determine Sewing Thread Consumption for Stitch Class 406*. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2021; 29, 6(150): 72-76. Doi: 10.5604/01.3001.0015.2726.

[4]. Malek Sarah, Dominique C. Adolphe, Jaouachi Boubaker, 2019. *Prediction of sewing thread consumption for over-edge stitches class 500 using geometrical and multi-linear regression models.* Autex Research Journal, DOI 10.2478/aut-2019-0060 © Autex.

[5]. Abher R., Sheraz A., Nauman A., Ateeq R., Muhammad B. R., et al., 2018. *Geometrical model to calculate the consumption of sewing thread for 504 over-edge stitch.* The Journal of the Textile Institute, 109(11), 1418-1423. https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1423902.

[6]. B. Jaouachi, F. Khedher and D. Adolphe, 2019. *Compared basic stitch's consumptions using image analysis, geometrical modelling and statistical techniques*. The Journal of The Textile Institute, DOI: 10.1080/00405000.2018.1559016.

[7]. Nguyen Thi Le, Pham Thi Huyen, Nguyen Thi Y Ngoc, Nguyen Thi Mai Hoa, Nguyen Trong Tuan, 2023; *Nghiên cứu định mức chỉ trong may công nghiệp*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Số 59, pp 87-93.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN SAI LỆCH ĐỘ TRÒN CỦA CHI TIẾT KHI MÀI ĐỊNH HÌNH VÔ TÂM RÃNH LĂN VÒNG BẠC Ổ BI

STUDY ON THE INFLUENCE OF SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE WORKPIECE ROUNDNESS IN THE SHOE-TYPE CENTERLESS GRINDING OPERATION FOR RACEWAY OF BALL BEARING

Nguyễn Anh Tuấn[1], Nguyễn Quang Dũng[2]
[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp
[2]Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Vòng bi là sản phẩm cơ khí có độ chính xác cao, được sử dụng rất rộng rãi và chiếm một vị trí hết sức quan trọng trong các ngành công nghiệp. Vòng bi có cấu tạo gồm có 04 bộ phận chính: Vòng bạc ngoài, vòng bạc trong, viên bi, vòng cách. Trong công nghệ gia công vòng bi hiện nay, mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định là một trong các phương pháp gia công phổ biến để gia công tinh bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi. Trong quá trình gia công này, các thông số công nghệ có ảnh hưởng quan trọng đến độ chính xác của chi tiết nói chung và sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi nói riêng. Vì vậy, bài báo đã tập trung nghiên cứu về công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định, trên cơ sở này phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi để nâng cao chất lượng của chi tiết trong quá trình chế tạo.

Từ khóa: *Sai lệch độ tròn; Vòng bi; Mài định hình vô tâm.*

ABSTRACT

Bearings are high-precision mechanical products and increasingly popular in industries. Bearings occupy a very important position in industries. Bearings are composed of 4 main parts including outer ring, inner ring, ball, and cage. In current bearing machining technology, the shoe-type centerless grinding is one of the popular machining methods to finish the surface of bearing raceways. In this machining process, technological parameters have an important influence on the accuracy of the part in general and the roundness of the bearing raceway surface in particular. Therefore, the article focused on researching the technology of the shoe-type centerless grinding. Based on that, the influence of technological parameters on the roundness of the bearing raceway surface is analyzed to improve the quality of the part in the manufacturing process.

Keywords: *Roundness; Bearings; The shoe-type centerless grinding.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vòng bi là sản phẩm cơ khí có độ chính xác cao và được coi là trái tim của tất cả các ứng dụng sử dụng trục quay nói riêng và động cơ nói chung [1]. Vòng bi có cấu tạo gồm có 4 bộ phận chính: Vòng bạc ngoài, vòng bạc trong, viên bi, vòng cách [1, 2]. Một trong các yêu cầu kỹ thuật quan trọng quyết định đến khả năng làm việc và tuổi bền của vòng bi là yêu cầu về sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi. Trong công nghệ gia công vòng bi hiện nay, mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi là một trong các phương pháp gia công phổ biến để gia công tinh bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi. Trong quá trình gia công này, các thông số công nghệ có ảnh hưởng quan trọng đến sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi.

Vì vậy, bài báo đã tập trung nghiên cứu về công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định, trên cơ sở này phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi để nâng cao chất lượng của chi tiết trong quá trình chế tạo.

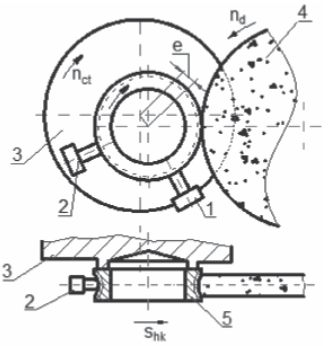
2. NỘI DUNG

2.1. Công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi trong đó chi tiết được định vị trên hai giá đỡ cố định

Trong công nghệ gia công vòng bi hiện nay, mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định là một trong các phương pháp gia công phổ biến để gia công tinh bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi.

- Công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc trong vòng bi cầu:

Sơ đồ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc trong ổ bi như thể hiện trên hình 1. Bản chất, đây chính là sơ đồ mài vô tâm chạy dao ngang định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định. Trong sơ đồ gia công ở đây, sử dụng chuẩn định vị là bề mặt rãnh lăn cần gia công và mặt đầu của chi tiết vòng trong ổ bi, để giảm sai số gá đặt và đảm bảo vị trí tương quan giữa đường tâm rãnh lăn với mặt đầu. Phôi mài sẽ được định vị vào đường lăn cần gia công nhờ hai chốt tỳ đầu chỏm cầu số 1 và 2 hoặc một khối V ngắn (khống chế 2 bậc tự do). Do đó, bề mặt chuẩn lúc này trùng với bề mặt rãnh lăn cần gia công nên sai số chuẩn là nhỏ nhất. Ngoài ra, mặt đầu của chi tiết gia công được định vị vào mặt đầu của cực từ số 3 (khống chế 3 bậc tự do) nên đảm bảo được độ song song giữa đường tâm rãnh lăn với mặt đầu. Đồng thời, phôi mài được kẹp chặt nhờ lực hút từ trường qua cực từ số 3, cực từ được bắt chặt trên trục chính của máy. Trục này sẽ truyền mô-men xoắn cho chi tiết gia công. Chính vì vậy, quá trình định vị và kẹp chặt chi tiết được thực hiện đơn giản và nhanh chóng. Đặc biệt, chuyển động quay của phôi không phụ thuộc vào độ đảo của trục chính và ảnh hưởng từ dao động đàn hồi của hệ thống [3-4]. Do đó, phương pháp mài định hình vô tâm trên hai giá đỡ cố định giúp nâng cao được năng suất gia công và đảm bảo độ chính xác của chi tiết mài.

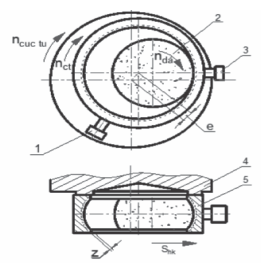


Hình 1. Sơ đồ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc trong vòng bi cầu [3-4]:
1, 2. Chốt tỳ đầu chỏm cầu; 3. Cực từ; 4. Đá mài; 5. Chi tiết mài

Trong quá trình mài, chi tiết và đá mài quay xung quanh đường tâm theo hai hướng khác nhau với tốc độ n_{ct} và n_d. Bàn máy mang phôi (bàn ụ vật) thực hiện chuyển động chạy dao hướng kính S_{hk}. Lực kẹp chi tiết vào các điểm tỳ được tạo ra từ sự lệch tâm giữa tâm chi tiết so với tâm cực từ (độ lệch tâm e) [3-4].

- Công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ngoài vòng bi cầu:

Sơ đồ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc trong ổ bi như thể hiện trên hình 2. Tương tự như quá trình mài định hình rãnh lăn vòng bạc trong thì trong sơ đồ gia công này sử dụng chuẩn định vị là bề mặt trụ ngoài và mặt đầu của vòng bạc ổ bi cầu. Bề mặt trụ ngoài của vòng bạc được tỳ trên hai chốt tỳ đầu chỏm cầu số 1 và số 3 (khống chế 2 bậc tự do) nên sẽ đảm bảo được độ đồng tâm giữa bề mặt trụ ngoài với bề mặt rãnh lăn cần gia công của vòng bạc. Ngoài ra, mặt đầu của phôi mài được định vị vào mặt đầu của cực từ số 4 (khống chế 3 bậc tự do) nên sẽ đảm bảo được độ song song giữa đường tâm rãnh lăn với mặt đầu. Đồng thời, chi tiết gia công số 5 được kẹp chặt nhờ lực hút từ trường qua cực từ số 4, cực từ được bắt chặt trên trục chính của máy. Trục này truyền cho chi tiết mô-men xoắn. Chính vì vậy, quá trình định vị, kẹp chặt và tháo lắp chi tiết được thực hiện đơn giản và nhanh chóng. Điều này sẽ giúp nâng cao được năng suất gia công mà vẫn giảm thiểu được sai số gá đặt [3-5].



1, 3. Chốt tỳ đầu chỏm cầu;
2. Đá mài;
4. Cực từ;
5. Chi tiết mài

Hình 2. Sơ đồ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ngoài vòng bi cầu [3-5]:

Trong quá trình mài, chi tiết và đá mài ở đây quay cùng một hướng với tốc độ n_{ct} và $n_{đá}$. Đá mài thực hiện chuyển động chạy dao hướng kính S_{hk}. Lực kẹp chi tiết vào các điểm tỳ được tạo ra từ sự lệch tâm giữa tâm chi tiết so với tâm cực từ (độ lệch tâm e) [3-5]. Bản chất đây cũng là phương pháp mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định.

2.2. Phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến độ sai lệch độ tròn của đường kính đáy rãnh lăn

2.2.1. Phân tích ảnh hưởng của việc gá đặt phôi đến sai lệch độ tròn của đường kính đáy rãnh lăn

Một trong những chỉ số quan trọng nhất về độ chính xác của chi tiết khi mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi là độ chính xác về hình dạng trong tiết diện mặt cắt ngang. Các tiêu chuẩn đánh giá sai lệch hình dạng sẽ dùng một chỉ tiêu tổng hợp (chỉ tiêu sai lệch độ tròn) và các chỉ số từng phần (độ ô van, độ đa cạnh).

Sai lệch hình dạng trong tiết diện mặt cắt ngang thường được mô tả bởi một đa thức lượng giác, do hầu hết các yếu tố trong quá trình tạo hình có tính chất chu kỳ. Vì vậy, hình dạng trong tiết diện mặt cắt ngang của chi tiết được hình thành khi mài rãnh định hình tròn xoay trong hệ tọa độ cực sẽ được thể hiện dưới dạng một đa thức lượng giác như sau:

$$r = r_0 + \sum_{n=2}^{p} a_n \cos(n\varphi - \varphi_n) \qquad (1)$$

Trong đó:

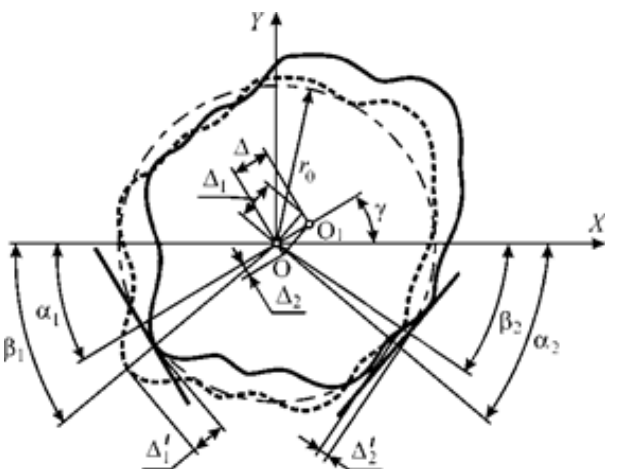
- r_0: Bán kính trung bình của chu vi mặt cắt ngang của phôi;
- n: Tần số méo;
- a_n: Biên độ của sóng méo thứ n;
- φ: Góc cực (góc quay);

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

- φ_n: Góc lệch pha ban đầu của sóng méo thứ n;

- p: Số cạnh méo tối đa của các sóng.

Khi mài định hình vô tâm, phôi gia công thường được gá trên hai giá đỡ cố định. Việc định vị chi tiết gia công được thực hiện trên bề mặt bên ngoài hoặc bề mặt bên trong của phôi. Tuy nhiên, để đánh giá sai lệch hình dạng ở mặt cắt ngang của phôi, ở đây thực hiện phân tích với trường hợp định vị dựa trên bề mặt trụ bên ngoài như trường hợp mài định hình rãnh lăn vòng trong ổ bi cầu (hình 3). Khi đó, vị trí các giá đỡ trong hệ tọa độ tuyệt đối XOY được xác định bởi bán kính phôi r_0 và các góc điều chỉnh α_1, α_2 của các giá đỡ phẳng. Hệ tọa độ tương đối ($X_1O_1Y_1$) được gắn với tâm thực tế O_1 của phôi và được xác định so với hệ tọa độ tuyệt đối (XOY) bởi vector bán kính với độ lớn bằng Δ và góc cực bằng ψ.



Hình 3. Sơ đồ gá đặt khi mài vô tâm với bước tiến ngang [3-5]

Nhận thấy, trong sơ đồ mài ở đây, các điểm tiếp xúc giữa phôi với các giá đỡ sẽ xác định vị trí của phôi. Khoảng cách giữa giá đỡ với phôi ở vị trí ban đầu, được biểu thị bằng giá trị của khoảng cách Δ′ góc cực β và được xác định dựa trên quy trình giảm thiểu sai số [3-5]:

$$\Delta' = \{r_0 - r_1\} \rightarrow \max \quad (2)$$

Khi gia công, phôi sẽ liên tục quay dẫn đến tâm tiết diện mặt cắt ngang của phôi O_1 luôn bị dịch chuyển tùy thuộc vào sai lệch độ tròn của phôi và lượng giảm đường kính phôi trong quá trình mài. Do đó, sai lệch (Δ) giữa vị trí tâm biên dạng thực tế của phôi O_1 với tâm biên dạng tròn tuyệt đối lý tưởng của phôi O khi gá phôi lên hai giá đỡ cố định là một trị số thay đổi. Sau một vòng quay, tâm biên dạng thực tế của phôi sẽ mô tả một đường bao khép kín, đặc trưng cho sai số cơ sở. Về bản chất, sai số cơ sở là sai lệch của phôi ở vị trí thực tế lúc chuẩn bị ban đầu O_1 so với vị trí yêu cầu O [5]. Trong đó, vị trí yêu cầu của phôi (O) là vị trí kỳ vọng ứng với phôi có hình dạng mặt cắt ngang là đường tròn tuyệt đối được xác định bởi vị trí của hai giá đỡ cố định trên máy.

Vì vậy, phương pháp mài định hình vô tâm rãnh tròn xoay có một đặc trưng là xu hướng in dập sai số hình dạng hình học của phôi. Do đó, khi phân tích sai lệch hình dạng mặt cắt ngang của chi tiết nhận thấy trước tiên cần xác định sai số cơ sở [5]. Để đánh giá sai số cơ sở khi mài định hình vô tâm, tác giả O.B. Захаров [5] đã đưa ra một thông số gọi là tiêu chí K. Về bản chất, tiêu chí K là trị số của bán kính số học trung bình xác định tâm biên dạng thực tế O_1 của phôi trong hệ tọa độ cơ bản ứng với một vòng quay của phôi:

$$K = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\Delta(\varphi_i) \quad (3)$$

Trong đó:

- φ_i: Góc quay của phôi;
- k: Số điểm tính toán của quỹ đạo.

Ngoài ra, để đảm bảo độ chính xác của chi tiết thì phôi luôn phải tiếp xúc và tỳ vào hai giá đỡ cố định trong suốt quá trình mài. Do đó, ☞

khi mài phôi phải di chuyển liên tục dọc theo hai giá đỡ với trị số Δ_1 và Δ_2, đây chính là hình chiếu của Δ_1' và Δ_2' theo hướng các góc α_2 và α_1 của các giá đỡ. Tác giả O.B. Захаров [5] đã chứng minh được trị số Δ_1 và Δ_2 xác định theo công thức sau:

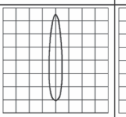
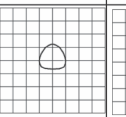
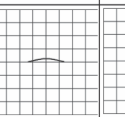
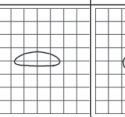
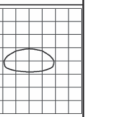
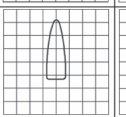
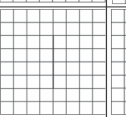
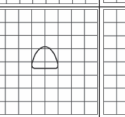
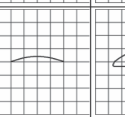
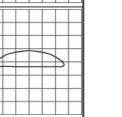
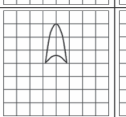
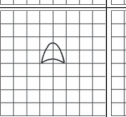
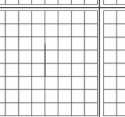
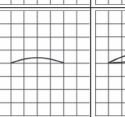
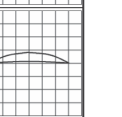
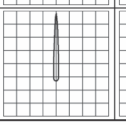
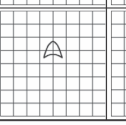
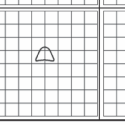
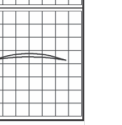
$$\begin{cases} \Delta_1 = \Delta_1'[\sin(\beta_1+\alpha_2)+\cos(\beta_1+\alpha_2)/\,\mathrm{t}\,g(\alpha_1+\alpha_2)] \\ \Delta_2 = \Delta_2'[\sin(\beta_2+\alpha_1)+\cos(\beta_2+\alpha_1)/\,\mathrm{t}\,g(\alpha_1+\alpha_2)] \end{cases} \quad (4)$$

Từ đó, nhận thấy vị trí tâm O_1 thực tế của phôi trong suốt quá trình mài được xác định bởi khoảng cách Δ và góc ψ theo công thức như sau [5]:

$$\begin{cases} \Delta = \sqrt{\Delta_1^2+\Delta_2^2-2\Delta_1\Delta_2\cos(\alpha_1+\alpha_2)} \\ \psi = \mathrm{arc}ctg\,\dfrac{\Delta_1\sin\alpha_2+\Delta_2\sin\alpha_1}{\Delta_1\cos\alpha_2-\Delta_2\cos\alpha_1} \end{cases} \quad (5)$$

Trên cơ sở này, tác giả O.B. Захаров [5] đã xây dựng một chương trình phần mềm riêng để tính toán các thông số, xác định sai số cơ sở và quỹ đạo chuyển động của tâm phôi trong quá trình mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định. Từ đó, ta nhận thấy quỹ đạo chuyển động của tâm phôi ở đây phụ thuộc vào góc điều chỉnh của các giá đỡ α (với $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$) và sai lệch hình dạng ban đầu của phôi là méo 2 cạnh, 3 cạnh, 4 cạnh hay 5 cạnh trong một vòng quay như thể hiện trong bảng 1 [5]. Trong khi, quỹ đạo chuyển động của tâm phôi gia công sẽ quyết định đến trị số sai lệch hình dạng ở tiết diện ngang của chi tiết sau khi mài. Do đó, căn cứ vào các dạng méo của phôi và góc điều chỉnh của các giá đỡ sẽ xác định được giá trị của tiêu chí K (đặc trưng cho sai số cơ sở khi mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định) như trong bảng 2 [5]. Các kết quả tính toán được thể hiện ở bảng 2.2 với số điểm trên quỹ đạo k = 180.

Bảng 1. Quỹ đạo chuyển động của tâm phôi khi mài trên máy mài vô tâm [5]

n (Số cạnh méo)	Góc điều chỉnh của các giá đỡ $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$				
	30^0	60^0	90^0	120^0	150^0
2					
3					
4					
5					

Bảng 2. Tiêu chí K khi mài vô tâm với bước tiến ngang [5]

n (Số cạnh méo)	Góc điều chỉnh α											
	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0	100^0	110^0	120^0	130^0	140^0	150^0
2	1,55	1,19	0,99	0,88	0,86	0,91	0,99	1,10	1,20	1,30	1,38	1,45
3	1,64	1,43	1,22	1,07	0,99	0,95	0,96	1,05	1,20	1,36	1,55	1,74
4	1,27	1,10	1,00	0,97	0,93	0,82	0,83	0,89	1,02	1,22	1,45	1,73
5	1,70	1,30	1,14	1,05	0,97	0,89	0,81	0,72	0,82	1,00	1,25	1,57

Như vậy, quỹ đạo chuyển động của tâm phôi khi mài định hình vô tâm ứng với các góc α nhỏ thì có hình dạng kéo dài dọc theo trục Y, còn với các góc α lớn thì kéo dài dọc theo trục X. Nếu quỹ đạo tâm phôi có dạng một đường thẳng (ứng với sóng méo 2 cạnh và α = 90°; sóng méo 3 cạnh và α = 60° hoặc α = 120°; sóng méo 4 cạnh và α = 90° hoặc 120°) thì tâm của phôi đi qua hai lần quỹ đạo này trong một vòng quay của phôi.

Đặc biệt, trên cơ sở phân tích sai số cơ sở theo tiêu chí K cho thấy đối với phôi có các dạng méo 2 cạnh, 3 cạnh, 4 cạnh và 5 cạnh thì góc điều chỉnh tối ưu α nằm trong khoảng từ 80° đến 110°. Đối với các trường hợp α = 40°

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

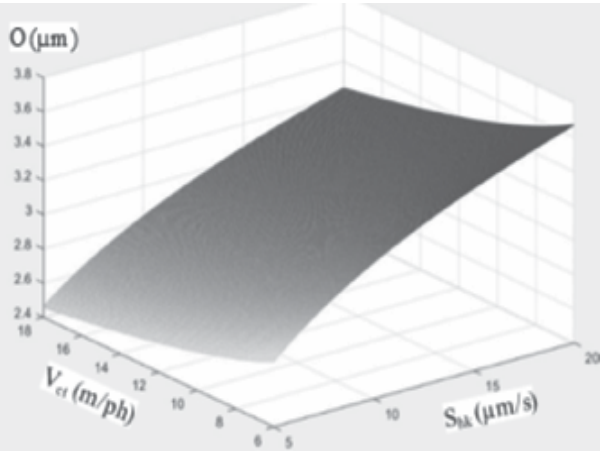
÷ 150° thì giá trị của tiêu chí K thay đổi từ 0,72 đến 1,74. Do đó, việc điều chỉnh tối ưu góc gá đặt các giá đỡ khi mài định hình vô tâm cho phép giảm sai số cơ sở so với sai số biên dạng ban đầu của phôi xuống 30%, trong khi việc điều chỉnh không hợp lý có thể làm tăng sai số trên lên đến 2 lần.

Nhận xét: Từ các phân tích ở trên nhận thấy, sai lệch độ tròn nói chung và độ ô van nói riêng của chi tiết khi mài định hình vô tâm trên hai giá đỡ cố định phụ thuộc vào quỹ đạo chuyển động của tâm phôi gia công và độ ổn định trong chuyển động quay của phôi. Trong đó, quỹ đạo chuyển động của tâm phôi gia công phụ thuộc vào góc gá đặt hai giá đỡ và sai lệch hình dạng ban đầu của phôi. Với góc gá đặt tối ưu của hai giá đỡ là $\beta = 120°$ và $\gamma = 50°$ thì quá trình mài sẽ sửa được nhiều nhất sai lệch hình dạng ban đầu của phôi.

2.2.2. Phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ khác đến sai lệch độ tròn của đường kính đáy rãnh lăn

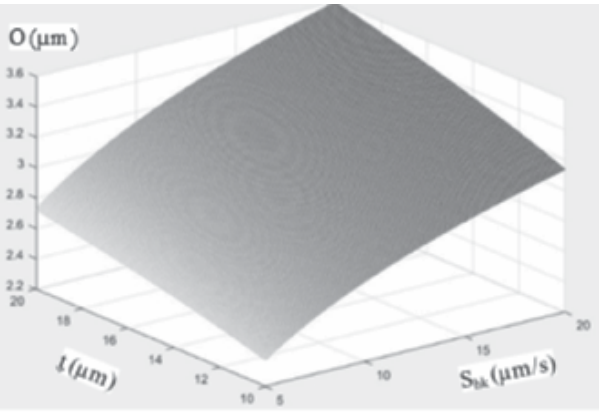
Trong quá trình mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định, bên cạnh ảnh hưởng của quá trình gá đặt phôi, sai lệch độ tròn của chi tiết cũng chịu ảnh hưởng độ cứng vững của hệ thống công nghệ, lực cắt và chế độ cắt. Cụ thể, trong công nghệ mài định hình vô tâm này, chiều sâu cắt trên một vòng quay của chi tiết hay lượng chạy dao vòng tăng tỷ lệ với thể tích cắt riêng trong một đơn vị thời gian. Nguyên nhân là do lượng chạy dao vòng ở đây được tạo lên từ việc phối hợp của hai chuyển động, bao gồm: Chuyển động chạy dao hướng kính và chuyển động quay của chi tiết. Do đó, khi tăng lượng chạy dao hướng kính hay giảm vận tốc của chi tiết thì giá trị chiều sâu cắt cho một vòng quay sẽ tăng, dẫn đến sự phân bố không đồng đều về lượng dư theo chu vi bề mặt chi tiết mài sẽ tăng, do đó sai lệch độ tròn của bề mặt chi tiết rãnh lăn vòng bạc ổ bi khi mài sẽ tăng theo như kết quả thực nghiệm thể hiện trên hình 4 khi tiến hành mài định hình rãnh lăn vòng bạc trong của vòng bi cầu 6205 trên máy mài định hình đường lăn 3MK136B với chế độ công nghệ như sau:

- Đá mài: 500x8x203A/WA100xLV60;
- Vận tốc cắt: $V_đ = 60$ (m/s);
- Lượng chạy dao hướng kính khi mài thô: $S_{hk\ thô} = 30$ (µm/s);
- Lượng chạy dao hướng kính khi mài tinh nằm trong khoảng: 5 (µm/s) $\leq S_{hk} \leq$ 20 (µm/s);
- Tốc độ của phôi nằm trong khoảng: 6 (m/ph) $\leq V_{ct} \leq$ 18 (m/ph);
- Lượng dư khi mài thô và mài tinh: $t_{thô} = 120$ µm; $t_{tinh} = 10$ µm;
- Thời gian trễ khi mài thô để thực hiện mài phát hoa lửa: T = 1 (s);
- Thời gian trễ khi mài tinh để thực hiện mài phát hoa lửa: T = 2 (s);
- Góc gá đặt hai giá đỡ và khoảng lệch tâm e: $\alpha = 10°$, $\beta = 120°$, $\gamma = 50°$, e = 0,4 mm.



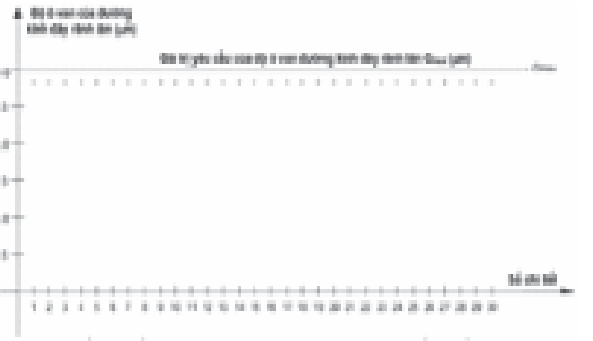
Hình 4. Đồ thị thể hiện mức độ ảnh hưởng của lượng chạy dao hướng kính S_{hk}, vận tốc chi tiết V_{ct} đến độ ô van O của đường kính đáy rãnh lăn vòng bạc ổ bi khi mài định hình vô tâm

Ngoài ra, sai lệch độ tròn của đường kính đáy rãnh lăn khi mài định hình vô tâm trên hai giá đỡ cố định cũng phụ thuộc vào lượng dư mài. Khi tăng lượng dư mài t thì độ ô van O của đường kính đáy rãnh lăn khi mài sẽ tăng nhưng lượng tăng là không đáng kể. Điều đó chứng tỏ lượng dư mài ở đây ảnh hưởng không nhiều đến sai lệch độ tròn của chi tiết mài như kết quả thực nghiệm thể hiện trên hình số 5 khi tiến hành mài định hình rãnh lăn vòng bạc trong của vòng bi cầu 6205 trên máy mài định hình đường lăn 3MK136B với điều kiện thực nghiệm tương tự như trong thực nghiệm trước nhưng lượng dư mài tinh thay đổi nằm trong khoảng 10 (μm) ≤ t ≤ 20 (μm).



Hình 5. Đồ thị thể hiện mức độ ảnh hưởng của lượng chạy dao hướng kính S_{hk}, chiều sâu mài t đến độ ô van O của đường kính đáy rãnh lăn vòng bạc ổ bi khi mài định hình vô tâm

Bên cạnh đó, sai lệch độ tròn của đường kính đáy rãnh lăn vòng bạc khi mài định hình vô tâm định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định cũng phụ thuộc vào độ lệch tâm e giữa tâm quay của phôi và tâm cực từ. Trong suốt quá trình mài ở đây, bề mặt gia công của vòng bạc phải luôn tiếp xúc với hai giá đỡ và đá mài. Độ chính xác hình dáng hình học của rãnh lăn ở đây bị ảnh hưởng nhiều bởi độ ổn định của vòng bạc vòng bi trên các giá đỡ trong suốt quá trình mài. Để đảm bảo vị trí ổn định của phôi trong suốt quá trình mài, thì tâm của phôi sẽ được đặt lệch so với tâm cực từ một khoảng là e. Điều này dẫn đến trong quá trình mài sẽ phát sinh vận tốc trượt tương đối của phôi dọc theo mặt cực từ để tạo ra lực đẩy (chính là lực ma sát F) nhằm ép bề mặt rãnh lăn của phôi luôn tiếp xúc và tỳ vào các giá đỡ. Độ lớn của lực ma sát F này tỷ lệ thuận với độ lớn của lực ép phôi vào mặt cực từ Q và khoảng lệch tâm e. Lực ma sát này có phương vuông góc với đường thẳng nối tâm quay của cực từ và tâm quay của phôi. Đặc biệt độ lệch tâm e theo [5] nên được điều chỉnh với $\Delta y = \Delta z = 0,4$ mm là tốt nhất. Khi độ lệch tâm e tăng sẽ làm tăng độ mài mòn của mặt cực từ do quá trình trượt tăng lên. Khi giảm độ lệch tâm thì có nguy cơ trượt phôi ra khỏi hai giá đỡ, đặc biệt với những phôi có sai lệch hình dáng hình học lớn. Tuy nhiên, đối với trường hợp mài định hình vô tâm trên hai giá đỡ cố định thì sai lệch độ tròn của chi tiết mài sẽ không phụ thuộc vào số lượng chi tiết mài hay thời gian mài như kết quả thực nghiệm thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Sơ đồ phân bố độ ô van của đường kính đáy rãnh lăn theo số chi tiết mài

Nhận xét: Với trường hợp mài định hình vô tâm trên hai giá đỡ cố định thì độ ô van của chi tiết phụ thuộc vào góc gá đặt hai giá đỡ, sai lệch hình dạng của phôi, khoảng lệch tâm e giữa tâm phôi với tâm cực từ, lượng dư mài, vận tốc của chi tiết và lượng chạy dao hướng kính.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về công nghệ mài định hình vô tâm rãnh lăn vòng bạc ổ bi định vị chi tiết trên hai giá đỡ cố định. Trên cơ sở này, bài báo đã phân tích được ảnh hưởng của một số thông số công nghệ quan trọng đến sai lệch độ tròn của bề mặt rãnh lăn vòng bạc ổ bi, từ đó định hướng giúp người vận hành lựa chọn được các thông số công nghệ phù hợp để đảm bảo độ chính xác của chi tiết trong quá trình gia công chế tạo.❖

Ngày nhận bài: **15/4/2024**
Ngày phản biện: **03/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Viết Tiếp, Vũ Toàn Thắng, Nguyễn Anh Tuấn; "*Nghiên cứu công nghệ gia công vòng trong và ngoài của vòng bi 6205 và ảnh hưởng của lượng chạy dao ngang đến độ nhám bề mặt đối với nguyên công mài định hình rãnh lăn vòng bạc ổ bi*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số tháng 1+2, 2005.

[2]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển; "*Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*", Tập 1 và 2, NXB. Giáo dục Việt Nam, 2006.

[3]. Nguyen Anh Tuan, "*Multi-objective Optimization of Process Parameters to Enhance Efficiency in the Shoe Type Centerless Grinding Operation for Internal Raceway of Ball Bearings*", Volume 11 No.6 (June 2021), Article 893 (01-24).

[4]. ИП. Кузнецов, "*Методы бесцентрового шлифования поверхностей тел вращения (деталей подшипников качения)*". Специализированный информационный центр подшипниковой промышленности, 1970.

[5]. Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров, "*Обеспечение технологической надежности при бесцентровой абразивной обработке*". Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное агентство по образованию, Саратовский государственный технический университет, 2010.

NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN CỠ NHỎ KHI CHUYỂN LÀN ĐƯỜNG

RESEARCH ON THE STABILITY OF SMALL ELECTRIC VEHICLE WHEN CHANGING LANES

Nguyễn Tiến Dũng, Lê Bảo Việt, Trần Đình Tuấn, Dương Ngọc Khánh
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Giao thông vận tải bằng ô tô đóng vai trò rất quan trọng trong đời sống xã hội hiện đại. Ô tô là một phương tiện giao thông đang dần dần phổ biến ở nước ta và giữ vai trò quan trọng trong mạng lưới giao thông đường bộ. Hệ thống hạ tầng giao thông cùng kỹ thuật hiện đại cho phép ô tô chuyển động với tốc độ cao, nâng cao năng suất vận chuyển. Với sự tăng trưởng tốc độ và mật độ chuyển động của ô tô ngày nay đòi hỏi ô tô phải đảm bảo tính điều khiển, tính năng ổn định ở mức độ cao nhằm nâng cao tính an toàn chuyển động của nó. Do chi phí cho việc thử nghiệm phục vụ thiết kế và chế tạo ô tô là tương đối lớn, nên trong bài báo này nhóm tác giả tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng số để nghiên cứu ổn định quỹ đạo chuyển động cho ô tô điện cỡ nhỏ khi chuyển làn đường, kết quả của nghiên cứu có thể áp dụng để làm giảm chi phí thí nghiệm trong sản xuất ô tô và là tiền đề cho những nghiên cứu sau này.

Từ khóa: *Xe điện cơ nhỏ; Mô phỏng số; Quỹ đạo chuyển động.*

ABSTRACT

Transport plays a very important role in modern social life. Cars are a means of transport that are gradually becoming popular in our country and play an important role in the road traffic network. Modern transportation technology and infrastructure allow cars to move at high speeds, improving transportation productivity. With the increasing speed and density of car movements today, cars are required to ensure a high level of control and stability to improve the safety of their movements. Because the testing costs for designing and manufacturing cars are relatively large, in this article the authors use numerical simulation methods to study the stability of the car's motion trajectory small electric vehicle when changing lanes, the research results can be applied to reduce experimental costs in automobile production and serve as a premise for future research.

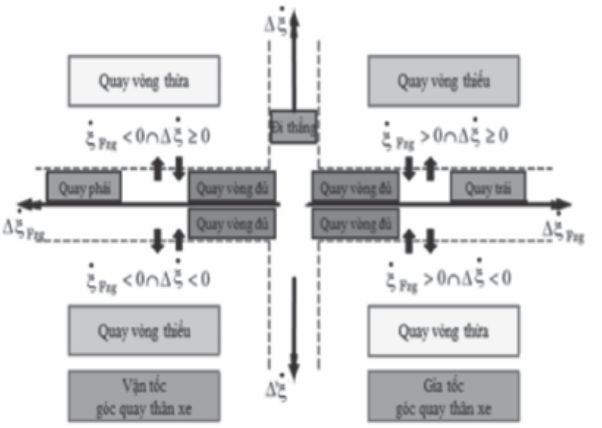
Keywords: *Small electric vehicle; Numerical simulation; Car's motion trajector.*

1. TỔNG QUAN

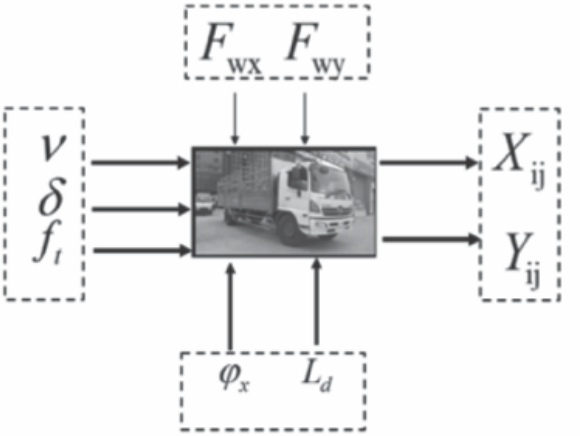
Theo các tài liệu [1, 2, 3], khi khảo sát dao động ô tô trong không gian thường sử dụng các mô hình dao động tương đương của ô tô thay cho mô hình vật lý thực. Việc thiết lập và lựa chọn các mô hình dao động tương đương của ô tô phụ thuộc vào mục tiêu nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu, khả năng tính toán và phương tiện tính toán. Trong phần tổng quan, tác giả chỉ đưa ra một số mô hình đặc trưng với mục đích có một cách nhìn tổng quan về lập mô hình.

Khi xe đi trên đường có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng như: Ngoại lực, đường, người lái, tải trọng của xe... Tác động của đường gồm có: Liên kết lốp đường được thể hiện theo hệ số bám φ_x, biên dạng đường ξ_{ij} và hành lang đường L_d… Tác động của người lái gồm: Dạng đánh lái, vận tốc đánh lái, góc đánh lái và tấn số đánh lái… Tác động của ngoại lực gồm: Lực gió dọc F_{wx} và lực gió ngang F_{wy}…

Giao thông vận tải bằng ô tô đóng vai trò rất quan trọng trong đời sống xã hội hiện đại. Ô tô là một phương tiện giao thông đang dần dần phổ biến ở nước ta và giữ vai trò quan trọng trong mạng lưới giao thông đường bộ. Hệ thống hạ tầng giao thông cùng kỹ thuật hiện đại cho phép ô tô chuyển động với tốc độ cao, nâng cao năng suất vận chuyển. Với sự tăng trưởng tốc độ và mật độ chuyển động của ô tô ngày nay đòi hỏi ô tô phải đảm bảo tính điều khiển ở mức độ cao. Tuy nhiên ở tốc độ cao, ô tô đòi hỏi tính năng ổn định cao nhằm nâng cao tính an toàn chuyển động của nó. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu xây dựng mô nghiên cứu tính ổn định khi chuyển làn đường của xe điện cỡ nhỏ VFe34, cho phép đánh giá được sự ổn định quỹ đạo chuyển động của xe trong quá trình chuyển làn.



Hình 1. Các thông số đặc trưng đặc tính quay vòng.

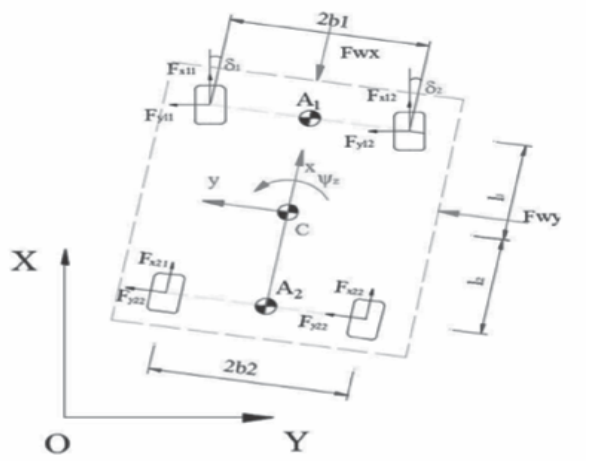


Hình 2. Các yếu tố ảnh hưởng.

2. THIẾT LẬP HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA XE ĐIỆN CỠ NHỎ

2.1. Các phương trình xác định chuyển động trong mặt phẳng đường

Áp dụng hệ phương trình Newton Euler cho xe với khối lượng M (bao gồm khối lượng được treo và các khối lượng không được treo) trong mặt phẳng đường. Với 3 bậc tự do, ta thiết lập được 3 phương trình mô tả chuyển động của xe trong mặt phẳng song song với mặt đường.



Hình 3. Mô hình lực tác động lên xe trong mặt phẳng song song với mặt đường.

Phương trình mô tả chuyển động dọc trong hệ quy chiếu cục bộ Cxy viết như sau:

$$M\ddot{x} = F_{x1}\cos\delta + F_{x2} - F_{y1}\sin\delta + M\dot{\psi}\dot{y} - \frac{1}{2}\rho C_{wx}A_{wx}\dot{x}\cos\psi \quad (2.1)$$

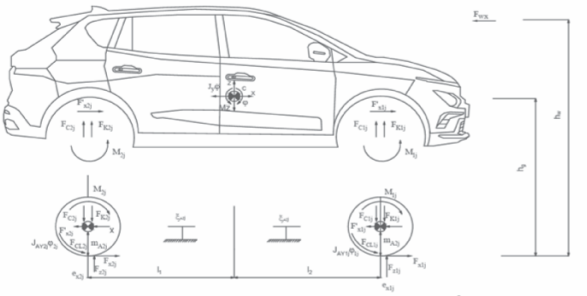
Phương trình mô tả chuyển động ngang của xe như sau:

$$M\ddot{y} = F_{y1}\cos\delta_1 + F_{y2}\cos\delta_2 + F_{x1}\sin\delta_1 + F_{x2}\sin\delta_2 + F_{y3} + F_{y4} - M\dot{\psi}\dot{x} \quad (2.2)$$

Trong đó có các ký hiệu: δ_1, δ_2: Góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải; F_{xi}: Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i (i = 1÷4) theo phương dọc; F_{yi}: Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i (i = 1÷4) theo phương ngang; F_{zi}: Phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe thứ i (i = 1÷4) theo phương thẳng đứng.

2.2. Các phương trình dao động của khối lượng được treo trong mặt phẳng dọc

Áp dụng hệ phương trình Newton Euler trong mặt phẳng dọc (Cxz) cho phần khối lượng được treo đặc trưng bởi khối lượng m đặt tại trọng tâm thân xe. Trọng tâm này thực hiện hai chuyển động là dao động thẳng đứng (z) và góc lắc dọc (φ) (hình 4).



Hình 4. Mô hình các lực tác động trong mặt phẳng dọc

Phương trình vi phân mô tả dao động thẳng đứng của trọng tâm phần khối lượng được treo được viết như sau:

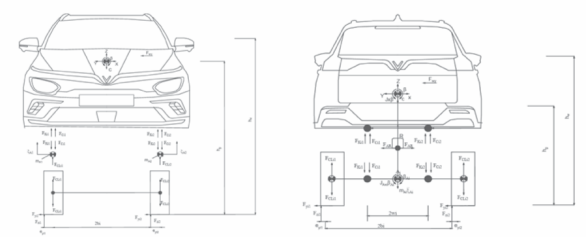
$$m\ddot{Z} = F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12} + F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22} \quad (2.3)$$

Đối với góc lắc dọc thân xe, ta cần xác định các thành phần mô-men gây ra góc này. Các thành phần này gồm có các lực liên kết hệ treo trước – sau, các lực dọc tại điểm treo trên của xe. Phương trình xác định góc lắc được viết như sau:

$$\begin{aligned} J_y\ddot{\varphi} = {} & (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22})l_2 - (F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12})l_1 \\ & -(F_{x11}\cos\delta_{11} + F_{x12}\cos\delta_{12} - F_{y11}\sin\delta_{11} - F_{y12}\sin\delta_{12})(h_g - r_1) \\ & -(h_g - r_2)(F_{x21} + F_{x22}) - (M_{11} + M_{12} + M_{21} + M_{22}) - F_{wx}(h_w - h_g) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Trong đó có các kí hiệu: F_{Cij} và F_{Kij} là lực đàn hồi và lực cản giảm chấn của hệ thống treo gần bánh xe thứ ij (i = 1÷2, j = 1÷2). Các lực này được xác định từ các chuyển vị trên và dưới của hệ thống treo; M_{ij}: Mô-men quay bánh xe thứ ij quanh trục y (i = 1÷2, j = 1÷2); F_{Clij}: Lực đàn hồi lốp bánh xe thứ ij (i = 1÷2, j = 1÷2); r_1, r_2: Bán kính động lực học của các bánh xe trước và sau; h_w: Chiều cao tâm khí động; h_g: Chiều cao trọng tâm xe; l_{wx}: Khoảng cách từ tâm khí động đến trọng tâm xe theo phương x; F_{wz}: Lực nâng do không khí tạo ra theo phương

thẳng đứng; M_{wy}: Mô-men quay của lực khí động quanh trục y.



Hình 5. Mô hình các lực tác động trong mặt phẳng ngang.

2.3. Các phương trình dao động trong mặt phẳng ngang

Góc lắc ngang của khối lượng được treo được mô tả như sau:

$$J_x\ddot{\beta} = (F_{C11} + F_{K11} - F_{C12} - F_{K12})w_1 + (F_{C21} + F_{K21} - F_{C22} - F_{K22})w_2 - F_{wy}(h_w - h_g) - M_{wx} + F_{R1}(h_g - h_{R1}) + F_{R2}(h_g - h_{R2}) - M_{r1} - M_{r2} \quad (2.5)$$

Đối với các cầu trước và sau được xét 2 bậc tự do là dao động thẳng đứng (ξ_{Ai}) và góc lắc ngang (β_{Ai}). Đối với cầu trước được viết như sau:

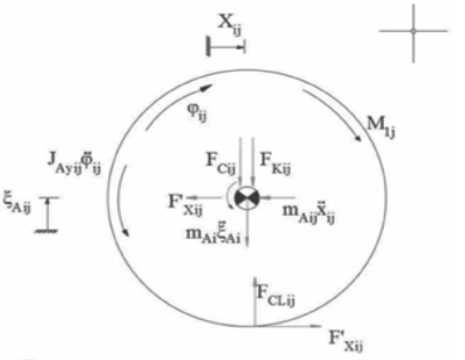
$$\begin{aligned} m_{A1}\ddot{\xi}_{A1} &= (F_{CL11} + F_{CL12}) - (F_{C11} + F_{K11} + F_{C12} + F_{K12}) \\ &\vdots \\ J_{Ax1}\ddot{\beta}_{A1} &= (F_{C12} + F_{K12} - F_{C11} - F_{K11})w_1 + (F_{CL11} - F_{CL12})b_1 + \\ &(F_{y11}\cos\delta_{11} + F_{x11}\sin\delta_{11} + F_{y12}\cos\delta_{12} + F_{x12}\sin\cos\delta_{12})r_1 - F_{R1}(h_{R1} - r_1) + M_{T1} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Đối với cầu sau được viết như sau:

$$\begin{aligned} m_{A2}\ddot{\xi}_{A2} &= (F_{CL21} + F_{CL22}) - (F_{C21} + F_{K21} + F_{C22} + F_{K22}) \\ &\vdots \\ J_{Ax2}\ddot{\beta}_{A2} &= (F_{C22} + F_{K22} - F_{C21} - F_{K21})w_2 + (F_{CL21} - F_{CL21})b_2 \\ &(F_{y21} + F_{y22})r_2 - F_{R2}(h_{R2} - r_2) + M_{T2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.4. Động lực học bánh xe

Nghiên cứu động lực học ô tô cần thiết phải xác định được tính chất liên kết giữa lốp và đường bởi các các lực này trực tiếp gây ra chuyển động của ô tô. Chuyển động xe được xác định bởi các lực tương tác bánh xe với đường F_{xij}, F_{yij}, F_{zij}. Chuyển động của bánh xe có được nhờ mô-men M_{ij} (mô-men kéo hoặc mô-men phanh) và trạng thái mặt đường (hệ số bám dọc max φ y max x và hệ số bám ngang φ). Mô-men M_{ij} làm cho bánh xe quay quanh trục y của bánh xe. Tuy nhiên, do tương tác bánh xe với đường là có trượt nên chuyển động quay của bánh xe độc lập với chuyển động tịnh tiến của nó, nghĩa là khi lăn, bánh xe có trượt và tổn hao vận tốc. Do đó, khi mô phỏng cần thiết lập mô hình động lực học bánh xe.



Hình 6. Mô hình động lực học bánh xe đàn hồi.

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 11:

$$J_{Ay11}\ddot{\varphi}_{11} = M_{11} - (F_{x11} + fF_{z11})r_{11} \quad (2.8)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 12:

$$J_{Ay12}\ddot{\varphi}_{12} = M_{12} - (F_{x12} + fF_{z12})r_{12} \quad (2.9)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 21:

$$J_{Ay21}\ddot{\varphi}_{21} = M_{21} - (F_{x21} + fF_{z21})r_{21} \quad (2.10)$$

Phương trình cân bằng mô-men theo trục y của bánh xe 22:

$$J_{Ay22}\ddot{\varphi}_{22} = M_{22} - (F_{x22} + fF_{z22})r_{22} \quad (2.11)$$

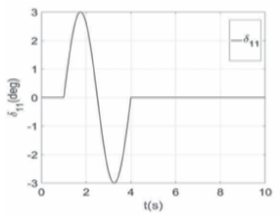
Bảng 1. Thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Gia tốc trọng trường	g	9.81	m/s^2
2	Hệ số cản lăn	f	0.02	
3	Bán kính tĩnh bánh xe	rt	0.59	m
4	Độ cứng hệ thống treo trước	C_1, C_2	76640	N/m
5	Độ cứng hệ thống treo sau	C_3, C_4	178870	N/m
6	Hệ số cản giảm chấn trước	K_1, K_2	7347	N.s/m
7	Hệ số cản giảm chấn sau	K_3, K_4	11106	N.s/m
8	Độ cứng hướng kính lốp trước	C_{L1}, C_{L2}	209067	N/m
9	Độ cứng hướng kính lốp sau	C_{L3}, C_{L4}	209067	N/m
10	Khối lượng không được treo trước	m_{A1}	110	kg
11	Khối lượng không được treo sau	m_{A2}	120	kg
12	Khối lượng được treo	M	1216	kg
13	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu trước	M_{c1}	870	kg
14	Khối lượng toàn bộ phân cho cầu sau	M_{c2}	666	kg
15	Chiều dài toàn bộ của xe	LW	4.3	m
16	Chiều rộng toàn bộ của xe	BW	1.768	m
17	Chiều cao toàn bộ của xe	HW	1.613	m
18	Chiều dài cơ sở	L	2.610	m
19	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	l_1	1.132	m
20	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau	l_2	1.478	m
21	Một nửa khoảng cách vết bánh xe trước	b_1	0.737	m
22	Một nửa khoảng cách vết bánh xe sau	b_2	0.745	m
23	Một nửa khoảng cách treo trước	w_1	0.7	m
24	Một nửa khoảng cách treo sau	w_2	0.6	m
25	Chiều cao trọng tâm	h_g	1.5	m
26	Bán kính động bánh xe trước	r_1	0.4572	m
27	Bán kính động bánh xe sau	r_2	0.4572	m
28	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục dọc x	J_x	8992	kgm^2
29	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục ngang y	J_y	96040	kgm^2
30	Mô-men quán tính khối lượng của thân xe quanh trục thẳng đứng z	J_z	101940	kgm^2
31	Mô-men quán tính khối lượng của cầu trước quanh trục dọc x	J_{Ax1}	285	kgm^2
32	Mô-men quán tính khối lượng của cầu sau quanh trục dọc x	J_{Ax2}	335	kgm^2
33	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe trước quanh trục ngang y	J_{Ay1}, J_{Ay2}	10	kgm^2
34	Mô-men quán tính khối lượng của các bánh xe sau quanh trục ngang y	J_{Ay3}, J_{Ay4}	20	kgm^2

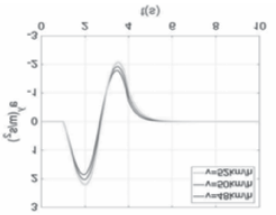
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC ĐÁNH LÁI ĐẾN CHUYỂN LÀN ĐƠN

Khảo sát với góc lái dạng Sin đơn như Hình 7 với δ_A bằng 30, tần số đánh lái f = 0,33Hz trên đường 40 có hệ số bám φ_{max} bằng 0,8; ở các vận tốc [40...60] km/h.

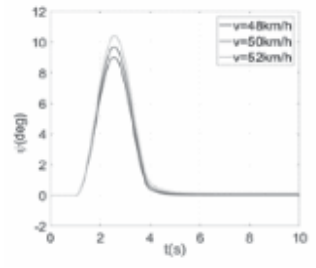


Hình 7. Đồ thị góc δ_{11}.

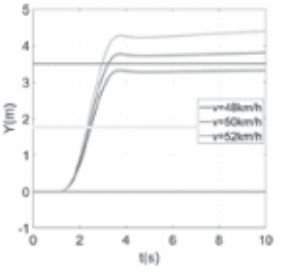


Hình 8. Đồ thị gia tốc ngang a_y.

Các kết quả khảo sát biểu diễn cho ba mức vận tốc là 48, 50 và 52 km/h cho thấy, vận tốc tăng thì các thông số phản ứng như gia tốc ngang a_y, vận tốc góc quay thân xe ψ... biến đổi tương ứng. Quy luật biến đổi của gia tốc ngang xe a_y gần bám sát với quy luật góc lái δ_{11}. Khi tăng vận tốc thì gia tốc ngang a_y tăng lên tương ứng. Vận tốc càng cao, gia tốc ngang càng lớn. Ở vận tốc 52 km/h, gia tốc ngang xe có thể đạt được 2,2 m/s^2.



Hình 9. Đồ thị góc quay góc thân xe ψ.



Hình 10. Đồ thị tọa độ ngang Y.

Sự thay đổi của góc xoay thân xe ψ được thể hiện trong đồ thị Hình 9. Từ đồ thị có thể thấy rằng giá trị này thay đổi liên tục khi xe đánh lái. Khi xe đã trả lái, giá trị này có xu hướng tiến dần về "0". Ở vận tốc lớn, góc xoay thân xe cũng thay đổi lớn hơn. Xét trạng thái thừa, trạng thái thiếu khi chuyển làn đường qua tọa độ ngang của các trọng tâm xe như Hình 9. Với cùng một điều kiện điều khiển, ở vận tốc 48 km/h thì xe gần đạt đến trạng thái chuyển làn đường đủ. Khi vận tốc càng tăng thì trọng tâm xe càng ra ngoài tâm đường mong muốn. Khi vận tốc càng giảm thì 42 trọng tâm xe càng vào trong của đường mong muốn.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học khi xe chuyển làn đơn và sử dụng phần mềm Matlab – Simulink tiến hành mô phỏng quá trình chuyển làn đơn của xe tải. Tiến hành thay đổi các thông số đầu vào là các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình chuyển động, ta có được các kết quả là các thông số đầu ra. Với loại đường có một hệ số bám nhất định, khi cho xe tiến hành khảo sát chuyển động với các vận tốc, góc đánh lái và thời gian đánh lái khác nhau đã đánh giá được quỹ đạo và khả năng chuyển động của xe để từ đó đưa ra được các biện pháp khắc phục nhằm giảm tình trạng mất lái, mất ổn định khi xe chuyển động trong quá trình chuyển làn. ❖

Ngày nhận bài: **16/3/2024**
Ngày phản biện: **17/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, 2007; *Lý thuyết ô tô máy kéo,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

[2]. Lưu Văn Tuấn, 2019; *Lý thuyết ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[3]. Nguyễn Trọng Hoan, 2019; *Thiết kế tính toán ô tô,* NXB. Giáo dục Việt Nam.

[4]. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Hoàng Đàm Phúc 2019; *Động lực học ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[5]. Nguyễn Đức Sơn, 2022; *Nghiên cứu khảo sát quỹ đạo chuyển động của xe tải bằng phần mềm chuyên dụng,* Luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội.

MÔ PHỎNG SỐ MÀNG BƠM VÀ KHẢO SÁT THỰC NGHIỆM VẬN HÀNH BƠM LẤY MẪU KHÍ CÔNG SUẤT NHỎ

NUMERICAL STUDY OF THE SAMPLING PUMP'S MEMBRANE

Trần Khánh Dương
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về mô phỏng dao động của màng bơm trong bơm lấy mẫu khí công suất nhỏ, phục vụ cho việc giám sát chất lượng khí trong các nhà xưởng. Nghiên cứu được thực hiện trên một mẫu mô hình màng 3D dùng trong chế tạo bơm lấy mẫu khí và được mô phỏng với việc xét đến ảnh hưởng của vật liệu chế tạo màng ở một số biên độ dao động khác nhau. Bốn loại vật liệu đã được đưa vào khảo sát với các biên độ dao động thay đổi từ 2-8 mm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được lựa chọn về vật liệu cũng như biên độ dao động phù hợp cho cấu hình màng bơm được khảo sát.

Từ khóa: *Biên độ; Màng; PID; Bơm mẫu; Dao động.*

ABSTRACT

The manuscript presents numerical results of the vibrations of the membrane of a low-power sampling pump for quality assurance of air in factories. We consider a three-dimensional membrane undergoing the influences of its materials and vibration amplitudes. Four materials are used to investigate with the membrane's amplitude varied in the range of 2-8 mm. The results provide an optimal option for the selected pump.

Keywords: *Amplitude; Membrane; PID; Sampling pump; Vibration.*

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống đo nồng độ khí đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát chất lượng không khí cho một khu vực nhất định như trong một nhà xưởng sản xuất hoặc môi trường lao động khép kín. Trong hệ thống đó, bơm định lượng lấy mẫu khí là một phần tử không thể thiếu và có tác động trực tiếp đến chất lượng lấy mẫu khí của hệ thống. Bơm định lượng lấy mẫu là một loại bơm thuộc dòng bơm thể tích, bơm được thiết kế để bơm lưu chất ở dạng lỏng hoặc khí một cách chính xác. Phương thức hoạt động của bơm định lượng lấy mẫu là thiết bị sẽ rút một lượng lưu chất đã được đo lường vào trong buồng chứa và sau đó sẽ bơm lượng lưu chất đó vào ống dẫn hoặc bể chứa.

Máy bơm định lượng có các dòng như bơm định lượng piston, bơm định lượng thủy lực, bơm định lượng điện tử và bơm định lượng dạng màng [1] có khả năng bơm lưu chất một cách chính xác theo ý muốn người dùng. Bơm định lượng hoạt động bằng động cơ điện loại

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

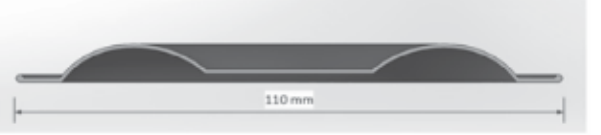
nhỏ hoặc động cơ truyền động bằng khí, thiết bị có thể được vận hành bằng hệ thống điều khiển bên ngoài (tự động) hoặc điều khiển bằng hệ thống của chính máy bơm (thủ công). Về phần điều khiển, người dùng có thể tùy ý điều chỉnh bơm vận hành theo ý muốn từ lưu lượng, thời gian bơm hoạt động, cảnh báo bơm chạy khô, khử khí, và kiểm soát chất lượng của dòng chảy… Do vậy, các bộ điều khiển phù hợp có thể được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu để đạt được những yêu cầu trên, có thể kể đến như: bộ điều khiển dự báo; bộ điều khiển PID [2] và các biến thể của nó;… Trong các loại bơm định lượng kể trên thì bơm định lượng dạng màng có nhiều ưu điểm như buồng làm việc khép kín và được ngăn cách độc lập với môi trường, khả năng điều khiển đơn giản và chính xác để đạt được lưu lượng khí yêu cầu.

Trong nghiên cứu này, màng bơm của bơm định lượng dạng màng được mô phỏng và khảo sát trên một mẫu hình 3D với các điều kiện khác nhau về vật liệu chế tạo màng bơm và biên độ dao động của màng bơm để tìm ra loại vật liệu phù hợp với phạm vi và mục đích sử dụng lấy mẫu khí. Ngoài ra, bộ điều khiển PID sẽ được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu nhằm tối ưu hoạt động của hệ thống. Mô hình màng bơm khảo sát được lấy từ mẫu màng bơm của bơm màng lấy mẫu trong hệ thống đo và giám sát nồng độ không khí thuộc đề tài nghiên cứu khoa học tiềm năng mang mã số 13/2019/TN. Thêm vào đó, một mẫu bơm màng cũng đã được tính toán, thiết kế và chế tạo cũng như vận hành thực nghiệm trong nghiên cứu này để đánh giá sự phù hợp của bơm màng trong việc lấy mẫu khí cho hệ thống giám sát không khí.

2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT CỦA MÀNG BƠM VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN KHẢO SÁT

2.1. Mô hình khảo sát của màng bơm

Trong nghiên cứu này, một mô hình màng bơm có biên dạng và kích thước thể hiện trên Hình 1 được khảo sát. Màng bơm có đường kính 110mm. Bốn loại vật liệu dùng cho màng bơm [3] được lựa chọn với các thông số chính được thể hiện trên Bảng 1 [4].



Hình 1. Hình dạng màng bơm

Với mỗi loại vật liệu khác nhau, mô hình màng bơm được mô phỏng với bốn biên độ dao động khác nhau của vùng trung tâm màng bơm lần lượt là s = 2, 3, 5, 8mm.

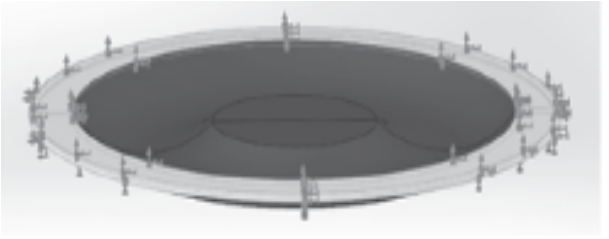
Bảng 1. Vật liệu màng bơm

Material	Giới hạn bền kéo (Mpa)	Mô-đun đàn hồi (Mpa)	Khối lượng riêng (kg/m^3)
Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile-Butadiene Rubber)	15	3	1000
Ethylene Propylene Rubber (EPM, EPDM)	12.8	4.2	860
Butadiene Rubber (BR)	13.7871	6.1	1000
VITON (FBR)	11	5	1932.3

Mô hình 3D của màng bơm được xây dựng bằng phần mềm Solidworks và được mô phỏng bằng module mở rộng Simulation Add-in của chính phần mềm này. ☞

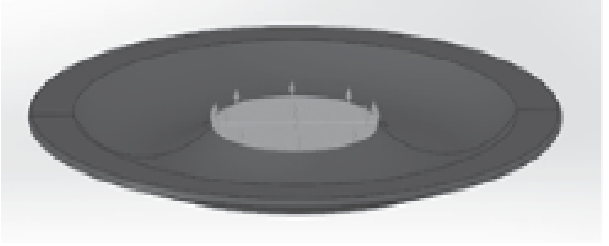
2.2. Thiết lập các điều kiện mô phỏng

Mô hình 3D sau khi được nhập sang môi trường mô phỏng của phần mềm Solidworks [5] sẽ được thiết lập các ràng buộc và các điều kiện đầu vào cho quá trình mô phỏng. Hình 2 biểu diễn gán ràng buộc cố định – Fix trên các bề mặt viền xung quanh màng bơm, là vị trí màng bơm được cố định vào thân bơm.



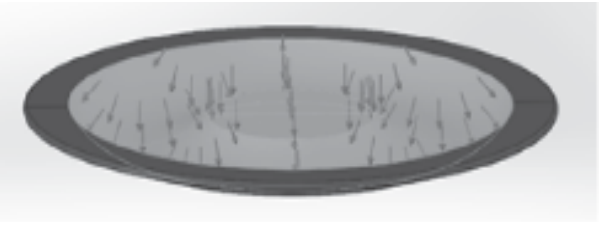
Hình 2. Thiết lập ràng buộc cố định – Fix

Vùng trung tâm của màng bơm sẽ được kết nối với trục cam và chính là khu vực tạo nên hành trình hút-đẩy của màng bơm. Hình 3 mô tả thiết lập biên độ dao động của hành trình vùng trung tâm màng bơm với các biên độ s = 2, 3, 5, 8mm.



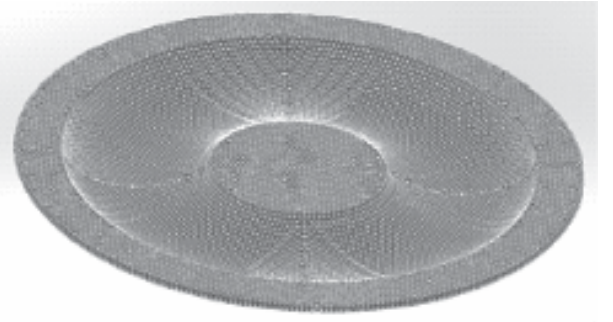
Hình 3. Thiết lập biên độ dao động màng bơm

Khi bơm hoạt động sẽ sinh ra một áp suất trong dòng lưu chất và áp suất này sẽ tác động lên bề mặt màng bơm làm cho biên dạng màng bơm thay đổi và do vậy sẽ ảnh hưởng đến thể tích thực khi bơm. Áp suất này cũng được đưa vào điều kiện đầu vào của quá trình mô phỏng và vùng chịu tác động được thể hiện trên Hình 4, độ lớn của áp suất được lấy bằng áp suất làm việc lớn nhất của bơm là 0.035MPa.



Hình 4. Áp suất tác động lên bề mặt màng bơm

Sau khi các ràng buộc và điều kiện đầu vào được thiết lập, mô hình 3D được chia lưới với Mesh Control và kích thước các cạnh của phần tử lưới được đặt là 1mm. Hình 5 thể hiện mô hình 3D sau khi đã chia lưới.



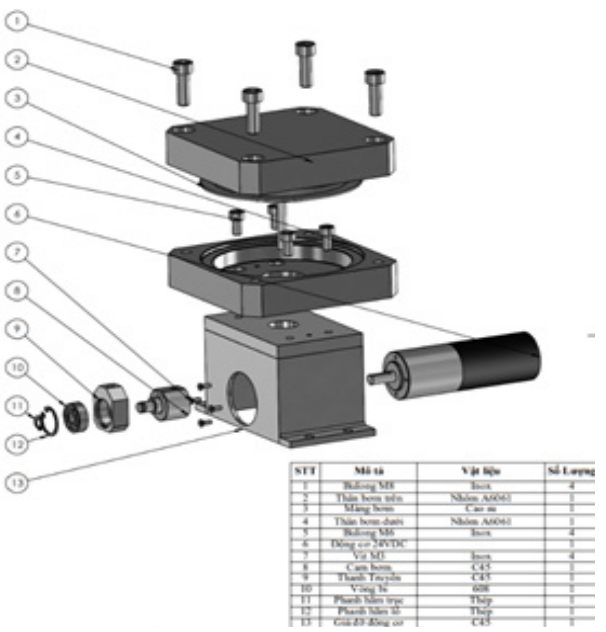
Hình 5. Chia lưới mô hình 3D màng bơm

3. CẤU HÌNH KẾT CẤU CƠ KHÍ BƠM LẤY MẪU VÀ HỆ THỐNG THỬ NGHIỆM BƠM

3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản khối thân bơm

Với các thông số kỹ thuật của màng bơm như đã trình bày ở phần 2.1, một bộ thân bơm đã được thiết kế và chế tạo để đáp ứng việc lắp đặt màng bơm, phục vụ cho quá trình vận hành thử nghiệm bơm (Hình 6). Thân bơm được chế tạo từ vật liệu nhôm A6061, có kích thước ngoài dài x rộng tương ứng là 120mm x 120mm, đảm bảo đáp ứng đủ không gian để lắp đặt màng bơm cũng như không gian vận hành của màng bơm. Phần giá đỡ động cơ được làm từ vật liệu thép tấm C45 và được liên kết với nhau bằng các mối hàn kỹ thuật, chắc chắn.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

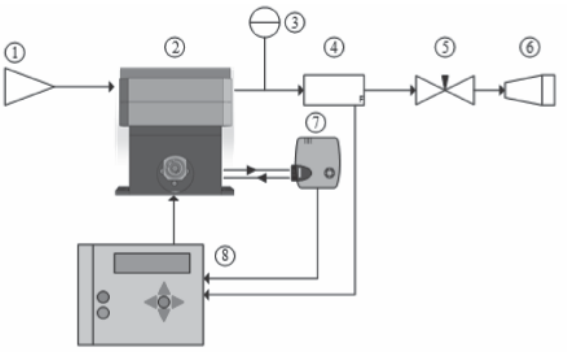


STT	Mô tả	Vật liệu	Số Lượng
1	Bulông M8	Inox	4
2	Thân bơm trên	Nhôm A6061	1
3	Màng bơm	Cao su	1
4	Thân bơm dưới	Nhôm A6061	1
5	Bulông M6	Inox	4
6	Động cơ 24VDC		1
7	Vít M3	Inox	4
8	Cam bơm	C45	1
9	Thanh Truyền	C45	1
10	Vòng bi	608	1
11	Phanh hãm trục	Thép	1
12	Phanh hãm lò	Thép	1
13	Giá đỡ động cơ	C45	1

Hình 6. Bộ thân bơm màng

3.2. Hệ thống thử nghiệm bơm

Bơm màng sau khi chế tạo và lắp ráp sẽ được vận hành thử nghiệm để đo đạc các đặc tính vận hành chính của bơm như đặc tính về lưu lượng Q và công suất N của bơm. Hình 7 thể hiện sơ đồ cấu hình của hệ thống thử nghiệm bơm.



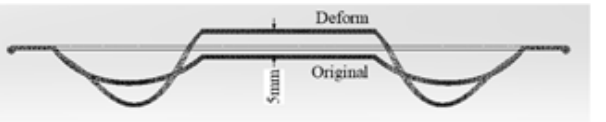
Hình 7. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm bơm: 1. Lọc hút; 2. Bơm màng; 3. Đồng hồ đo áp; 4. Cảm biến lưu lượng không khí; 5. Van tiết lưu; 6. Tiêu âm; 7. Cảm biến tốc độ quay; 8. Bộ điều khiển PID

Trên sơ đồ Hình 7, lưu lượng khí ra khỏi bơm được đo bởi cảm biến lưu lượng không khí (4). Tín hiệu từ cảm biến được đưa về bộ điều khiển PID (8) và tại đây các thuật toán so sánh được thực hiện để đưa ra tín hiệu điều khiển tốc độ của động cơ. Van tiết lưu (5) được sử dụng để gây tải tạo áp suất cho dòng khí bơm ra. Tốc độ động cơ được đo bằng cảm biến tốc độ quay (7). Các thông số chính sẽ được thu thập bao gồm lưu lượng Q, áp suất p của bơm và số vòng quay n của động cơ. Lưu lượng bơm được đo ở các giá trị áp suất là p = 10; 30; 50; 70; 90 [kPa] với các giá trị tốc độ quay của động cơ kéo bơm lần lượt là n = 50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450 [vòng/phút].

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Chuyển vị và ứng suất của màng bơm

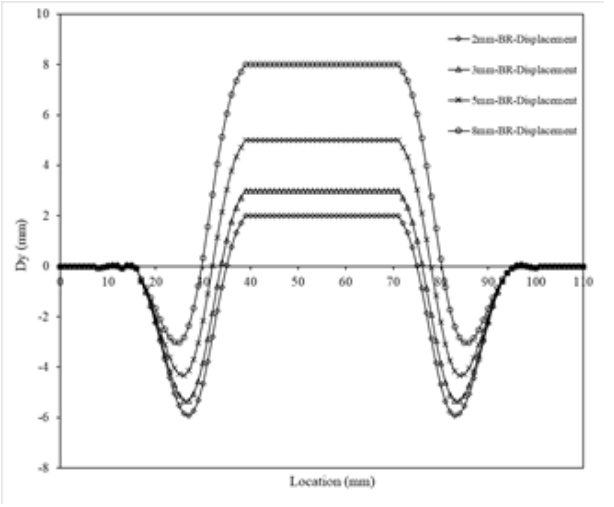
Để khảo sát chuyển vị và ứng suất của màng bơm trong quá trình vận hành, kết quả mô phỏng trên một mặt cắt đi qua tâm màng bơm sẽ được trích xuất. Hình 8 biểu diễn một ví dụ về chuyển vị của màng bơm trên mặt cắt ngang qua tâm với hành trình vùng trung tâm màng bơm s = 5mm.



Hình 8. Ví dụ về chuyển vị của màng bơm với s = 5mm

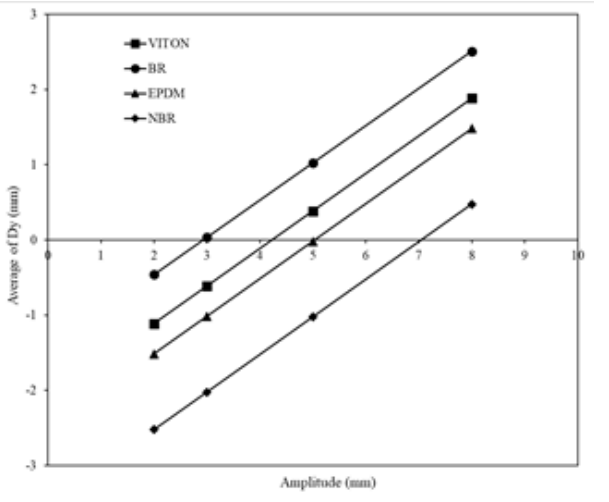
Hình 9 thể hiện kết quả mô phỏng chuyển vị tại mặt cắt đi qua tâm của màng bơm đối với trường hợp màng làm vật liệu BR (Butadiene Rubber). Có thể thấy trên Hình 9, chuyển vị của màng bơm có phần chuyển vị dương và phần chuyển vị âm. Chuyển vị dương chính là phần hình thành nên thể tích làm việc hữu ích của buồng bơm, còn chuyển vị âm ☞

hình thành nên thể tích vô ích trong quá trình bơm vận hành. Để đánh giá về tương quan giữa chuyển vị dương và chuyển vị âm, nghiên cứu này đã sử dụng giá trị trung bình các chuyển vị trên mặt cắt đi qua tâm màng bơm. Nếu trung bình các chuyển vị có giá trị dương nghĩa là chuyển vị dương chiếm ưu thế hơn so với chuyển vị âm và ngược lại.



Hình 9. Kết quả mô phỏng chuyển vị của màng bơm
(Vật liệu BR – Butadiene Rubber; s = 2, 3, 5, 8mm)

Hình 10 thể hiện kết quả tính giá trị trung bình chuyển vị cho các kết quả mô phỏng màng bơm với bốn loại vật liệu khác nhau và với bốn biên độ dao động khác nhau của màng bơm. Kết quả cho thấy với màng bơm làm bằng vật liệu BR (Butadiene Rubber) thì giá trị trung bình chuyển vị có ba giá trị dương, trong khi đó với các vật liệu khác chỉ có hai hoặc một. Điều đó chứng tỏ màng bơm làm bằng vật liệu BR, có thông số mô-đun đàn hồi bằng 6.1MPa, sẽ cho giá trị về thể tích hữu ích của bơm là tốt hơn cả trong bốn loại vật liệu.



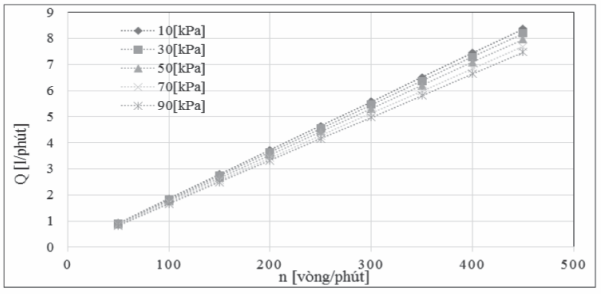
Hình 10. Trung bình chuyển vị của màng bơm tại mặt cắt đi qua tâm

Cũng từ Hình 10 có thể nhận thấy với vật liệu làm màng bơm bằng BR, trung bình chuyển vị của màng bơm có giá trị dương với s = 5mm và s = 8mm, còn ở các giá trị khác của s thì trung bình chuyển vị xấp xỉ bằng không hoặc có giá trị âm, nghĩa là thể tích hữu ích khá nhỏ hoặc chỉ có thể tích vô ích. Với s = 8mm thì thể tích hữu ích là lớn nhất, nhưng điều đó có nghĩa là tốc độ động cơ vận hành bơm cũng phải giảm xuống để đảm bảo một lưu lượng trung bình cố định cần thiết. Tốc độ động cơ giảm sẽ dẫn tới tần số dao động của màng bơm sẽ giảm theo, do đó thời gian biến thiên về lưu lượng khí sẽ tăng lên, không có lợi khi sử dụng các bình tích dung tích nhỏ, gọn nhẹ để bình ổn lưu lượng khí đầu ra cũng như phát hiện sớm mức độ thay đổi nồng độ khí. Vì vậy, lựa chọn s = 5mm là phù hợp cho biên độ dao động của màng bơm. Dựa trên kết quả chuyển vị của màng bơm cho trường hợp s = 5mm, ta tính ra được thể tích làm việc của màng bơm thông qua phần mềm Solidworks là V = 15.22cm^3. Để đạt lưu lượng trung bình thiết kế Q = 7 [l/min] thì động cơ cần có số vòng quay n = 460 [rpm], tương ứng với tần số dao động của màng bơm Fz = 7.67Hz.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

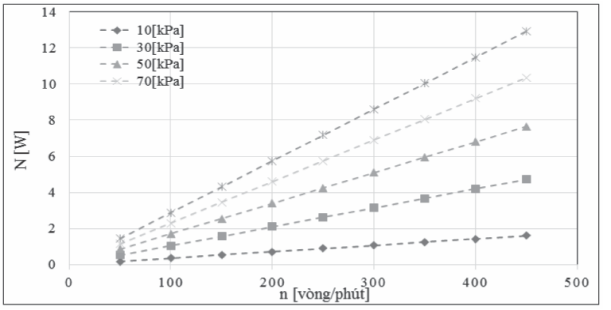
4.2. Kết quả đo thực nghiệm đặc tính bơm

Hình 11 thể hiện kết quả các đường đặc tính lưu lượng Q của bơm màng theo số vòng quay n và ở các giá trị áp suất khác nhau. Từ kết quả này có thể thấy bơm màng có lưu lượng phụ thuộc vào tốc độ động cơ kéo bơm, trong khi đó không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của áp suất khí ở đầu ra của bơm. Điều này rất có lợi cho quá trình điều khiển bơm để ổn định được lưu lượng cấp vào hệ thống đo bụi và đo nồng độ khí.



Hình 11. Đường đặc tính n-Q của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau

Kết quả mô tả mối quan hệ giữa số vòng quay n của động cơ và công suất bơm N được thể hiện trên Hình 12. Kết quả thực nghiệm trên Hình 12 cho thấy, với giá trị áp suất nhỏ tại cửa ra của bơm thì công suất bơm thay đổi không đáng kể, nhưng khi áp suất ở cửa ra càng cao thì công suất bơm phụ thuộc rõ nét vào sự thay đổi về tốc độ quay của trục bơm.



Hình 12. Đường đặc tính n-N của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đưa một mô hình màng bơm 3D của bơm lấy mẫu khí vào khảo sát với các thông số điều kiện đầu vào mô phỏng gần nhất với thực tế. Một vài loại vật liệu thông dụng làm màng bơm cũng được đưa vào nghiên cứu để tìm ra loại vật liệu phù hợp nhất. Kết quả mô phỏng cho thấy với vật liệu BR sẽ cho hiệu quả cao nhất về vùng thể tích hữu dụng trong bơm và đề xuất biên độ dao động của màng bơm s = 5mm là phù hợp cho kết cấu màng khảo sát. Với biên độ này thì độ ổn định lưu lượng đầu ra của bơm sẽ dễ được kiểm soát và điều chỉnh. Các kết quả thực nghiệm đo đạc các đặc tính của mẫu bơm màng cũng đã chỉ ra rằng, mẫu bơm màng được thiết kế và chế tạo trong nghiên cứu này có lưu lượng hoàn toàn phụ thuộc vào số vòng quay của động cơ mà không phụ thuộc vào áp suất đầu ra của bơm, điều đó rất thích hợp cho việc điều khiển chính xác lưu lượng lấy mẫu khí thông qua việc điều khiển số vòng quay của động cơ kéo bơm. Mẫu bơm màng trong nghiên cứu này có khoang làm việc kín, mức độ rò rỉ rất thấp do đó có thể sử dụng vào việc bơm các loại chất khí khác nhau mà không lo bị rò rỉ ra môi trường.❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**
Ngày phản biện: **08/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. "*Máy bơm định lượng là gì*?", https://wsc.com.vn/may-bom-dinh-luong-la-gi.html (accessed Feb. 22, 2022).

[2]. L. Chen, Y. Liu, L. Sun, D. Qu, and J. Min, "*Intelligent control of Piezoelectric Micropump based on MEMS flow sensor*", in 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct. 2010, pp. 3055-3060. doi: 10.1109/IROS.2010.5649844.

[3]. "*Hướng dẫn lựa chọn vật liệu màng bơm phù hợp với nhu cầu*", asatech.vn - Nhà Cung Cấp Bơm Công Nghiệp Uy Tín, https://asatech.vn/huong-dan-lua-chon-chat-lieu-mang-bom-phu-hop-voi-nhu-cau (accessed Feb. 22, 2022).

[4]. "*Rubber or Thermoset Elastomer (TSE) Manufacturers, Suppliers, and Distributors*", http://www.matweb.com/reference/Manufacturers.aspx?MatGroupID=93 (accessed Feb. 22, 2022).

[5]. "*3D CAD Design Software | SOLIDWORKS*", https://www.solidworks.com/home-page-2021 (accessed Feb. 22, 2022).

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH CỦA MỘT SỐ LOẠI VẢI DỆT KIM LÀM CHI TIẾT MŨ GIÀY

RESEARCH ON THE PROPERTIES OF SOME KNITTED FABRICS USED FOR UPPER SHOES

Cao Thị Kiên Chung[1], Nguyễn Thế Lực[1], Bùi Văn Huấn[2]
[1]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên
[2]Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Vật liệu sản xuất mũ giày cần đảm bảo độ bền, thông khí, thông hơi, kháng khuẩn, tạo cảm giác khô thoáng cho bàn chân. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá các đặc trưng độ bền và tính vệ sinh (độ thấm hơi nước, hấp thụ hơi nước và tỷ lệ hoạt tính kháng khuẩn) của ba mẫu vật liệu sử dụng sản xuất chi tiết mũ giày tiêu biểu đang được sử dụng ở nước ta. Áp dụng các tiêu chuẩn ISO đã tiến hành đánh giá đặc trưng độ bền xé, độ bền mài mòn, độ bền màu, độ bền kéo, độ giãn, độ hút nước và thải nước của lót giày đàn hồi, hoạt tính kháng khuẩn. Kết quả nghiên cứu cho thấy: các chỉ tiêu độ bền của ba mẫu vải dệt kim đều đạt giá trị khá cao, đảm bảo yêu cầu của giày. Như vậy, cả ba mẫu vải dệt kim là vật liệu phù hợp với việc sản xuất chi tiết mũ giày, đảm bảo yêu cầu về độ bền và tính vệ sinh của sản phẩm.

Từ khóa: *Mũ giày; Vật liệu mũ giày; Vải dệt kim.*

ABSTRACT

Upper shoes materials need to ensure durability, ventilation, ventilation, antibacterial, and create a dry feeling for the feet. This article presents the results of research evaluating the sustainable and bioprotective properties (water vapor softness, water vapor absorption, and antibacterial activity rate) of 03 material samples using the product The iconic thick hat detail is used in our country. Applying ISO standards, the characteristics of durability, abrasion resistance, color fastness, tensile strength, elongation, water absorption and discharge of pants vines, and antibacterial activity were evaluated. Research results have shown: the sustainability criteria of the three knitted fabric samples all achieved quite high values, ensuring the thickness requirements. Thus, all three knitted fabric samples are suitable materials for the upper shoes, ensuring the requirements for durability and biological protection features of the product.

Keywords: *Upper shoes; Upper shoes material; Knitted fabric.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mũ giày là chi tiết quan trọng tiếp xúc với toàn bộ mu bàn chân, có ảnh hưởng lớn đến tính tiện nghi của giày: độ hút ẩm, tạo cho bàn chân có cảm giác nhiệt ẩm thoải mái. Phần mũi bàn chân bị ảnh hưởng phổ biến nhất [1].

Trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu về vật liệu và cấu trúc lót giày, mũ giày để tạo ra các tính năng mới như chống lạnh cho bàn chân, kháng khuẩn – khử mùi, chữa bệnh bàn chân, theo dõi sức khỏe người sử dụng, tăng cường lưu thông không khí bên trong giày [2, 3, 4]. Vải dệt kim 3D có độ thông hơi, thoáng khí, độ bền cao, nhẹ, chịu được ảnh hưởng của môi trường và giá thành rẻ hơn so với hệ vải dệt kim truyền thống, vì trong vật liệu không có các lớp keo dán như trong vật liệu truyền thống nên rất phù hợp làm mũ giày có tính tiện nghi cao [5].

Vải dệt kim không gian (3D) được sử dụng làm các chi tiết của giày như mũ giày, lót mũ giày, lót mặt, cổ giày. Vải khá đa dạng theo thành phần nguyên liệu: bông, len, nylon, polyester, polypropylen, tơ nhân tạo và Lycra. Trong đó, polyester và nylon được sử dụng phổ biến nhất. Lycra co giãn và spandex thường được sử dụng cho vị trí liên kết và lót. Trên các máy dệt kim định hình chuyên dụng, có thể thiết lập các kiểu dệt khác nhau, thành phần và kiểu sợi, màu sợi khác nhau, v.v… theo từng vị trí của mũ giày [6]. Trên thế giới, nhiều hãng sản xuất giày thể thao nổi tiếng như Nike, Adidas, Puma, đặc biệt các hãng sản xuất giày cho BNTĐ như Orthofeet, Dr. Scholl's, Drew, Hush Puppies, Propet đã sử dụng vải dệt kim làm các chi tiết cho giày như mũ giày, lót mũ giày và lót mặt… [6, 7].

Ở Việt Nam, ngành công nghiệp da giày còn khá non trẻ, các nghiên cứu vải dệt kim làm mũ giày còn nhiều hạn chế. Do vậy, việc nghiên cứu đánh giá các chỉ tiêu chất lượng quan trọng của vật liệu mũ giày như độ bền, độ hút hơi nước, độ hấp thụ hơi nước, hoạt tính kháng khuẩn làm cơ sở để lựa chọn vật liệu, gia công mũ giày chất lượng cao là công việc cần thiết.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Qua kết quả khảo sát các thương hiệu giày vải, các nhà sản xuất và kinh doanh vật liệu sản xuất giày trên thị trường, nhóm tác giả đã lựa chọn 03 loại vải dệt kim làm chi tiết mũ giày có đặc điểm được trình bày trong bảng 1 để nghiên cứu.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của các loại vải dệt kim làm mũ giày lựa chọn nghiên cứu

Ký hiệu mẫu	Loại lót mũ giày	Hình ảnh vật liệu	Xuất xứ	Khối lượng g/m²	Độ dày, mm
M1	Vải dệt kim 3D		Đài Loan	350,0	1,13
M2	Vải dệt kim 3D		Đài Loan	325,0	2,13
M3	Vải dệt kim + mút xốp + vải dệt kim mỏng		Việt Nam	295	2,66

2.2. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu các đặc trưng về cấu trúc, độ bền của vải dệt kim sử dụng làm chi tiết mũ giày: mật độ, kiểu dệt, thành phần, độ bền xé, độ bền mài mòn, độ bền màu, độ bền đớt, độ giãn theo hướng dọc và hướng ngang.

Nghiên cứu tính vệ sinh của vải dệt kim sử dụng làm chi tiết mũ giày: độ thấm hơi nước, độ hấp thụ hơi nước, khả năng kháng khuẩn.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Thực hiện thí nghiệm xác định thành phần, cấu trúc tại Trung tâm Thí nghiệm, Viện Dệt May, Đại học Bách khoa Hà Nội và xác định độ bền và tính vệ sinh tại Công ty Cổ phần Viện Nghiên cứu Dệt May.

Các tiêu chuẩn thực hiện nghiên cứu:

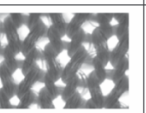
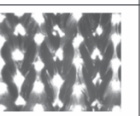
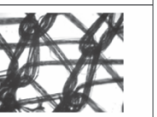
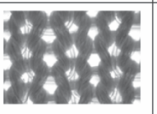
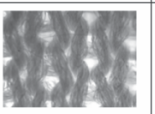
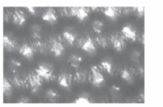
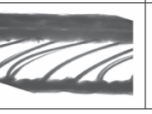
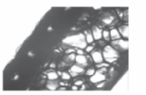
- Độ bền mài mòn được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17704:2004 (TCVN 10435:2014).
- Độ bền xé được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17693:2003 (TCVN 9541:2013).
- Độ bền kéo, độ giãn được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17706:2003 (TCVN 10437:2014).
- Độ bền màu được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17700:2004 (TCVN 10948:2015).
- Độ thấm hơi nước và hấp thụ hơi nước được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17699:2003 (TCVN 10947:2015).
- Hoạt tính kháng khuẩn được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 16187:2013 (TCVN 10944:2015), áp dụng phương pháp thử A.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Đặc trưng cấu trúc, độ bền của các loại vải dệt kim nghiên cứu

Thành phần, cấu trúc của các mẫu vải dệt kim nghiên cứu xác định được thể hiện trong bảng 2, bảng 3.

Bảng 2. Hình chụp các mẫu vải dệt kim nghiên cứu

Hình ảnh	M1	M2	M3
Lớp ngoài			
Lớp trong			
Mặt cắt			

Bảng 3. Các đặc trưng cấu trúc cơ bản của các loại vải dệt kim nghiên cứu

Ký hiệu	Loại vải	Khối lượng, g/m^2	Độ dày, mm	Màu	Lớp ngoài				Lớp trong			
					Thành phần	Mật độ sợi		Kiểu dệt	Thành phần	Mật độ sợi		Kiểu dệt
						Số cột vòng/ 100mm	Số hàng vòng/ 100mm			Số cột vòng/ 100mm	Số hàng vòng/ 100mm	
M1	Vải dệt kim 3D	350,0	1,13	Trắng	PET	160	220	Single	PET	160	220	Single
M2	Vải dệt kim 3D	325,0	2,13	Xám	PET	200	230	Single	PET	190	180	Single
M3	Vải dệt kim + mút xốp + vải dệt kim mỏng	295,0	2,66	Ghi	PET	180	130	Raschel	PET	80	80	Atlas 2x1

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Ba mẫu vải dệt kim đều có thành phần PET, với mẫu 1 và mẫu 2 thì lớp trong và lớp ngoài đều có kiểu dệt single. Riêng mẫu 3 có kiểu dệt khác nhau, lớp ngoài có kiểu dệt Raschel, lớp trong có kiểu dệt Atlas 2x1. Đây cũng là các kiểu dệt cơ bản của vải dệt kim.

Kết quả xác định đặc trưng độ bền của ba mẫu vải dệt kim được tổng hợp trong bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả thực nghiệm của vải dệt kim nghiên cứu

TT	Chỉ tiêu		Mẫu vật liệu			Yêu cầu
			M1	M2	M3	
1	Độ bền xé	Hướng dọc (N)	58,4	56,6	49,3	≥ 40 N lực xé trung bình
		Hướng ngang (N)	202,9	311,7	300,8	
2	Độ bền mài mòn	Số chu kỳ	51200	51200	51200	Khô 12800 (không kém hơn mức độ mài mòn trung bình) Ướt 6400
		Mức độ hư hại	Thay đổi rất nhẹ	Thay đổi rất nhẹ	Thay đổi nhẹ	
3	Độ bền màu	Phai màu	4-5	4-5	4-5	Sự dây màu ở mặt trong: Phương pháp A: Nếu giày ủng không có lót, phải đạt ≥ 2/3 sau 50 chu kỳ với dung dịch mồ hôi. Sự thay đổi màu và sự dây màu ở mặt bên ngoài: Phương pháp A: ≥ 3 (thang màu xám) sau 150 chu kỳ thử khô và 50 chu kỳ thử ướt. Phương pháp B: ≥ 3 đến 4 (thang màu xám) sau 512 chu kỳ thử khô và 128 chu kỳ thử ướt
		Diaxetat	4-5	4-5	4-5	
		Bông	4-5	4-5	4-5	
		Polyamit	4-5	4-5	4-5	
		Polyeste	4-5	4-5	4-5	
		Acrylic	4-5	4-5	4-5	
		Len	4-5	4-5	4-5	
4	Độ bền kéo (N)	Hướng dọc	592,3	607,1	415,5	≥ 10 N/mm, độ giãn dài ≥ 15% (theo chiều ngang) và ≥ 7% (theo chiều dọc)
		Hướng ngang	209,1	311,7	129,4	
	Độ giãn (%)	Hướng dọc	83,9	83,8	79,1	
		Hướng ngang	306,3	232,8	284,7	

☞

Theo số liệu trong bảng 4, ta thấy độ bền xé theo hướng dọc và hướng ngang của ba mẫu vật liệu đều ≥ 40 N đảm bảo theo yêu cầu của mũ giày. Mẫu 1 và mẫu 3 có độ bền xé theo hướng dọc thấp hơn mẫu 2. Theo hướng ngang, mẫu 2 có độ bền xé cũng cao nhất đạt 311,7N, hai mẫu còn lại giá trị độ bền xé theo hướng ngang với mẫu 1 đạt 202,9 N và mẫu 2 đạt 300,8N.

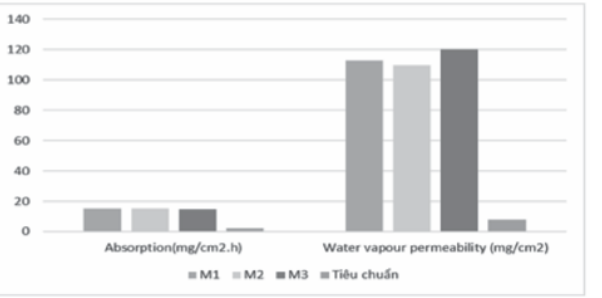
Vị trí mũ giày chịu tác động lớn khi bàn chân con người di chuyển, tác động va quệt vào các vật cản gây nên sự mài mòn vật liệu. Với ba mẫu vải dệt kim nghiên cứu, sau 51200 chu kỳ mài mòn, bề mặt có sự thay đổi nhẹ. Đặc biệt, bề mặt mẫu 2 đảm bảo nguyên vẹn, không có sự thay đổi nào. Từ kết quả đó cho thấy, ba mẫu vải dệt kim đảm bảo độ bền mài mòn, có thể sử dụng làm mũ giày.

Độ bền màu của ba mẫu vật liệu được đánh giá theo thang xám 5 cấp độ. Kết quả trong bảng 4 cho thấy, độ bền màu của ba mẫu vật liệu đạt cấp 4-5, trung gian giữa cấp 4 và cấp 5, không có sự phai màu đáng kể, đạt yêu cầu của sản xuất quần áo, giày dép.

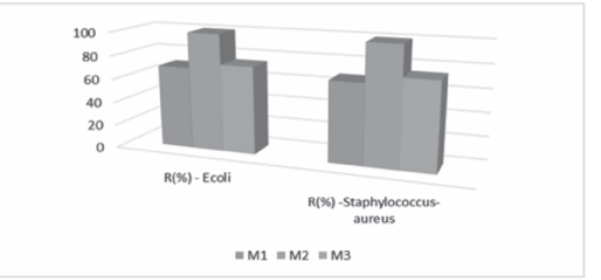
Thông thường, kích thước vòng bàn chân của con người có sự tăng nhẹ vào buổi chiều tối, giày dép nên được nới rộng hơn vì bàn chân có hiện tượng phù nề [4]. Do vậy, độ giãn của vật liệu cũng là một trong yếu tố quan trọng khi lựa chọn sản xuất mũ giày. Kết quả độ giãn của ba mẫu vật liệu đã nghiên cứu đều đạt trên mức yêu cầu. Độ giãn theo hướng dọc và hướng ngang của mẫu số 1 cao nhất đạt 83,9% và 306,3%. Trong khi đó, độ giãn theo hướng ngang của mẫu số 2 thấp nhất nhất, đạt 232,8 %. Độ giãn theo hướng dọc của mẫu số 3 thấp nhất, đạt 79, 1%, tuy nhiên, độ giãn theo hướng ngang của mẫu 3 cao hơn mẫu 2.

3.2. Tính vệ sinh của các loại vải dệt kim nghiên cứu

Kết quả độ thấm hơi nước, độ hấp thụ hơi nước và hoạt tính kháng khuẩn của 3 loại vải dệt kim được thể hiện trong hình 1 và hình 2.



Hình 1. So sánh độ thấm hơi nước và độ hấp thụ hơi nước của ba mẫu vải dệt kim



Hình 2. So sánh tỷ lệ hoạt tính kháng khuẩn (R) của ba mẫu vải dệt kim

Vật liệu sản xuất giày cho bệnh nhân tiểu đường phải thông khí, thông hơi tốt – khả năng cho không khí, nước và hơi nước xuyên qua; thải ẩm do mồ hôi bàn chân ra môi trường bên ngoài tạo cảm giác khô thoáng cho bàn chân.

Kết quả trong hình 1 cho thấy, độ thấm hơi nước và độ hấp thụ hơi nước của ba mẫu vật liệu làm mũ giày xấp xỉ bằng nhau, lần lượt mẫu 1 đạt 15 mg/cm^2.h; mẫu 2 đạt 15,2 mg/cm^2.h và mẫu 3 đạt 14,8 mg/cm^2.h; độ hấp thụ hơi nước lần lượt mẫu 1 đạt 112,8 mg/cm^2, mẫu

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

2 đạt 109,5 mg/cm^2, mẫu 3 đạt 119,9 mg/cm^2, giá trị đạt được của cả ba mẫu cao gấp hơn 7 lần so với yêu cầu.

Khí hậu tại Việt Nam thuộc khí hậu nóng, ẩm. Do vậy, giày cho người sử dụng, đặc biệt là người có bệnh lý bàn chân cần hạn chế tối đa tác động của vi khuẩn làm hôi chân và có thể gây tăng bệnh lý cho bàn chân. Số liệu trên hình 2 chỉ ra, tỷ lệ hoạt tính kháng khuẩn với hai chủng khuẩn Ecoli và Staphylococcus-aureus của mẫu số 2 đạt 100%, lớn nhất trong ba mẫu vải dệt kim. Mẫu số 1 có tỷ lệ hoạt tính kháng khuẩn thấp nhất, đạt 68,2%.

4. KẾT LUẬN

Mũ giày là chi tiết quan trọng có ảnh hưởng lớn đến tính tiện nghi của giày. Kết quả nghiên cứu cho thấy ba mẫu vải dệt kim nghiên cứu đều đáp ứng các yêu cầu về độ bền, độ bền màu, độ thấm hơi nước và độ hấp thụ hơi nước. Đặc biệt, độ giãn theo hướng ngang, độ thấm hơi nước và hấp thụ hơi nước của ba mẫu đạt giá trị khá cao vượt khá xa giá trị tiêu chuẩn yêu cầu. Tỷ lệ hoạt tính kháng khuẩn mẫu 2 đạt 100%, mẫu 1 và mẫu 3 có giá trị thấp hơn. Như vậy, ba mẫu vải dệt kim đều là vật liệu phù hợp với việc sản xuất chi tiết mũ giày, đảm bảo yêu cầu về độ bền và tính vệ sinh của sản phẩm. Các loại vật liệu này có đặc trưng độ bền và tính vệ sinh khác nhau, do vậy nên sử dụng kết hợp với vật liệu có độ bền cao bên ngoài và vật liệu lót có độ thông thoáng, kháng khuẩn cao.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, mã số đề tài UTEHY.L.2022.08.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2024**
Ngày phản biện: **18/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Van Netten JJ, Van Baal JG, Bril A, Wissink M, Bus SA. *An exploratory study on differences in cumulative plantar tissue stress between healing and non healing plantar neuopathic diabetic foot ulcers*. Clin Biomech (Bristol, Avon).2018;53:86-92.

[2]. Mohammad Reza Shariatmadari1, *Russell English, Glynn Rothwell, Effects of temperature on the material characteristics of midsole and insolefootwear foams subject to quasi-static compressive and shear force loading,* Materials and Design 37 (2012) 543-559.

[3]. Ravindra S. Goonetilleke, *The science of footwear,* CRC Press Taylor and Francis Group (2013).

[4]. Torreguitart, M. V. (2009), *Education in the Care of Diabetic Foot (II). In: Viade, J. (2009) Digital Diabetic Foot*. The Journal for the Diabetic Foot Care Taker. N0. 5, February 2009. pp. 27-32.

[5]. Kadir Bilisik, Nesrin Sahbaz Karaduman and Nedim Erman Bilisik (2016). "*3D Fabrics for Technical Textile Application*s". Intech. Dx.doi. org/10.5772/61224.

[6]. Wade and Andrea Motawi (2018). "*Shoe Material Design Guide: The shoe designers complete guide to selecting and specifying footwear materials*". Publisher: Wade Motawi. ISBN13: 9780998707044, pp.17 - 35.

[7]. https://www.orthofeet.com/products/quincy-gray-stretchable-slip-on.

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ VÀO TỐI ƯU HỆ THỐNG RÓT CHO ĐÚC MẪU HÓA KHÍ VỎ HỘP SỐ MÁY CÀY

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHODS TO OPTIMIZE THE POURING SYSTEM FOR LOST FOAM CASTING THE TRACTOR GEARBOX

Dương Lê Hùng, Bùi Chấn Thạnh
Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

TÓM TẮT

Vỏ hộp số máy cày là một chi tiết lớn, có hình dạng phức tạp dễ xuất hiện các khuyết tật như không điền đầy, rỗ co, rỗ khí và các khuyết tật khác trong quá trình đúc mẫu hóa khí. Để giảm thiểu thời gian và chi phí sản xuất, tăng hiệu suất quá trình đúc cũng như giảm ô nhiễm môi trường bằng cách giảm số lần đúc thử nghiệm nhằm tìm ra hệ thống rót tối ưu cho chi tiết vỏ hộp số máy cày bằng phương pháp đúc mẫu hóa khí thì phương pháp số cần được áp dụng. Bài báo này áp dụng phương pháp số để dự đoán được quá trình điền đầy và các khuyết tật đúc như rỗ co, rỗ khí và các khuyết tật khác từ các vị trí hệ thống rót khác nhau, từ đó chọn được hệ thống rót tối ưu cho quá trình đúc chi tiết vỏ hộp số máy cày. Bài báo tập trung vào ba cách đặt hệ thống rót: rót thẳng đứng từ trên xuống (hình 2a), rót thẳng đứng từ đáy trong (hình 2b) và rót nằm ngang từ đáy trong (hình 2c). Từ kết quả mô phỏng, tác giả áp dụng vào sản xuất thực tế và nhận thấy rằng hệ thống rót được chọn từ mô phỏng bằng phần mềm Procast thực sự chính xác trong việc đưa ra.

Từ khóa: *Vỏ hộp số; Đúc mẫu hóa khí; Phân tích số; Khuyết tật đúc; Procast.*

ABSTRACT

The tractor gearbox housing is a large part with a complex shape that is prone to defects such as incomplete filling, shrinkage, air porosity and other defects during the Lost Foam Casting (Hence LFC) process. To minimize production time and costs, increase casting process efficiency as well as reduce environmental pollution by reducing the number of test castings to find the optimal pouring system for tractor gearbox using the LFC method, the finite element method (FEM) needs to be applied. This article applies FEM to predict the filling process and casting defects such as shrinkage, air porosity and other defects from different filling system positions, thereby selecting the optimal filling system. Optimal for casting details of tractor gearbox shells. The article focuses on three ways of placing the pouring system: vertical pouring from the top (picture 2a), vertical pouring from the inside (picture 2b) and horizontal pouring from the inside (picture 2c). From the simulation results, the author applied it to actual test production and found that the pouring system selected from simulation using Procast software is really accurate.

Keywords: *Gearbox; Lost foam casting; Numerical simulation; Casting defects; Procast.*

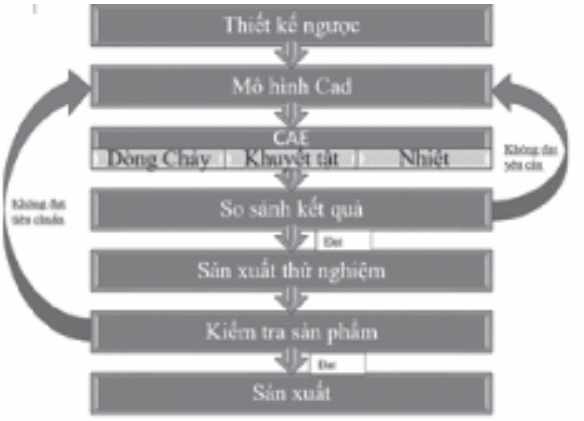
1. GIỚI THIỆU

Trong các loại máy công cụ nông nghiệp, máy cày là một trong những nông cụ chính đảm nhiệm phần lớn các công đoạn trong nông nghiệp. Là một trong những bộ phận chính của hộp số, vỏ hộp số máy cày cần phải chịu tác động của nhiều điều kiện làm việc khắc nghiệt, đồng thời vỏ hộp số cũng là nơi chứa các hệ thống quan trọng của hộp số, phải chịu nhiều hệ thống lực tác động khác nhau. Theo đặc điểm cấu trúc vỏ hộp số máy cày có kết cấu phức tạp, độ dày thành mỏng, kích thước lớn nên thường đúc bằng khuôn cát truyền thống. Tuy nhiên, phương pháp đúc truyền thống rất khó đáp ứng các yêu cầu độ chính xác vật đúc cao, nên chi tiết sau khi đúc cần phải gia công lại dẫn đến tăng chi phí sản xuất cho chi tiết. So với quá trình đúc trọng lực truyền thống, kỹ thuật đúc mẫu hóa khí có nhiều ưu điểm như độ chính xác cao, năng suất cao, tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và không cần tạo mẫu đúc [1].

Một trong những vấn đề quan tâm của sản xuất đúc là kiểm soát được chất lượng vật đúc. Trong quá trình đúc, do kim loại kết tinh từ trạng thái lỏng nên dễ sinh ra các khuyết tật đúc như: không điền đầy, lõm co, rỗ co, rỗ khí, thiên tích… Quá trình điền đầy và khuyết tật có liên quan rất lớn đến cách bố trị hệ thống rót. Trước đây, quá trình chọn hệ thống rót đa phần dựa vào phương pháp đúc thử và kinh nghiệm của người thợ thì ngày nay với sự phát triển mạnh của kỹ thuật mô phỏng phần tử hữu hạn giúp cho chúng ta quan sát trực quan hơn về sự thay đổi hình thái học của quá trình điền đầy kim loại lỏng, đưa ra những phân tích sâu hơn trường dòng chảy và trường nhiệt độ liên quan đến quá trình điền đầy kim loại lỏng trong khuôn.

Nhằm đáp ứng các nhu cầu về vỏ hộp số máy cày thay thế, đồng thời giảm bớt gánh nặng chi phí sửa chữa cho những người làm nông nghiệp tại Việt Nam, các tác giả tìm cách sản xuất ra vỏ hộp số máy cày ngay trong nước với chi phí hợp lý. Sử dụng phương pháp ngược để có được thông số của vỏ hộp số máy cày, đồng thời áp dụng phương pháp mô phỏng tính toán số bằng chương trình Procast để giảm thiểu tối đa các phí tổn khi áp dụng các mẫu thử để giảm chi phí sản xuất. Tại đây, các tác giả áp dụng chương trình Procast vào mô phỏng số vào thử nghiệm đúc mẫu hóa khí cho vỏ hộp số máy cày với các hệ thống rót khác nhau nhằm tìm ra phương thức rót tối ưu và cải tiến chất lượng cho vật đúc [2-3].

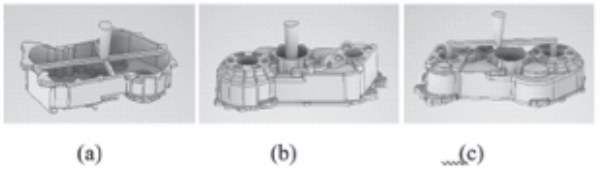
2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ VÀ ỨNG DỤNG CỦA PHẦN MỀM PROCAST

Sơ đồ thiết kế:

Hình 1. Sơ đồ khối quá trình mô phỏng đúc bằng phần mềm Procast

Mô hình hóa 3D hệ thống rót:

Theo đặc điểm cấu trúc của chi tiết và để đảm bảo yêu cầu về chất lượng bề mặt của vỏ hộp giảm tốc máy cày, cũng như để thuận tiện cho quá trình làm sạch và loại bỏ hệ thống rót, ☞

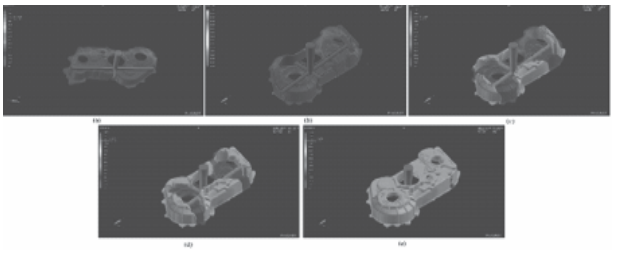
các tác giả đưa ra ba phương án rót như hình 2: rót thẳng đứng từ trên xuống (hình a), rót thẳng đứng dẫn từ đáy trong (hình b) và rót nằm ngang dẫn từ đáy trong (c).



Hình 2. Biểu đồ sơ đồ ba hệ thống rót: (a) Rót thẳng đứng từ trên xuống, (b) Rót thẳng đứng dẫn từ đáy trong, (c) Rót nằm ngang dẫn từ đáy trong.

3. PHÂN TÍCH MÔ PHỎNG

a. Phân tích hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong

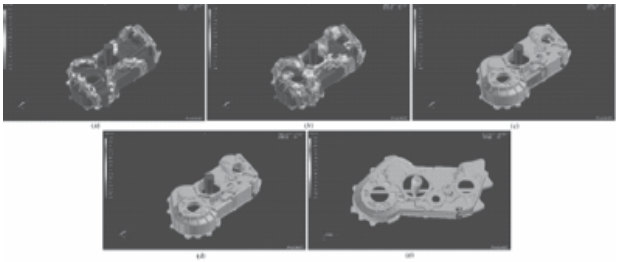


Hình 3. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong: (a) t = 0.3920s, điền đầy = 13.4%; (b) t = 0.6446s, điền đầy = 20.5%, (c) t = 1.4824s, điền đầy = 50.4%; (d) t = 2.0831s, điền đầy = 70.6%; (e) t = 2.9359s, điền đầy = 98%.

Trong suốt quá trình điền đầy của kim loại lỏng vào khuôn đúc mẫu hóa khí, mẫu bọt xốp bị phân hủy từng lớp bởi lượng lớn nhiệt truyền từ kim loại lỏng khi kim loại lỏng tiếp xúc với nó, kim loại lỏng dần thay thế nó. Giữa mặt trước kim loại lỏng và mẫu bọt xốp hình thành một lớp khí (sản phẩm phân hủy từ mẫu bọt xốp), quá trình tồn tại của khí này cũng ảnh hưởng đến quá trình điền đầy của kim loại lỏng. Lượng khí này thoát khỏi khuôn phụ thuộc vào lớp phủ và độ thấm của khuôn cát.

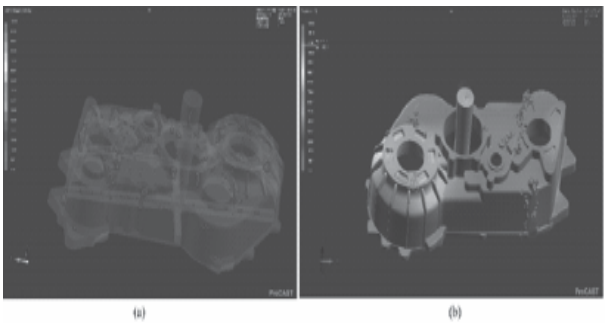
Hình 3a cho thấy kim loại lỏng điền đầy toàn bộ hệ thống rót, tốc độ điền đầy ở giai đoạn này chậm bởi vì kim loại lỏng có nhiệt độ cao nên lượng khí từ sinh ra từ các sản phẩm cháy rất nhiều, hướng khí thoát khỏi khuôn ở giai đoạn này ngược hướng điền đầy của kim loại lỏng, dẫn đến sự tăng áp suất khe khí ở bề mặt trước kim loại lỏng nên làm giảm tốc độ điền đầy của kim loại lỏng. Từ hình 3a và 3c chúng ta thấy rằng kim loại lỏng điền đầy ở giai đoạn này diễn ra ở tốc độ nhanh do hướng thoát của sản phẩm khí từ quá trình phân hủy cùng với hướng điền đầy khuôn. Từ hình 3d và 3e cho thấy ở giai đoạn này quá trình điền đầy diễn ra chậm bởi vì mặt trước kim loại lỏng cách xa nguồn nhiệt, nhiệt độ kim loại lỏng tiếp tục giảm, mẫu bọt xốp cơ bản đã bị nhiệt phân hoàn toàn dẫn đến tạo ra nhiều sản phẩm khí làm tăng áp suất ngược. Vì vậy, quá trình điền đầy kim loại lỏng vào khuôn khi rót thẳng đứng từ đáy trong thay đổi từ chậm đến nhanh và sau đó chậm.

Bởi vì kim loại lỏng đi vào hóc khuôn từ bốn rãnh dẫn bên trong khác nhau, thời gian và nhiệt độ khác nhau dẫn đến sự không ổn định trong quá trình điền đầy, dòng xoáy, sự bắn tóe và các sản phẩm khí phân hủy khó thoát khỏi khuôn do đó có xu hướng bị mắc kẹt trong dòng xoáy kim loại lỏng.



Hình 4. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 10.7%, (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 20.5%, (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 52.5%, (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 72.1%, (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100%.

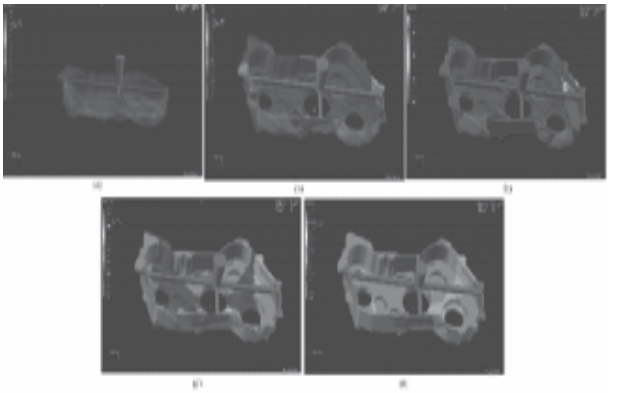
Hình 4 cho thấy tỷ phần pha rắn trong suốt quá trình điền đầy bởi hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong. Ở giai đoạn đầu, nhiệt độ ở một số vị trí cạnh cách xa hệ thống rót có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đường lỏng đã bắt đầu kết tinh đầu tiên. Các vị trí càng xa hệ thống rót, nhiệt độ kim loại lỏng giảm xuống, độ chảy loãng kém, kim loại lỏng nóng chảy phía trước không dễ dàng được bổ sung bởi kim loại nóng chảy tiếp theo trong suốt quá trình đóng rắn dẫn đến khuyết tật bề ngoài như hình 4d và 4e. Một lý giải khác lý giải cho khuyết tật ngoài này (hình 4e) là do toàn bộ quá trình điền đầy khuôn mẫu hóa khí được tiến hành dưới áp suất âm nên kim loại lỏng sẽ ưu tiên lan dọc theo thành khuôn thay vì kim loại nâng lên từng mức theo phương ngang. Điều này dẫn đến thành khuôn được điền đầy khi quá trình điền đầy hoàn thành, nhưng bên trong vẫn còn rỗng hoặc thậm chí một vài khu vực được rót không đủ.



Hình 5. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

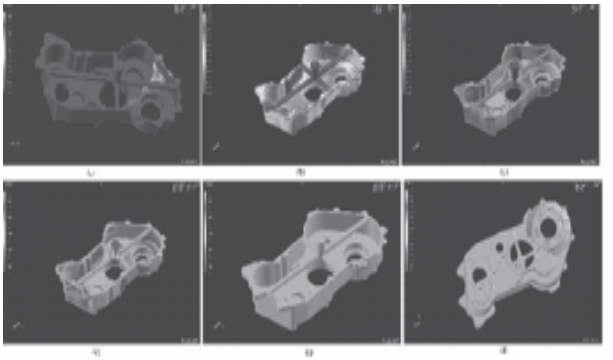
Hình 5a cho thấy rằng sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc suốt quá trình kết tinh, hầu hết chúng phân bố ở các vị trí cao nhất của vật đúc và các vị trí ở gốc của gân chịu lực. Hình 5b cho thấy sự phân bố nhiệt độ bên trong vật đúc khi vật đúc được điền đầy hoàn toàn, có sự phân bố tương đối đều nên sẽ hạn chế xuất hiện khuyết tật nứt bên trong vật đúc.

b. Phân tích hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống



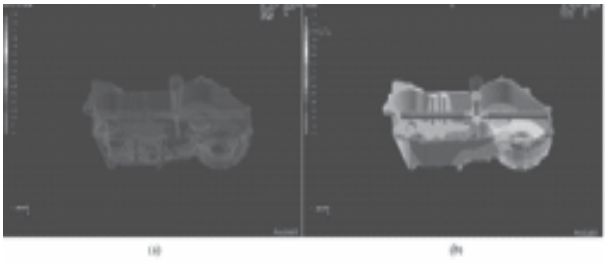
Hình 6. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống: (a) t = 0.3046s, điền đầy = 10.8%; (b) t = 0.8714s, điền đầy = 20.3%; (c) t = 1.4451s, điền đầy = 50.7%; (d) t = 2.0147s; điền đầy = 70.6%; (e) t = 2.8185s, điền đầy = 98%

Hình 6 cho thấy sự thay đổi trường nhiệt độ trong suốt quá trình điền đầy vật đúc rót thẳng đứng từ trên xuống. Đây là quá trình rót từ trên xuống và kim loại đi vào hóc khuôn theo bốn cửa nên có lợi thế về sự điền đầy do trọng lực của kim loại lỏng nên quá trình điền đầy diễn ra nhanh so với các trường hợp khác. Giai đoạn đầu như thấy ở hình 6a và 6b quá trình điền đầy diễn ra hơi chậm do gần nguồn nhiệt nên sản phẩm khí phân hủy nhiều, giai đoạn này hướng thoát khí chủ yếu ngược với hướng điền đầy của kim loại lỏng. Hình 6c và 6d cho thấy khả năng điền đầy khuôn tăng lên đáng kể do lượng khí sinh ra do trọng lực kim loại lỏng và khí thoát qua thành khuôn nhiều hơn. Càng sâu kim loại lỏng càng xa nguồn nhiệt độ chảy loãng kim loại lỏng giảm và một phần kim loại lỏng bị mất nhiệt do phản ứng nhiệt phân nên quá trình điền đầy có phần chậm lại một chút như thấy ở hình (6d-6e).



Hình 7. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 1.6%; (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 21.3%; (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 50.2%; (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tính 70.7%; (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100% (bề mặt trong); (f) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100% (bề mặt ngoài).

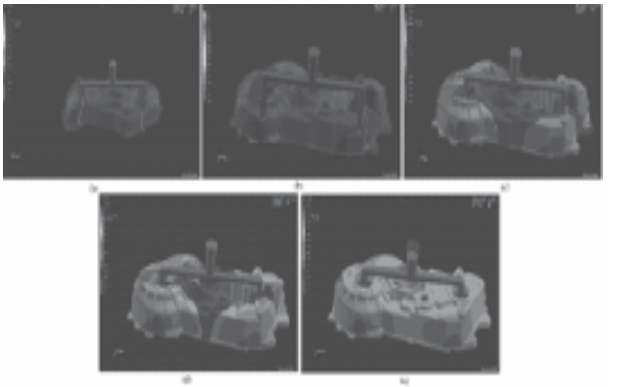
Hình 7a, 7b cho thấy rằng, vị trí đáy vật đúc xa chân ống rót sẽ kết tinh đầu tiên tại vị trí này, kim loại lỏng xa hệ thống rót và truyền nhiệt nhanh qua khuôn. Từ hình 7c và 7d, chúng ta thấy quá trình kết tinh ổn định theo hướng từ đáy đi lên trên diễn ra tương đối nhanh khoảng 60s, tỷ lệ pha rắn kết tinh tăng lên hơn 20%. Kết thúc quá trình kết tinh, hầu như không có khuyết tật bề mặt ngoài và bề mặt trong ở vật đúc như thấy ở hình 7e và 7f.



Hình 8. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

Hình 8a cho thấy sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc trong quá trình kết tinh, hầu hết chúng phân bố ở dọc thành khuôn chỗ giao nhau giữa các dòng giữa hai dòng chảy từ các rãnh dẫn kim loại do dòng xoáy hoặc sự tập trung khí phân hủy, không được bổ sung kim loại lỏng và ở vị trí thành dày của vật đúc. Nhưng số lượng rỗ co thấp hơn rất nhiều so với hai trường hợp rót khác. Hình 8b cho thấy sự phân bố trường nhiệt độ khi điền đầy hoàn toàn tương đối đều giữa các trị ví trên vật đúc nên cũng hạn chế xuất hiện ứng nhiệt khi kết tinh.

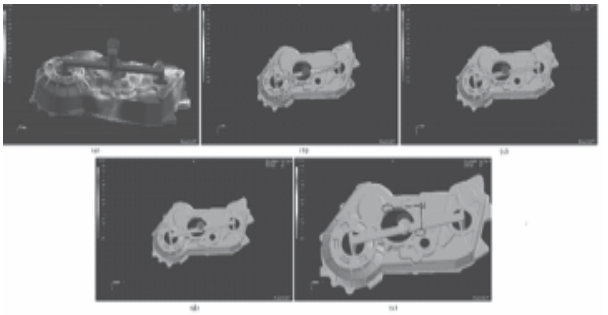
c. Phân tích hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong



Hình 9. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong: (a) t = 0.3649s, điền đầy = 12.5%; (b) t = 0.6910s, điền đầy = 21.6%, (c) t = 1.4808s, điền đầy = 50.5%; (d) t = 2.0818s, điền đầy = 70.9%; (e) t = 2.9197s, điền đầy = 98%

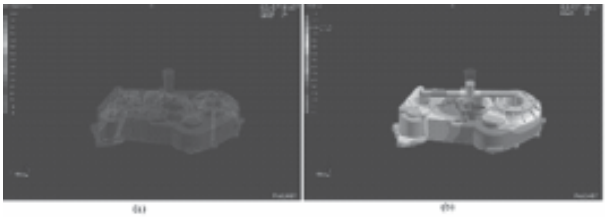
Hình 9 biểu thị sự thay đổi trường nhiệt độ trong quá trình điền đầy kim loại lỏng trong khuôn qua hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong. Quá trình điền đầy này diễn ra khá giống với quá trình điền đầy bởi hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong, nhưng trong trường hợp này được coi như là điền đầy bởi hai ống rót nên khả năng giữ nhiệt ở các vùng tốt dẫn đến độ chảy loãng kim loại lỏng tốt nên quá trình điền đầy tốt hơn so với trường hợp rót thẳng đứng từ đáy trong. Từ hình 9e cho thấy rằng hầu như vật đúc được điền đầy gần như hoàn toàn, số lượng các vùng không được bù co rất ít coi như không đáng kể.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 10. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 5.2%; (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 51.6%; (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 70.8%; (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 90.9%; (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100%

Hình 10a cho thấy các vị trí xa chân ống rót và thành mỏng có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đường lỏng nên kết tinh đầu tiên. Hình 10b, 10c, 10d cho thấy vị trí mép và gân chịu lực, thành dày đông đặc sau cùng nếu không bù kim loại lỏng vị trí này dễ hình thành rỗ co. Kết thúc quá trình kết tinh, vẫn còn một vài vị trí khuyết tật bên ngoài ở các vị trí tại M như thấy ở hình 10e do không được bổ sung kim loại lúc điền đầy.



Hình 11. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

Hình 11a cho thấy sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc, đa số các vị trí hình thành rỗ co tập trung ở thành dày, các vị trí chuyển tiếp thành dày và thành mỏng, và các vị trí mép gân chịu lực ở đỉnh của vật đúc, số lượng rỗ co và rỗ khí tương đối lớn. Hình 11b biểu thị trường nhiệt độ bên trong vật đúc sau khi điền đầy hoàn toàn phân bố khá đều, không có sự chênh lệch nhiệt độ nhiều giữa các vùng nên khả năng sinh ứng suất nhiệt khi kết tinh không cao.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nhận được từ mô phỏng trên phần mềm Procast, chúng ta thấy rằng hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống (b) và hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong (c) có chất lượng bề mặt vật đúc tốt nhất hầu như không hình thành các khuyết tật bề mặt cũng như không điền đầy hoàn toàn như là hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong (b). Sự phân bố rỗ co và rỗ khí của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống ít hơn nhiều so với các hệ thống rót còn lại. Do đó, hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống (b) được coi như là một lựa chọn tối ưu để đúc thực nghiệm kiểm tra chi tiết vỏ hộp số.❖

Ngày nhận bài: **12/02/2024**
Ngày phản biện: **15/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Ngọc Hà; *Các phương pháp và công nghệ đúc đặc biệt,* NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
[2]. Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Tấn Vinh; *Mô phỏng đúc kim loại trên phần mềm Procast.* NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
[3]. H. Walther and P.R. Sahm. *A model for the computer simulation of flow of molten metal into foundry molds.* Giesereiforchung, Vol 38, 1986, p 119-124 (in German).

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG TAY KẸP GẠCH SỬ DỤNG THỊ GIÁC MÁY TÍCH HỢP TRÊN ROBOT NACHI MC20-01

BUILDING AN EFFECTIVE SYSTEM FOR CLAMPING MASONRY BRICKS USING INTEGRATED MACHINE VISION ON ROBOT NACHI MC20-01

Trần Ngọc Tiến*, Lê Văn Nghĩa, Nguyễn Đức Minh
Trường Cơ khí – Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Hiện nay tại Việt Nam, quy trình sản xuất gạch Tuynel vẫn chủ yếu sử dụng công nghệ cũ và chỉ tự động hóa một số công đoạn đơn giản. Một số nhà máy đã áp dụng robot để thay thế con người trong công đoạn xếp gạch ướt trước khi nung. Tuy nhiên, sau giai đoạn nung, hầu hết các công việc vẫn phải thực hiện thủ công do trạng thái của gạch sau khi nung đã thay đổi và việc sử dụng robot để kẹp và di chuyển khối gạch trở nên khó khăn, đặc biệt là khi có nhiều viên gạch bị nứt, vỡ. Tình trạng này gây lãng phí nhân lực, thời gian và tiềm ẩn nguy hiểm cho công nhân trong môi trường có nhiều khói bụi độc hại, nhiệt độ cao. Việc tự động hóa công đoạn này là rất cần thiết để tiết kiệm chi phí sản xuất và giảm thiểu các rủi ro. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất xây dựng một hệ thống tay gắp gạch thông minh kết hợp với công nghệ thị giác máy tích hợp trên robot NACHI MC20-01, nhằm tự động hóa quá trình gắp gạch Tuynel sau nung. Để thực hiện điều này, trước hết nghiên cứu đã tiến hành thiết kế hệ thống tay kẹp sử dụng các má dồn và má kẹp nhằm mục đích kẹp chặt khối gạch đồng thời phá vỡ liên kết dính giữa các mặt gạch. Sau đó, nghiên cứu đã xây dựng một phương pháp thị giác máy kết hợp các thuật toán phát hiện hình vuông và thuật toán mô-men để phân tích thuộc tính của hình ảnh các viên gạch, từ đó nhận diện chính xác các vết nứt và khuyết tật trên gạch. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành xây dựng nguyên lý hoạt động của hệ thống và tích hợp vào robot NACHI MC20-01 để thực hiện một quy trình tự động cho việc phát hiện và bốc xếp gạch. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống đạt được độ chính xác cao. Trong tương lai, áp dụng kết quả này vào nhà máy sản xuất gạch Tuynel quy mô lớn có thể mang lại nhiều lợi ích, đồng thời tạo ra một môi trường làm việc an toàn và hiệu quả hơn.

Từ khóa: *Thị giác máy tính; Khuyết tật gạch; Robots; Gạch Tuynel.*

ABSTRACT

In Vietnam, the current state of the Tuynel brick production process primarily relies on outdated technology, with only a few automated steps. Some factories have introduced robots to replace human workers in the initial stage of stacking wet bricks before firing. However, the majority of the process still requires manual labor after the firing stage due to changes in the brick's condition. The use of robotic arms to grip and handle the bricks becomes challenging, particularly when many of them are cracked or damaged. This situation leads to the wastage of labor, time, and poses risks to workers in environments with high temperatures and harmful dust particles. Automating this

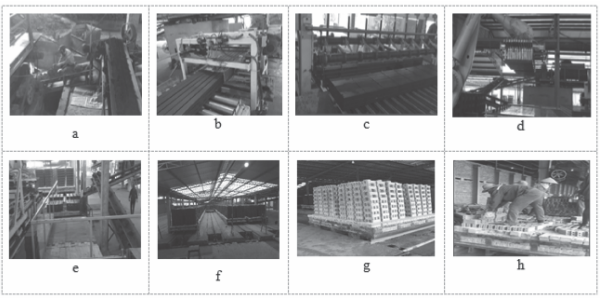
particular step is crucial to reduce production costs and minimize associated risks. Therefore, our study proposes the development of an intelligent brick picking system that incorporates machine vision technology and is integrated onto the NACHI MC20-01 robot. This system aims to automate the process of picking Tuynel bricks after firing. To achieve this, our research initially focuses on designing a clamping system that utilizes clamping jaws to securely hold the brick blocks while simultaneously breaking the adhesive bonds between the brick surfaces. Subsequently, we develop a machine vision method by combining square detection algorithms and moment algorithms to analyze the characteristics of brick images, enabling accurate identification of cracks and defects. Based on these foundations, we establish the operating principles of the system and integrate it with the NACHI MC20-01 robot to facilitate a complete automated process for brick detection and handling. The research findings demonstrate a high level of accuracy in the system's performance. In the future, implementing these results in large-scale Tuynel brick factories can yield substantial benefits, while also creating a safer and more efficient working environment.

Keywords: *Computer vision; Brick defects; Robots; Tuynel bricks.*

1. GIỚI THIỆU

Trong thời đại Công nghiệp 4.0, robot đang trở nên ngày càng phổ biến [1-3]. Đặc biệt, robot tay nhiều bậc tự do đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp, bao gồm cả việc sản xuất gạch Tuynel xây dựng [4]. Trước đây, công việc bốc xếp gạch là một công việc thủ công yêu cầu độ chính xác cao, nhưng hiện nay robot tay đã thay đổi hoàn toàn quy trình này. Robot có khả năng thực hiện các nhiệm vụ lặp đi lặp lại với độ chính xác, tốc độ và tính nhất quán cao, giảm đáng kể sự phụ thuộc vào lao động của con người và nâng cao năng suất tổng thể. Robot nhiều bậc tự do có khả năng di chuyển linh hoạt, cho phép chúng đạt được các vị trí và góc độ khác nhau. Robot cũng được trang bị các dụng cụ kẹp có thể giữ và xử lý các viên gạch một cách chính xác và đáng tin cậy (Hình 1). Tuy nhiên, trong quy trình sản xuất gạch Tuynel hiện nay, robot chỉ được sử dụng để bốc xếp gạch ướt trước khi đưa vào lò nung, trong khi việc bốc dỡ gạch sau khi nung vẫn cần phải được thực hiện bởi công nhân. Sử dụng robot để bốc dỡ gạch sau khi nung gặp khó khăn vì không thể nhận biết và loại bỏ gạch bị lỗi. Do đó, cần thiết phải sử dụng kỹ thuật phát hiện lỗi trên các viên gạch để robot có thể xử lý gạch một cách tự động. Hiện đang có nhiều nghiên cứu được tiến hành để phát triển phương pháp phát hiện lỗi cho các loại sản phẩm khác nhau. Abdel-Qader và cộng sự [5] đã đề xuất một phương pháp phát hiện cạnh để xác định vết nứt trên cầu. Phương pháp mới này đã được so sánh với các thuật toán khác như biến đổi Haar, biến đổi Fourier, Sobel và bộ phát hiện cạnh Canny. Ngoài ra, phương pháp này cũng sử dụng các bộ lọc khác nhau để trích xuất cạnh từ hình ảnh của đối tượng. Yu và cộng sự [6] đã đề xuất một phương pháp bán tự động dựa trên tìm kiếm dựa trên đồ thị và sử dụng tính năng phát hiện cạnh Sobel để trích xuất các thuộc tính của vết nứt. Các tác giả trong [7] đã đề xuất một thiết bị thu nhận ảnh từ xa và một phương pháp xử lý ảnh tích hợp để phát hiện vết nứt trong cấu trúc dưới cầu. Phương pháp này bao gồm các bước chung để trích xuất vết nứt, sử dụng thuật toán đo khoảng cách điện tử để tính toán độ rộng của vết nứt và áp dụng thuật toán phân đoạn hình ảnh cải tiến dựa trên mô hình C-V. Trong một nghiên cứu khác [8], các vết nứt trên bề ☞

mặt kết cấu bê tông được phát hiện thông qua bộ lọc hình ảnh sử dụng giải thuật di truyền và loại bỏ nhiễu dư. Phương pháp này có khả năng phát hiện chính xác các vết nứt trên hình ảnh bề mặt trong các điều kiện khác nhau và định lượng độ rộng của chúng bằng cách sử dụng đạo hàm không gian của các mẫu độ sáng. Gần đây, nhiều nghiên cứu quan tâm đến việc phát hiện khuyết tật sản phẩm, đặc biệt là trong lĩnh vực mạng nơ-ron nhân tạo [9, 10]. Các thuật toán học sâu sử dụng việc huấn luyện mô hình trên dữ liệu lịch sử đã tăng đáng kể độ hiệu quả trong việc xác định khuyết tật. Ravichand và cộng sự [11] đã đề xuất một phương pháp nhận dạng vết nứt dựa trên hình ảnh tự động cho các viên gạch, kết hợp mạng học sâu CNN và SVM để xác định vết nứt. Phương pháp này trích xuất các đặc điểm từ ảnh RGB và thay thế bộ phân loại SoftMax để cải thiện khả năng phân loại. Hệ thống đã được đào tạo bằng cách sử dụng các thiết bị hỗ trợ trực quan và máy bay không người lái.



Hình 1. Dây chuyền sản xuất gạch Tuynel tại Nhà máy Chiến Thắng Hải Dương: a – Quá trình pha trộn đất; b – Quá trình đúc gạch; c – Quá trình cắt gạch; d – Robot trang bị tay gắp gạch trước nung; e – Gắp gạch lên pallet; f – Khu vực nung gạch; g – Chồng gạch sau nung; h – Công nhân bốc xếp gạch sau nung.

Dang và các cộng sự [13] đã phát triển mô hình phân đoạn vết nứt dựa trên các kỹ thuật học sâu U-Net, DeepLabV3+ và FPN để trích xuất phép đo chiều dài vết nứt theo thời gian thực bằng cách phát hiện các đơn vị gạch. Mặc dù các kỹ thuật này đạt được kết quả khá chính xác tuy nhiên phải cần tập dữ liệu đủ lớn để tạo ra mô hình dự đoán tin cậy hơn. Ngoài ra, các phương pháp kể trên đều thực hiện việc gán nhãn dữ liệu một cách thủ công và chỉ giới hạn theo một số loại vết nứt, vỡ nhất định do hạn chế của việc xây dựng mô hình huấn luyện. Như vậy, rất cần thiết phải có phương pháp xác định được đa dạng các khuyết tật của đối tượng và được thực hiện với độ chính xác cao.

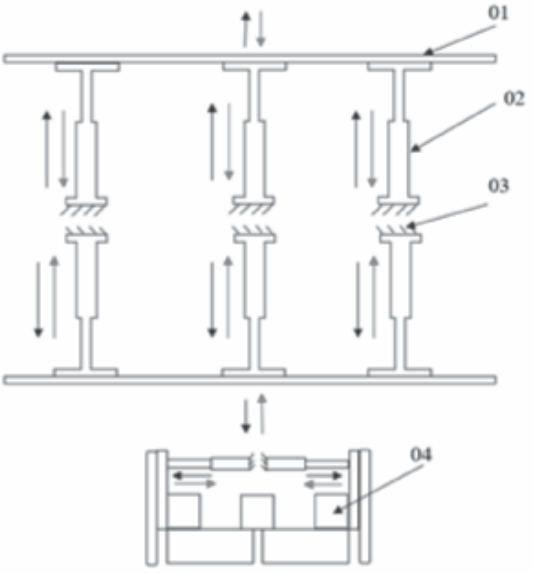
Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành đề xuất một thiết kế cải tiến cho tay kẹp gạch để thực hiện được việc kẹp hàng gạch sau nung. Nghiên cứu cũng đề xuất một cách tiếp cận mới bằng việc sử dụng phối hợp các bộ lọc, phân ngưỡng, thuật toán tìm kiếm hình vuông kết hợp với thuật toán mô-men để xác định khuyết tật của viên gạch. Trên cơ sở đó, nghiên cứu xây dựng hệ thống tích hợp tay kẹp, giải thuật thị giác máy và hệ thống điều khiển của robot NACHI MC20-01 để thực hiện việc gắp sau nung.

2. XÂY DỰNG HỆ THỐNG TAY KẸP GẠCH SỬ DỤNG THỊ GIÁC MÁY TÍCH HỢP TRÊN ROBOT NACHI MC20-01

2.1. Thiết kế hệ thống tay kẹp gạch

Hệ thống tay kẹp gạch được thiết kế với các má kẹp để đảm nhận vai trò giữ chặt hàng gạch ở phía dưới. Các má kẹp có vai trò quan trọng trong việc duy trì sự ổn định của hàng gạch và chuẩn bị cho quá trình nâng. Điều này đảm bảo rằng gạch không bị xô lệch hoặc mất ổn định khi tay kẹp bắt đầu thực hiện nhiệm vụ. Bên cạnh đó, hệ thống tay kẹp còn được trang bị các má dồn, có chức năng kẹp chặt lớp gạch cần di chuyển. Các má dồn được thiết kế để phá vỡ liên kết giữa các viên gạch hàng cần

kẹp và các viên gạch phía dưới do sự cháy dính sau quá trình nung. Ngoài ra, nhiệm vụ của má dồn còn là việc giữ chặt lớp gạch cần gắp trong quá trình di chuyển. Điều này đảm bảo rằng lớp gạch được nâng sẽ được giữ vững và không bị chia tách trong quá trình chuyển động. Hình 2 mô tả nguyên lý thiết kế của hệ thống tay kẹp.



Hình 2. Nguyên lý thiết kế của hệ thống tay kẹp: 01 – Má kẹp, 02 – Xy-lanh, 03 – Má định vị, 04 – Gạch mẫu

Quy trình vận hành của hệ thống tay kẹp như sau: (1) Hệ thống tay kẹp nhận tín hiệu điều khiển và tín hiệu điện thông qua bộ chuyển đổi và hệ thống điều khiển trung tâm. (2) Dựa trên thông tin nhận được, hệ thống thực hiện lệnh kẹp. Các má kẹp được đẩy vào để giữ chặt khối gạch. (3) Tiếp theo, hai má dồn được đẩy vào để ép chặt lớp gạch, chuẩn bị cho quá trình di chuyển tiếp theo. Hai chức năng này cho phép hệ thống tay kẹp thực hiện nhiệm vụ kẹp và di chuyển các lớp gạch một cách hiệu quả và an toàn. Hệ thống này không chỉ tối ưu hóa quá trình sản xuất mà còn đảm bảo tính toàn vẹn của sản phẩm gạch trong quá trình xử lý.

2.2. Xây dựng hệ thống thị giác máy

Hệ thống thị giác máy được xây dựng trên cơ sở xử lý ảnh: chuyển đổi không gian màu, lọc nhiễu, phân ngưỡng. Để thực hiện điều đó, nghiên cứu tiến hành chuyển đổi hệ màu RGB (bao gồm kênh màu đỏ (R), màu xanh lá cây (G), màu xanh nước biển (B)) sang hệ màu xám. Giá trị các pixel trong hệ màu xám được cho bởi công thức:

$$I(x,y)=0.299*R(x,y)+0.587*G(x,y)+0.114*B(x,y) \quad (1)$$

Trong công thức (1), R(x,y), G(x,y), B(x,y) lần lượt là các tọa độ pixel trong hệ màu RGB. Để nâng cao mức tương phản, nghiên cứu thực hiện sử dụng bộ lọc Gaussian với ma trận hàm nhân được cho bởi:

$$H(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Trên cơ sở đó, ảnh đầu ra sau khi lọc được thực hiện bởi phép tích chập theo công thức sau:

$$U = I \otimes H \quad (3)$$

Để đơn giản hóa quá trình xác định khuyết tật của đối tượng, hình ảnh sau đó được xác định ngưỡng nhằm chuyển đổi dải màu từ 0 đến 255 thành ảnh nhị phân. Trong đó, ngưỡng đặt là $\theta = 128$. Nếu $U(x,y) < \theta$ thì giá trị pixel được biểu thị bằng 0 (đen) hoặc nếu $U(x,y) \geq \theta$ thì pixel được biểu thị bằng 255 (trắng).

Trên cơ sở ảnh nhị phân sau quá trình phân ngưỡng, nghiên cứu thực hiện phát hiện đường viền đối tượng từ ảnh nhị phân bởi thuật toán phát hiện hình vuông. Lưới hình ảnh đối tượng được coi là một nhóm các pixel màu đen trên nền trắng. Thuật toán bắt đầu ở góc dưới ☞

bên trái của lưới và quét từng cột pixel từ dưới lên trên, bắt đầu từ cột ngoài cùng bên trái và di chuyển về phía bên phải. Thuật toán tiếp tục quét cho đến khi gặp một pixel màu đen. Để trích xuất đường viền của đối tượng, thuật toán thực hiện theo các bước sau: bất cứ khi nào điểm xét được định vị trên một pixel màu đen, bước tiếp theo là rẽ trái. Ngược lại, bất cứ khi nào điểm xét được định vị trên pixel màu trắng, bước tiếp theo là rẽ phải. Quá trình này tiếp tục cho đến khi các điểm xét quay trở lại điểm ảnh ban đầu.

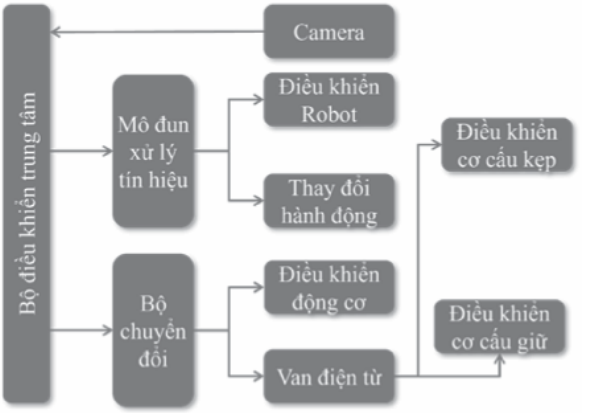
Sau đó, nghiên cứu tiến hành tính diện tích đường viền và so sánh để đưa ra kết luận. Để tìm diện tích của đường viền, thuật toán mô-men được sử dụng:

$$M_{p,q} = \int_{a_1}^{a_2} \int_{b_1}^{b_2} x^p y^q f(x,y) dxdy \quad (4)$$

Trong công thức (4), f(x,y) biểu thị giá trị pixel tại tọa độ (x,y); p, q là các giá trị nguyên không âm (p, q = 0, 1, 2,…).

2.3. Xây dựng hệ thống điều khiển

Cấu trúc phần cứng được hiển thị trong hình. Ở trung tâm của hệ thống điều khiển là máy tính chủ, tích hợp các giao diện điều khiển và tất cả các mô-đun phần mềm để điều khiển toàn bộ hệ thống. Hệ thống thu nhận tín hiệu cảm biến và hệ thống thu nhận hình ảnh cấu thành phần đầu vào được sử dụng để thu thập thông tin môi trường bên ngoài (Hình 3).

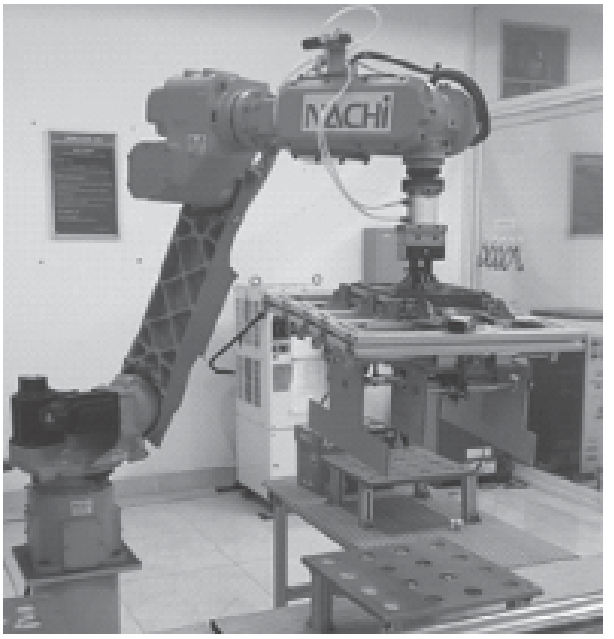


Hình 3. Sơ đồ điều khiển robot

Cấu trúc phần cứng của hệ thống được hiển thị trong hình bao gồm các thành phần sau: Ở trung tâm của hệ thống điều khiển là máy tính chủ, tích hợp các giao diện điều khiển và tất cả các mô-đun phần mềm để điều khiển toàn bộ hệ thống. Hệ thống cũng bao gồm một hệ thống thu nhận tín hiệu cảm biến và hệ thống thu nhận hình ảnh, sử dụng như là đầu vào để thu thập thông tin về môi trường bên ngoài. Quá trình bắt đầu bằng việc máy tính thu thập hình ảnh từ camera và áp dụng các thuật toán thị giác máy để trích xuất thông tin cần thiết từ hình ảnh. Thông tin này sau đó được chuyển đổi và định dạng thành dữ liệu số để chuẩn bị cho việc chuyển đổi giao diện. Module chuyển đổi nhận dữ liệu số từ máy tính và thực hiện việc chuyển đổi giao diện để tương thích với giao diện của robot. Dữ liệu được chuẩn bị sẵn sàng để chuyển tiếp cho quá trình điều khiển robot. Robot, như là thiết bị vận hành, nhận dữ liệu từ module chuyển đổi và thực hiện các hành động cần thiết như đi đến vị trí gắp, nâng và tiếp tục đi đến vị trí thả, sử dụng cơ cấu cuối cùng là tay kẹp để thực hiện các nhiệm vụ gắp thả gạch. Khi nhiệm vụ hoàn thành, robot gửi tín hiệu xác nhận về cho máy tính, báo cáo về việc hoàn thành nhiệm vụ.

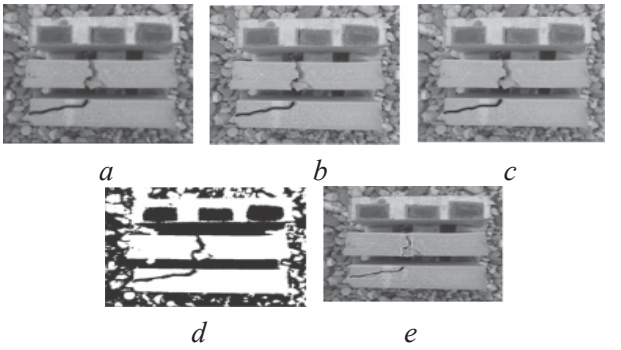
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong nghiên cứu này, một mô hình thử nghiệm đã được xây dựng, bao gồm một camera và các viên gạch mẫu được xếp thành hai hàng, mỗi hàng có ba viên gạch, một hệ thống tay gắp gạch, bộ điều trung tâm. Tất cả các thành phần này được tích hợp trên robot NACHI MC20-01 có 6 bậc tự do tại phòng thí nghiệm robot công nghiệp, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (Hình 4).



Hình 4. Hệ thống tay kẹp gạch sử dụng thị giác máy tích hợp trên robot NACHI MC20-01

Sau khi áp dụng giải thuật thị giác máy được đề xuất bởi nghiên cứu, kết quả thu được sau khi chuyển đổi không gian màu sang ảnh thang độ xám và áp dụng lọc nhiễu, phân ngưỡng và phát hiện khuyết tật cho các viên gạch có thể được quan sát trong Hình 5. Ngoài ra, để đảm bảo tải trọng giới hạn của robot NACHI MC20-01, chúng tôi sử dụng dạng gạch gỗ để thiết lập quy trình gắp gạch cho robot. Kết quả phát hiện khuyết tật cho gạch gỗ được thể hiện trên Hình 6.



Hình 5. Kết quả phát hiện khuyết tật trên gạch: a – Ảnh gốc; b – Ảnh xám; c – Ảnh sau lọc; d – Ảnh phân ngưỡng; e – Kết quả phát hiện khuyết tật

Dựa trên quan sát từ Hình 5 và Hình 6, có một số dấu hiệu nhận biết để nhận biết các vết nứt trên bề mặt gạch. Những dấu hiệu này bao gồm: Vết nứt chia đôi: Một vết nứt rõ ràng chạy ngang qua viên gạch, chia viên gạch thành hai phần; Nứt chéo: Các vết nứt theo đường chéo trên bề mặt gạch; Vết nứt bên nhỏ: Một vết nứt nhỏ nằm gần cạnh của viên gạch; Vết cháy dính: Xảy ra sau quá trình nung. Trong nghiên cứu này, dựa theo tỷ lệ diện tích, nếu diện tích vết nứt vượt quá 50% diện tích hình chữ nhật xung quanh vết nứt thì được coi là nằm ngoài phạm vi ước tính. Trong những trường hợp như vậy, nó không được phân loại là vết nứt mà là vết màu xám cháy do quá trình nung. Những viên gạch này vẫn đáp ứng được yêu cầu của người sử dụng và không bị coi là lỗi sản phẩm. Các thử nghiệm cho thấy độ chính xác nhận diện khuyết tật khoảng 99,2%. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu cũng cho thấy có thể nhận diện được đa dạng loại khuyết tật của gạch.

Hình 6. Phát hiện gạch vỡ trên gạch mô hình: a – Ảnh gốc; b – Ảnh nhị phân; c – Kết quả phát hiện khuyết tật

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống gắp gạch sử dụng giải thuật thị giác máy, tay kẹp tích hợp trên robot NACHI MC20-01. Tay kẹp được thiết kế linh hoạt gồm các má kẹp và má dồn thực hiện nguyên lý tách các lớp gạch và di chuyển lớp gạch trên cùng. Các giải thuật thị giác máy được đề xuất tích hợp bao gồm một quy trình toàn diện để loại bỏ nhiễu khỏi ảnh gốc, chuyển đổi không gian màu và ứng dụng bộ lọc Gaussian. Ngưỡng và thuật toán phát hiện hình vuông được sử dụng để xác định chính xác ranh giới của các viên gạch và xác định các khu vực ranh giới của khuyết tật. Để đánh giá mức độ khuyết tật, phạm vi ước tính được đề xuất trong nghiên cứu, cho phép tính toán diện tích khuyết tật. Phạm vi ước tính này giúp xác định xem viên gạch có vết nứt cần xử lý hay các dấu hiệu quan sát được chỉ đơn giản là vết cháy trong quá trình nung. Các thử nghiệm cho thấy độ chính xác xác định khuyết tật khoảng 99,2%. Ngoài ra, ưu điểm đáng chú ý của nghiên cứu nằm ở khả năng xác định các khuyết tật ở nhiều dạng khác nhau mà không phụ thuộc vào dữ liệu huấn luyện mô hình, không giống như một số phương pháp cổ điển nhất định. Tuy nhiên, do giới hạn của việc sử dụng robot thì vẫn cần những nghiên cứu tiếp theo để tối ưu hóa quỹ đạo chuyển động, cải thiện giải thuật thị giác máy để nâng cao độ chính xác cũng như tải trọng của các viên gạch cần được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (mã số đề tài: 05-2022-RD/HĐ-ĐHCN).❖

Ngày nhận bài: **15/4/2024**
Ngày phản biện: **08/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Pérez-Bahena, M. H., Niño-Suarez, P. A., Avilés Sánchez, O. F., Beleño, R. H., Caldas, O. I., & Pellico-Sánchez, O. I. (2024). *Trends in robotic systems for lower limb rehabilitation.* IETE Technical Review, 41(1), 98-109.

[2]. Molfino, R., Cepolina, F. E., Cepolina, E., Cepolina, E. M., & Cepolina, S. (2024). *Robots trends and megatrends: artificial intelligence and the society. Industrial Robot: the international journal of robotics research and application,* 51(1), 117-124.

[3]. Zhang, W., Li, H., Cui, L., Li, H., Zhang, X., Fang, S., & Zhang, Q. (2021). *Research progress and development trend of surgical robot and surgical instrument arm*. The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 17(5), e2309.

[4]. Kaur, M., Yanumula, V. K., & Sondhi, S. (2024). *Trajectory planning and inverse kinematics solution of Kuka robot using COA along with pick and place application*. Intelligent Service Robotics, 17, 289–302.

[5]. Abdel-Qader, I., Abudayyeh, O., & Kelly, M. E. (2003). *Analysis of edge-detection techniques for crack identification in bridges*. Journal of computing in civil engineering, 17(4), 255-263.

[6]. Yu, S. N., Jang, J. H., & Han, C. S. (2007). *Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel*. Automation in construction, 16(3), 255-261.

[7]. Li, G., He, S., Ju, Y., & Du, K. (2014). *Long-distance precision inspection method for bridge cracks with image processing*. Automation in Construction, 41, 83-95.

[8]. Nishikawa, T., Yoshida, J., Sugiyama, T., & Fujino, Y. (2012). *Concrete crack detection by multiple sequential image filtering*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 27(1), 29-47.

[9]. Talukder, M. H., Ota, S., Takanokura, M., & Ishii, N. (2021). *Sub-dataset generation and matching for crack detection on brick walls using convolutional neural networks.* In DeLTA (pp. 191-197).

[10]. Hallee, M. J., Napolitano, R. K., Reinhart, W. F., & Glisic, B. (2021). *Crack detection in images of masonry using CNNs.* Sensors, 21(14), 4929.

[11]. Ravichand, M., Kumar, R., Hazela, B., & Suthar, T. (2022). *Crack on brick wall detection by computer vision using machine learning. In 2022 6th International Conference on Electronics*, Communication and Aerospace Technology (pp. 1017-1020). IEEE.

[12]. Dang, L. M., Wang, H., Li, Y., Nguyen, L. Q., Nguyen, T. N., Song, H. K., & Moon, H. (2022). *Construction and Building Materials,* 359, 129438.

XÂY DỰNG BỘ ĐÔI SỐ CHO NHÀ MÁY SẢN XUẤT HÓA CHẤT: MỘT SỐ CA NGHIÊN CỨU

DEVELOPMENT OF DIGITAL TWINS FOR CHEMICAL PLANTS: SOME CASE STUDIES

ThS. **Đoàn Thanh Xuân**
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bộ đôi số (Digital Twins) là một công nghệ mới nổi tiếng trong lĩnh vực công nghiệp 4.0. Bằng cách tạo ra bản sao kỹ thuật số của một thực thể vật lý như thiết bị, quy trình hoặc hệ thống, công nghệ này cho phép mô phỏng, theo dõi và dự đoán hoạt động của các hệ thống và quy trình theo thời gian thực. Ứng dụng của bộ đôi số rất đa dạng, từ giảm thiểu lỗi trong sản xuất, tối ưu hóa hoạt động của máy móc và thiết bị, đến cải thiện quản lý tài nguyên và dịch vụ cho khách hàng. Tính linh hoạt và tiềm năng của công nghệ này đang thu hút sự quan tâm và đầu tư từ nhiều công ty và tổ chức trên toàn cầu. Bài báo này đề cập đến xây dựng bộ đôi số trong lĩnh vực sản xuất hóa chất thông qua hai ca nghiên cứu: (i) Đánh giá sự hấp thụ đa thành phần các khí thải hữu cơ từ quá trình tổng hợp dược chất (salbutamol) và (ii) Quan sát và tối ưu hóa hoạt động dựa trên dữ liệu của một nhà máy hóa chất.

Từ khóa: *Bộ đôi số; FPM; DDM; StS; Huấn luyện lăn; Dự đoán dài hạn; Nhà máy sản xuất hóa chất.*

ABSTRACT

Digital Twins is a popular new technology in the Industry 4.0 sector. By creating a digital replica of a physical entity such as a device, a process, or a system, this technology allows for real-time simulation, monitoring, and prediction of the activities of systems and processes. Its applications are diverse, ranging from minimizing errors in manufacturing, optimizing the operations of machinery and equipment, to improving resource management and services for customers. The flexibility and potential of this technology have been attracting attention and investment from many companies and organizations worldwide. This article discusses the construction of Digital Twins in the chemical manufacturing sector through two case studies: (i) Evaluating the multi-component absorption of volatile organic emissions from the synthesis process of a pharmaceutical (salbutamol), and (ii) Observing and optimizing operations based on the data from a chemical plant.

Keywords: *Digital Twins; FPM; DDM; StS; Rolling training; Long-term prediction; Chemical plant.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bộ đôi số (Digital twins – DT) là việc áp dụng các mô phỏng toàn diện để tạo ra một bản sao ảo của các hệ thống vật lý [1]. Việc áp dụng các bản sao số có thể giúp các kỹ sư theo dõi sản xuất, đánh giá các lợi ích và an toàn của quá trình kiểm soát trong một môi trường ảo cách ly, và thực hiện các chiến lược vận hành bằng cách tương tác với mô hình bản sao trước khi triển khai thực [2-4].

Một bản sao số có thể được phát triển thông qua các mô hình nguyên tắc đầu tiên (First Principle Models – FPM) và các mô hình dựa trên dữ liệu (Data-driven Models – DDM) [5]. Các giải pháp bộ đôi số thương mại cho các nhà máy hóa chất thường dựa trên các mô hình dựa trên dữ liệu được cải thiện hoàn toàn từ dữ liệu đo lường của các nhà máy công nghiệp mục tiêu [6,7]. Bộ đôi số được xây dựng dựa theo các mô hình dựa trên dữ liệu phụ thuộc vào các mô hình hộp đen (black-box models) được tạo ra để đạt được sự tương quan giữa các đầu vào và đầu ra của nhà máy [8]. Các hệ thống này được áp dụng để tìm ra các bất thường cụ thể trong sản xuất hoặc để đạt được mục tiêu sản xuất. Tuy nhiên, chúng không thể được sử dụng để dự đoán các tình huống vận hành bất thường của nhà máy không được bao phủ bởi dữ liệu có sẵn. Hơn nữa, chúng cần sự giải thích thấu đáo và do đó việc mở rộng quy mô sẽ gặp khó khăn [3]. Tiến bộ qua việc sử dụng bộ đôi số đã được ghi nhận trong lĩnh vực Pharma 4.0 [9-11], ở tốc độ nhanh hơn đáng kể so với các lĩnh vực khác [12].

Trong lĩnh vực sản xuất hóa chất, quy trình sản xuất dược chất thường phức tạp (với nhiều nguyên liệu hữu cơ, chất trung gian chính và dung môi, nhiều tương tác cụ thể không được hiểu rõ). Do vậy, xây dựng bộ đôi số dựa vào FPM (với hàng trăm phương trình đạo hàm riêng hoặc đạo hàm thường và/hoặc phương trình đại số) là không khả thi. Việc sử dụng DDM để thu hẹp khoảng cách về độ trung thực của mô hình là bắt buộc, đặc biệt là với sản xuất công nghiệp khi dữ liệu lớn (Big Data) được lưu trữ thường xuyên. Tuy nhiên, việc triển khai DDM mà không có cơ sở FPM sẽ gặp trở ngại, đặc biệt với các các quy trình được cấp phép. Ví dụ, phương pháp DDM hiện có có thể thu thập một cách đáng tin cậy hiệu suất nhà máy và các thuộc tính chất lượng đầu ra chính; nhưng nó cũng có thể bỏ lỡ hoàn toàn các đặc điểm hiệu suất phụ chỉ vì nó không được thiết kế để giải quyết chúng.

Trong bài báo này, hai ca nghiên cứu điển hình sẽ được phân tích nhằm chỉ rõ hướng phát triển hiện đại của ứng dụng bộ đôi số trong lĩnh vực sản xuất hóa chất.

2. XÂY DỰNG BỘ ĐÔI SỐ TRONG NHÀ MÁY SẢN XUẤT HÓA CHẤT

Ca nghiên cứu 1:

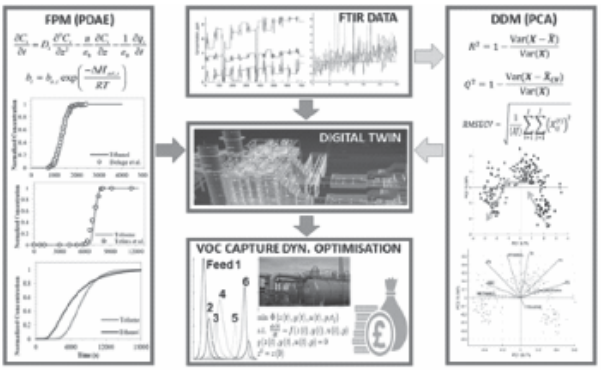
Gerogiorgisa và Daniel Castro-Rodriguez đã nghiên cứu xây dựng bộ đôi số để tối ưu hóa quá trình tổng hợp salbutamol (thuốc giãn phế quản) khi có mặt 4 nguyên liệu: diacetate, glycyl, benzyl, base [13]. Trong đó, diacetate (tạo ra do chưng cất dichloromethane trong điều kiện không khí và chân không, và chưng cất toluen) và glycyl (có nguồn gốc từ chưng cất toluen và chloroform) đã được xác định là hai hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) chính thải ra từ quá trình tổng hợp salbutamol. Đây là những chất có độc tính và gây hại cho môi trường. Tuy nhiên, quá trình thu hồi chúng gặp phải hai vấn đề: (i) Các giường than hoạt tính (carbon bed) hấp thụ VOC có thể bị bão hòa nhanh chóng và không đều. Vật liệu giường

(than hoạt tính) phải tái sinh thường xuyên gây tốn kém; (ii) Thành phần luồng khí nạp không tinh khiết luôn biến đổi nhiều về dung môi hữu cơ, thể tích và lượng chứa trong khí thải, ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi VOC.

Các tác giả đã tập trung vào phân tích (hướng đến tối ưu hóa) quá trình hấp phụ VOC đa thành phần trên giường than hoạt tính công nghiệp thông qua kết hợp mô hình FPM (dựa trên vật lý) và DDM để tạo ra DT (hệ thống đánh giá hiệu suất tiên tiến). DT được thẩm định có thể ứng dụng để phân tích và dự đoán hiệu suất của lớp than hoạt khi có thay đổi thành phần VOC; và do đó đánh giá các cải tiến một cách tương đối (ví dụ: định tuyến khí cấp) thông qua các phương pháp tối ưu hóa kinh tế-kỹ thuật (chi phí).

Các mục tiêu chính của dự án này là: (1) Sử dụng phân tích dữ liệu chính thức, phân tích cấu tử chính (Principal Component Analysis – PCA), để trích xuất đặc điểm quy trình và làm rõ xu hướng chính; điều này đã mang lại kết quả tích cực, tạo ra kết quả ban đầu quan trọng đối với DDM của hấp phụ VOC, (2) Phát triển FPM cho hấp phụ đa thành phần và nghiên cứu các hỗn hợp VOC chính, xác định được ảnh hưởng khi thay đổi VOC đến hoạt động của giường than hoạt tính, (3) Xây dựng và xác thực DT, đánh giá tiềm năng dự đoán của nó so với lịch sử hấp phụ VOC, (4) So sánh dự đoán mô phỏng của DT với dữ liệu hiệu suất nhà máy cho các lô dược chất cụ thể, (5) Thực hiện tối ưu hóa động dựa trên DT để giảm chi phí vận hành thông qua định tuyến và pha trộn khí tối ưu, dưới các ràng buộc về lưu lượng và khí thải của nhà máy.

Bộ đôi số được xây dựng kết hợp các thành phần hàng đầu (hình 1): Mô tả dựa trên vật lý (FPM) dựa trên các hệ thống phương trình chi tiết ghi lại hiện tượng vận chuyển macro- (dòng chảy) và micro- (hấp phụ), nhiệt động học khí thải/cân bằng pha, và thiết kế giường hấp phụ VOC. Dữ liệu công nghiệp về khí thải VOC so với điều kiện sản xuất đã được tổng hợp từ một trạm giám sát khí chuyên dụng cho nhà máy sản xuất salbutamol (Montrose, Scotland, UK), với sự chú ý đặc biệt đối với các giai đoạn sản xuất quan trọng của VOC (cụ thể là phân tách chưng cất). Mô tả thống kê (DDM) đã thành công sử dụng PCA, để mô tả tương quan giữa thành phần của VOC (khi thay đổi) và hoạt động của giường than hoạt (có độ chọn lọc hấp phụ).



Hình 1. Kiến trúc DT: Khung FPM và DDM và kết quả hướng tới tối ưu hóa động.

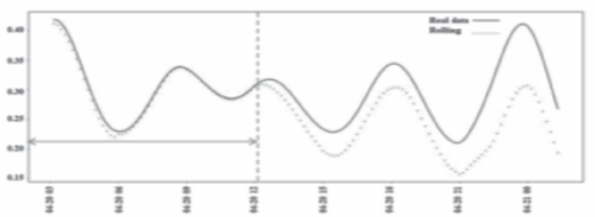
Nghiên cứu này cho thấy DT đạt hiệu quả khi được kết nối với các phép đo quy trình (thu thập cả dữ liệu đầu vào và đầu ra của giường thanh hoạt). Sự kết hợp và bổ sung lẫn nhau của FPM và DDM đã mang lại tiềm năng chưa từng có. Các sửa đổi thiết kế (cấu trúc dòng cột) và vận hành (pha trộn và/hoặc định tuyến dòng khí cấp) có thể được thử nghiệm trong mô phỏng máy tính trước khi áp dụng.

Ca nghiên cứu 2:

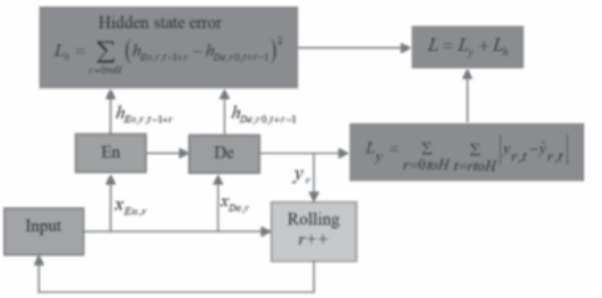
Trên thực tế, không thể đảm bảo việc DDM dự đoán ra ngoài dữ liệu hiện có vì ít thông tin về quá trình được sử dụng. Mô hình ☞

Sequence-to-Sequence (StS) là phương pháp tiếp cận gần nhất như một DT, nhưng dự đoán không đủ dài [5]. Do vậy, Kang và cộng sự đã đề xuất một thuật toán huấn luyện mới để đảm bảo rằng mô hình StS có thể tạo ra dự đoán lăn (rolling) dài vô hạn như một DT [14]. Nhóm tác giả này đã kết hợp nghiên cứu trong mô phỏng động và dự đoán lăn để tạo ra DT ứng dụng cho kiểm soát chất lượng và quá trình của một nhà máy hóa chất.

Aspen Plus được sử dụng để mô phỏng quá trình động học của quá trình nén hơi Cột chưng cất C3 (propane-propylene) và khoảng 10^6 dữ liệu được tạo ra bằng sự xáo trộn ngẫu nhiên của các thành phần đầu vào và tốc độ dòng chảy. Dữ liệu của ba biến điều khiển như tốc độ nén, tốc độ trào ngược, van (u_t), năm biến cảm biến (sv_t) như lưu lượng, áp suất, nhiệt độ, và một biến chất lượng là đo thành phần ở vị trí đáy (q_v) được thu thập mỗi phút. 10^6 dữ liệu của các biến được thu thập bằng cách lấy trung bình mỗi 10 phút, trong vòng 2-3 năm. Các biến điều khiển đã được điều chỉnh trong quá trình, nhưng các biến cảm biến đã được đo. Mô hình StS được huấn luyện cho dự đoán lăn. Sau đó, kết quả của mô hình StS và StS với huấn luyện lăn cho biến chất lượng và biến cảm biến đã được so sánh cho một ngày và tám ngày dự đoán lăn. Hệ số xác định (R^2) của dự đoán dữ liệu thử nghiệm được sử dụng như một chỉ báo về độ chính xác của mô hình; các hệ số cao hơn là chỉ báo của độ tương quan tốt hơn cho các quan sát.



Hình 2. Dự đoán lăn StS của biến chất lượng trong một ngày



Hình 3. Kiến trúc mạng StS với huấn luyện lăn

Với dự đoán lăn StS của biến chất lượng trong một ngày (hình 2), mô hình chỉ có thể dự đoán tốt trong 9 giờ đầu trong khi sai số tăng theo sự lăn của nó. $R^2 = 0,217$ cho trường hợp này và xác nhận rằng dự đoán ngang không bằng với dự đoán lăn. Do đó, mô hình StS đã được huấn luyện cho việc lăn dựa trên thuật toán được đề cập trong Hình 3.

Kết quả nghiên cứu cho thấy dự đoán lăn của biến chất lượng trong một ngày gần đúng với dữ liệu thực tế (R^2 đã tăng thêm 0,76 so với mô hình StS). Dự đoán lăn của biến chất lượng trong tám ngày không khớp với dữ liệu thực tế cho mô hình StS; tuy nhiên, với dự đoán lăn dài hạn, StS với huấn luyện lăn có hiệu suất tốt, R^2 tăng thêm 0,80 so với StS. Đối với tất cả các biến, các sai số của StS với huấn luyện lăn ít hơn so với StS. Ngoài ra, R^2 của StS với huấn luyện lăn trong tám ngày có thể phù hợp tốt hơn với dữ liệu thực tế so với huấn luyện lăn một ngày.

3. KẾT LUẬN

Một thách thức lớn trong ngành công nghiệp hóa chất là phát triển được các quy trình sản xuất ổn định và có thể nâng cấp quy mô ngay từ đầu. Đây là điều bắt buộc để đảm bảo hóa chất được sản xuất một cách hiệu quả và đáng tin cậy. Hơn nữa, việc thực hiện các thay đổi đối với các quy trình đã được phê duyệt đòi

hỏi phải thực hiện thêm các nghiên cứu – một hoạt động kéo dài và tốn kém. Bộ đôi số có khả năng hỗ trợ phát triển các quy trình sản xuất tối ưu. Phân tích hai ca nghiên cứu trong bài báo này đã chỉ rõ những ưu điểm nổi bật khi kết hợp các mô hình FPM và DDM cũng như mô hình DDM dự đoán nhiều bước thời gian và huấn luyện lăn trong phát triển DT cho nhà máy sản xuất hóa chất. Khi được giao tiếp với dữ liệu quá trình (đo lường), các DT này có thể liên tục cải thiện và phát triển (ví dụ: thông qua việc thay đổi thông số qua DDM và/hoặc AI), từ đó đảm bảo tính tương thích của mô hình bền vững.❖

Ngày nhận bài: **03/4/2024**
Ngày phản biện: **08/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. "*What is a digital twin*?", https://unity.com/solutions/digital-twin-definition. Accessed 25 April 2024.

[2]. S. Boschert, R. Rosen (2016). "*Digital twin-the simulation aspect*", Mechatronic futures: Challenges and solutions for mechatronic systems and their designers, 59-74.

[3]. M. Eckhart, A. Ekelhart (2018). "*Towards security-aware virtual environments for digital twins*", Proceedings of the 4th ACM workshop on cyber-physical system security, 61-72.

[4]. R. He, G. Chen, C. Dong, S. Sun, X. Shen (2019). "*Data-driven digital twin technology for optimized control in process systems*", ISA transactions, 95: 221-234.

[5]. C.-H. Chou, H. Wu, J.-L. Kang, D.S.-H. Wong, Y. Yao, Y.-C. Chuang, S.-S. Jang, J. D.-Y. Ou (2019). "*Physically Consistent Soft-Sensor Development Using Sequence-to-Sequence Neural Networks*", IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(4): 2829-2838.

[6]. B. Brenner, V. Hummel (2017). "*Digital twin as enabler for an innovative digital shop floor management system in the ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen-University*", Procedia Manufacturing, 9: 198-205.

[7]. R. Magargle, L. Johnson, P. Mandloi, P. Davoudabadi, O. Kesarkar, S. Krishnaswamy, J. Batteh, A. Pitchaikani (2017), "*A simulation-based digital twin for model-driven health monitoring and predictive maintenance of an automotive braking system*", Proceedings of the 12th International Modelica Conference, Prague, Czech Republic,132: 35-46.

[8]. C. C. Pantelides, J. Renfro (2013). "*The online use of first-principles models in process operations: Review, current status and future needs*", Computers & Chemical engineering, 51: 136-148.

[9]. G. Casola, C. Siegmund, M. Mattern, H. Sugiyama (2019). "*Data mining algorithm for pre-processing biopharma drug product manufacturing records*", Computers & Chemical Engineering 124: 253-269.

[10]. M.R. Lopes, A. Costigliola, R. Pinto, S. Vieira, J.M.C. Sousa (2020). "*Pharmaceutical quality control laboratory digital twin – A novel governance model for resource planning and scheduling*", International Journal of Production Research, 58(21): 6553-6567.

[11]. A. Rasheed, O. San, T. Kvamsdal (2020). "*Digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective*", IEEE Access, 8: 21980-22012.

[12]. G. Aversano, M. Ferrarotti, A. Parente (2021). "*Digital twin of a combustion furnace operating in flameless conditions: reduced-order model development from CFD simulations*", Proceedings of the Combustion Institute, 38(4): 5373-5381.

[13]. D.I. Gerogiorgis, D. Castro-Rodriguez (2021). "*A digital twin for process optimisation in pharmaceutical manufacturing*", Computer Aided Chemical Engineering, 50: 253-258.

[14]. J.-L. Kang, S. Mirzaei, Y.-C. Lee, Y.-C. Chuang, M. Frias, C.-H. Chou, S.-J. Wang, D.S.H. Wong, S.-S. Jang (2021). "*Digital twin model development for chemical plants using multiple time-steps prediction data-driven model and rolling training*", Computer Aided Chemical Engineering, 50: 567-572.

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH MOMENT CỦA CƠ CẤU MỀM KHI PHUN ÉP VỚI CÁC THÀNH PHẦN VẬT LIỆU COMPOSITE KHÁC NHAU

MOMENT CHARACTERISTIC ANALYSIS OF SOFT MECHANISMS WITH DIFFERENT COMPOSITE MATERIAL CONSTITUENTS DURING INJECTION MOLDING

Trần Phước Trung*, Trần Thanh Danh, Tăng Thái Khang,
Phạm Công Thuận, Trần Minh Thế Uyên
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu đặc tính moment của cơ cấu mềm "Compliant" bằng vật liệu composite PA6 gia cố sợi thủy tinh theo tỷ lệ 0%, 5%, 15%, 20% và 30%. Thí nghiệm đo biến dạng đàn hồi và moment xoắn cho thấy: Mô hình có tính đàn hồi tốt, duy trì moment ổn định trong góc quay nhất định (40-120°); Moment duy trì dao động 0,8-1 N.m cho mọi tỷ lệ sợi thủy tinh; Moment tối đa giảm khi tỷ lệ sợi thủy tinh tăng, thể hiện độ cứng gia tăng và khả năng đàn hồi giảm. Mô phỏng moment bằng Matlab cho độ chính xác cao (tới 95%) so với kết quả thực tế. Kết quả cho thấy tỷ lệ sợi thủy tinh ảnh hưởng đến moment xoắn của cơ cấu mềm "Compliant". Mô hình mô phỏng moment bằng Matlab cho kết quả sát với thực tế, chứng tỏ độ tin cậy cao của thí nghiệm.

Từ khóa: *Cơ cấu mềm; Cơ cấu đẳng moment (CTM); Vật liệu nhựa ABS, PP, PA6, HDPE.*

ABSTRACT

This paper investigates the moment characteristics of "Compliant" soft mechanisms made of PA6 composite material reinforced with glass fibers at ratios of 0%, 5%, 15%, 20%, and 30%. Experiments measuring elastic deformation and torque showed that: The model has good elasticity, maintaining a stable moment within a certain rotation angle (40-120°); The maintained moment ranges from 0.8 to 1 N.m for all glass fiber ratios; The maximum moment decreases as the glass fiber ratio increases, indicating an increase in stiffness and a decrease in elasticity. Moment simulation using Matlab shows high accuracy (up to 95%) compared to experimental results. The results show that the glass fiber ratio affects the torque of the "Compliant" soft mechanism. The moment simulation model using Matlab provides results close to the experimental ones, demonstrating the high reliability of the experiment.

Keywords: *Flexible moment mechanisms; Constant-torque mechanisms (CTM); ABS, PP, PA6, HDPE material.*

1. GIỚI THIỆU

1.1. Tổng quan

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp nhựa, rác thải ra môi trường ngày càng nhiều, ảnh hưởng lớn đến môi trường mà chúng ta đang sinh sống. Việc nghiên cứu vật liệu composite phù hợp nhất với cơ cấu loại cơ cấu mềm có thể giúp tiết kiệm vật liệu nhựa, giảm thiểu lượng vật liệu cần thiết trong quá trình phun ép nhựa tạo ra sản phẩm mà vẫn đảm bảo cơ tính và độ bền của cơ cấu. Hiểu rõ về các thành phần vật liệu composite tác động lên đặc tính moment có thể giúp tối ưu hóa thiết kế cơ cấu từ đó tăng cường độ bền, độ cứng và hiệu suất chung của cơ cấu. Các kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực cơ khí, y tế,…

1.2. Cơ sở lý thuyết

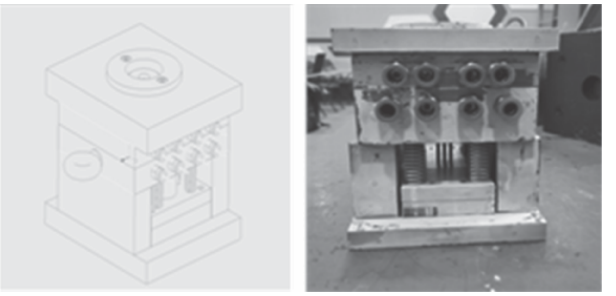
Đề tài sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của loại vật liệu composite PA6 0%GF và PA6 30%GF (gia cố thêm 30% sợi thủy tinh) được trộn lẫn theo tỷ lệ với nhau tạo nên 5 loại vật liệu được thí nghiệm là PA 0%, 5%, 15%, 20%, 30%GF.

Những ưu điểm của loại vật liệu này là độ bền cao, cách điện, chịu nhiệt tốt, khả năng kháng hóa chất tốt và có độ ổn định về kích thước.

Bảng 1. Bảng thông số kỹ thuật của nhựa PA6 0%GF và PA6 30%GF

Tiêu chuẩn	PP đo lường	Đơn vị	ECP PA6 R0GF	EPC PA6 R30GF
Thành phần sợi thủy tinh	TGA	%	0	30
Mật độ	D792	g/cm^3	1.21	1.35
Độ bền kéo tại năng suất	D638	MPA	70	125-130
Độ giãn dài khi đứt	D638	%	> 5	3-5
Mô đun uốn	D790	MPA	3426	5218
Sức mạnh tác động của Izod	D256	J/m	52	70
Nhiệt độ lệch khi tải ở 1,8 MPa	D648	°C	165	190

Mẫu được phun ép thông qua bộ khuôn 2 tấm đã được thiết kế trước đó.

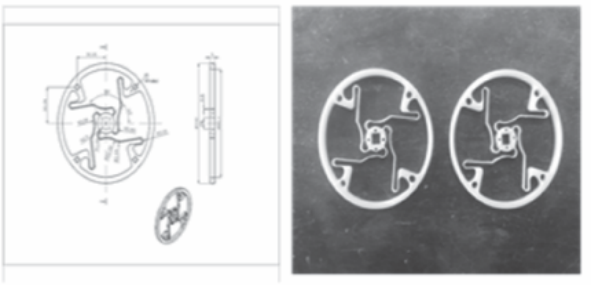


Hình 1. Bộ khuôn được sử dụng để phun ép

Bảng 2. Các thông số phun ép

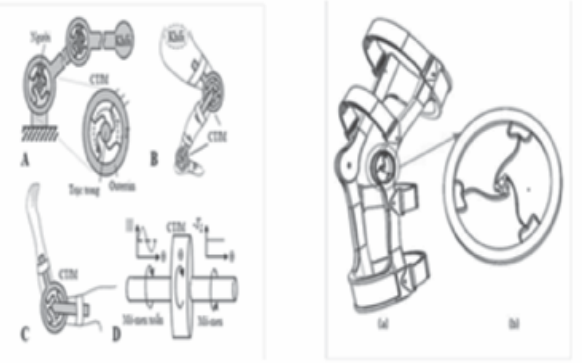
TH	Filling time (s)	Filling press (bar)	Packing time (s)	Packing press (bar)	Cooling time (s)	Melt temperature (độ C)
0%	2	80	1	75	25	250
5%	2	80	1	75	25	250
15%	2	85	1	80	25	260
20%	2	90	1	85	25	260
30%	2	95	1	87	25	280

Mô tả thông số hình học của mô hình cơ cấu mềm dạng "Compliant". Cơ cấu có hình dáng là hình tròn với đường kính đường bao là Ø100x5mm và được gia công bằng phương pháp phun ép nhựa với vật liệu nhựa PA6 và PA6 30%GF được trộn với nhau với tỷ lệ trộn như đã nêu ở trên. Mô hình này có tổng cộng 4 dây có bề dày 0,9mm được nối từ hình trụ tròn ở tâm với đường bao hình tròn ở bên ngoài. Bốn dây này có thể giãn dài ra tùy theo góc xoắn.



Hình 2. Mô hình chi tiết Compliant và hình ảnh thực tế của cơ cấu

Không giống như lò xo xoắn, có mô-men xoắn tăng khi vòng quay tăng, cơ chế khớp mô-men xoắn không đổi (Compliant) cung cấp mô-men xoắn gần như không đổi trong một khoảng thời gian quay cụ thể. Thay vì sử dụng điều khiển cảm biến, cơ cấu Compliant thụ động duy trì một mô-men xoắn không đổi. Các ứng dụng tiềm năng bao gồm cân bằng động và tĩnh của máy móc, thiết bị phục hồi chức năng khớp của con người và thiết bị hỗ trợ di chuyển của con người.



Hình 3. Ứng dụng của cơ cấu mềm Compliant

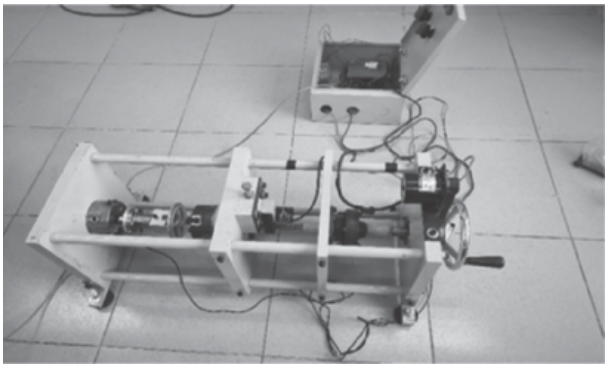
2. MÔ HÌNH THỬ XOẮN VÀ THIẾT KẾ BỘ ĐỒ GÁ ĐỂ ĐO MOMENT

2.1. Mô hình máy thử xoắn

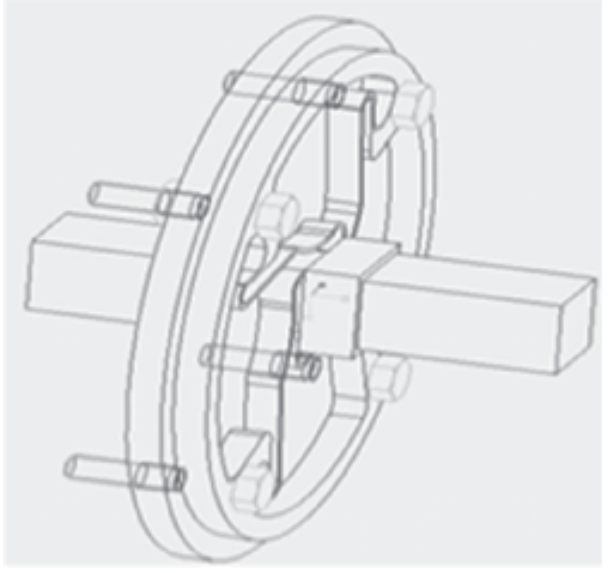
*** Thông số máy:**

- Công suất máy: 40W;
- Kích thước máy: 985 x 400 x 433;
- Khối lượng máy: 108kg;
- Nguồn điện: 220V AC;
- Phạm vi đo: 0-300 N.m;
- Độ chính xác: ±0,1 N.m, ±0,001°;
- Độ phân giải: 0,1 N.m, 0,001°;
- Tốc độ quay: 45°/p.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



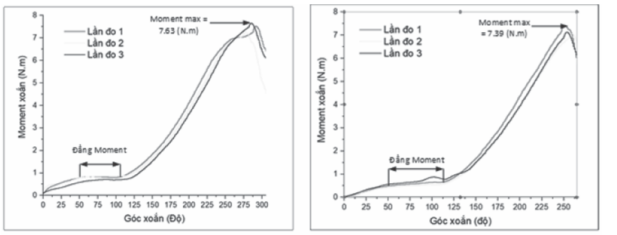
Hình 4. Mô hình máy thử xoắn hoàn chỉnh



Hình 5. Đồ gá sau khi lắp ghép hoàn chỉnh với chi tiết

2.2. Thiết kế đồ gá

Để tiến hành đo moment xoắn cần có bộ đồ gá để cố định chi tiết. Bộ đồ gá được thiết kế với các thông số sau. Phần đồ gá quay sẽ được lắp đặt vào phần mâm cặp quay. Phần đồ gá cố định sẽ được lắp đặt vào mâm cặp cố định. Khi vận hành máy thử xoắn, mâm cặp quay sẽ quay dẫn tới đồ gá phần quay sẽ quay mà chi tiết thì được gá cố định vào phần gá cố định thông qua bu-lông đai ốc, từ đó sẽ làm bốn dây của chi tiết giãn ra tạo ra moment xoắn.



Hình 6. Kết quả đạt được sau khi thí nghiệm

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Qua quá trình làm thực nghiệm đo biến dạng đàn hồi của mô hình cơ cấu mềm dạng "Compliant" với những vật liệu nhựa PA6 được gia cố thêm sợi thủy tinh tương ứng với những trường hợp: 0%, 5%, 15%, 20% và 30%, kết quả đo moment của những trường hợp được trình bày ở những bảng sau, với Input là giá trị góc độ quay trung bình cộng của 3 giá trị đầu vào, 3 giá trị Output 1, 2 và 3 là giá trị moment xoắn đo được của 3 mẫu của từng trường hợp và giá trị Avg. Out là giá trị trung bình Output của 3 mẫu được đo.

Qua quá trình thực nghiệm và kết quả thực nghiệm thu được từ những bảng thông số và biểu đồ, ta thấy rằng mô hình cơ cấu mềm Compliant có tính chất đàn hồi tốt, có thể duy trì một moment không đổi trong một góc độ quay nhất định. Từ các bảng thông số trên, các tác giả bài báo rút ra những kết luận như sau:

Mô hình cơ cấu mềm Compliant có thể duy trì một đẳng moment khoảng 0,8 tới 1 (N.m) trong góc độ quay từ 40 độ tới 120 độ trong tất cả 5 trường hợp được thí nghiệm.

➔ Có thể duy trì một đẳng moment mà không phụ thuộc vào tỷ lệ phần trăm sợi thủy tinh được gia cố thêm vào vật liệu nhựa PA6.

Moment tối đa của trường hợp PA6 30%GF là khoảng từ 0,8 tới 1 (N.m), của ☞

trường hợp PA6 20%GF là khoảng từ 4,8 tới 5,1 (N.m), của trường hợp PA6 15%GF là khoảng từ 5,9 tới 6,1 (N.m), của trường hợp PA6 5%GF là khoảng từ 6,9 tới 7,1 (N.m), của trường hợp PA6 0%GF là từ 7,1 tới 7,3 (N.m).

➔ Moment xoắn lớn nhất của từng trường hợp sẽ giảm dần khi tăng tỷ lệ phần trăm sợi thủy tinh vào vật liệu PA6. Điều này cho thấy rằng phần trăm sợi thủy tinh càng cao thì sẽ làm gia tăng độ cứng và làm giảm khả năng đàn hồi của cơ cấu mềm Compliant.

Kết quả mô phỏng dự đoán moment ANN bằng Matlab cho thấy kết quả thực tế sát với kết quả mô phỏng lên tới 95%.

➔Có thể thấy rằng kết quả của bài thí nghiệm này có độ đáng tin cậy rất cao.

4. KẾT LUẬN

Thông qua quá trình thực nghiệm và phân tích kết quả thực nghiệm, việc tăng tỷ lệ sợi thủy tinh làm ảnh hưởng đáng kể đến khả năng biến dạng đàn hồi, độ dẻo và độ cứng của mô hình cơ cấu mềm "Compliant". Tùy thuộc vào yêu cầu khả năng ứng dụng của mô hình cơ cấu mềm mà ta sẽ sử dụng loại vật liệu phù hợp. Nếu cần nhiều về khả năng độ đàn hồi tốt cũng như độ dẻo cao của cơ cấu thì sẽ gia cố với tỷ lệ phần trăm sợi thủy tinh thấp hoặc không vào vật liệu nhựa. Nếu có nhiều yêu cầu về độ cứng cao thì ta sẽ xem xét gia cố thêm tỷ lệ phần trăm sợi thủy tinh phù hợp, từ đó giúp tiết kiệm vật liệu, tăng hiệu suất, tăng hiệu quả kinh tế.

(*) Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh và các quý thầy cô đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **25/02/2024**
Ngày phản biện: **15/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Piyu Wang, Sijie Yang and Qingsong Xu (2018). "*Design and optimization of a new compliant rotary positioning stage with constant output torque*", Vol. 19, no. 12, pp. 1843-1850.

[2]. Chia-Wen Hou, Chao-Chieh Lan (2012). "*Functional joint mechanisms with constant-torque outputs*", pp. 166-181.

[3]. Phan Thanh Vu, Pham Huy Tuan (2020). "*Design and Analysis of a Compliant Constant-Torque Mechanism for Rehabilitation Devices*", chapter 44.

[4]. TS. Phạm Sơn Minh, ThS. Trần Minh Thế Uyên (2014); "*Giáo trình Thiết kế và chế tạo khuôn phun ép nhựa*", NXB. Đại học Quốc gia, TP. Hồ Chí Minh, 286 page.

[5]. Nguyễn Phương Nam, Lê Hồng Phúc, Phạm Thế Sơn (2023); "*Chế tạo máy thử độ bền cho chi tiết nhựa*", Đồ án tốt nghiệp, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, 107 page.

[6]. What is the TIA Portal V17 for https://www.siemens.com/vn/vi.html.

PHÂN TÍCH BIẾN DẠNG KÉO VẬT LIỆU NHỰA HIGH-DENSITY POLYETHYLENE DẠNG ỐNG ĐƯỢC CHẾ TẠO BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỔI VÀ ĐÙN

ANALYSIS OF THE DEFORMATION OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE PLASTIC MATERIAL IN PIPE FORM MANUFACTURED BY BLOWING AND EXTRUSION METHOD

Bùi Chấn Thạnh, Dương Lê Hùng
Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

TÓM TẮT

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là nghiên cứu ứng xử kéo của nhựa high-density polyethylene (HDPE) ở dạng nguyên chất được chế tạo theo hai phương pháp thổi và đùn. HDPE là loại nhựa được sử dụng phổ biến trong nhiều ngành công nghiệp. Các mẫu thử nghiệm độ bền kéo đã được thực hiện trên máy kéo nhựa chuyên dùng (hình 4) và sử dụng mẫu kéo dạng ống trụ tròn có thông số kích thước (hình 3). Một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến ứng xử kéo, chẳng hạn như độ dày, phương pháp sản xuất, nhiệt độ và tốc độ biến dạng. Nhiệt độ thử nghiệm là nhiệt độ phòng (chọn ở nhiệt độ 23°C) để nghiên cứu ảnh hưởng cơ tính của mẫu nhựa HDPE được tạo ra bằng hai quy trình khác nhau. Độ bền kéo đã đo được các đặc tính như mô-đun đàn hồi, cường độ chảy và độ bền kéo của sản phẩm. Đặc tính kéo của mẫu chế tạo bằng phương pháp đùn giảm cơ tính đáng kể so với phương pháp thổi, khi lực kéo tăng thì độ biến dạng dẻo của mẫu kéo cho kết quả khác nhau rất lớn trên hai phương pháp chế tạo. Điều này đã được phân tích và thảo luận về ảnh hưởng của chúng đến tính chất kéo được trình bày trong bài báo này. Những mối quan hệ như vậy có thể được sử dụng phân tích biến dạng kéo của HDPE theo hai phương pháp thổi và đùn để ứng dụng lựa chọn vật liệu phù hợp khi sử dụng.

Từ khóa: *Tính chất cơ học HDPE; Thử kéo nhựa HDPE; Đường cong kéo-nén.*

ABSTRACT

The main objective of this study is to investigate the tensile behavior of high-density polyethylene (HDPE) in its pure form, manufactured using two methods: extrusion and blow molding. HDPE is a commonly used plastic in various industries. Tensile strength tests were conducted using a specialized plastic tensile testing machine (Figure 4), with cylindrical tube-shaped samples (Figure 3). Several factors can influence the tensile behavior, such as thickness, production method, temperature, and deformation rate. The test temperature was room temperature (specifically 23°C) to study the mechanical properties of HDPE samples produced by the two different processes. Tensile strength measurements included properties such as elastic modulus, yield strength, and ultimate tensile strength. The tensile properties of samples manufactured by the extrusion method exhibited significantly different mechanical behavior compared to the blow molding method. This has been analyzed and discussed in terms of their impact on tensile characteristics, as presented in this research article. Such relationships can be useful for analyzing the tensile deformation of HDPE using both extrusion and blow molding methods for material selection purposes.

Keywords: *Mechanical properties; Tensile test HDPE; Stress-strain curve.*

1. GIỚI THIỆU

Ứng dụng của vật liệu polyme và vật liệu tổng hợp của polyme đang tăng lên nhanh chóng ở các nước khác nhau. Trong các ngành công nghiệp, chẳng hạn như ngành công nghiệp ô tô, do những ưu điểm của chúng như trọng lượng nhẹ hơn và khả năng chống chịu với môi trường ăn mòn so với kim loại. Polyethylene được sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới và chiếm tỉ lệ lớn lượng polyme đã sử dụng. So với các loại polyme khác, polyetylen có những đặc tính vượt trội chẳng hạn như độ dẻo dai, khả năng chống mài mòn, chống va đập, độ hấp thụ nước thấp (gần bằng 0), chi phí thấp, và khả năng tái chế. Có ba loại polyetylen chính: mật độ thấp, mật độ trung bình và mật độ cao polyetylen (LDPE, MDPE và HDPE), tùy thuộc vào mật độ phân tử và độ kết tinh của cấu trúc polyetylen. Polyethylene mật độ cao (HDPE) có độ cứng, độ bền cao và độ lão hóa tốt hơn. Nhu cầu toàn cầu về nhựa Polyethylene mật độ cao (HDPE) ngày càng tăng từ 11,9 triệu tấn năm 1990 lên 43,9 triệu tấn năm 2017 với mức tăng trưởng hàng năm là 3,3% [1].

Cấu tạo phân tử và các khía cạnh vi cấu trúc như mức độ kết tinh, kích thước tinh thể, độ dày tinh thể và hướng tinh thể có thể ảnh hưởng đến tính chất vật lý và cơ học của polyetylen. Nó là một loại polyme kết tinh nhanh ở nhiệt độ cao, nơi nhiệt sự kết tinh được kích hoạt trở nên đáng kể [2]. Lượng kết tinh ảnh hưởng đến tính chất cơ học của các polyme bán tinh thể như HDPE. Tính chất cơ học và hình thái những thay đổi trong HDPE cũng phụ thuộc đáng kể vào hướng của các biến dạng đối với sự sắp xếp phân tử và tinh thể [3]. Ứng suất chảy và độ dày mẫu tỷ lệ thuận với độ kết tinh và tăng tuyến tính với chỉ số kết tinh [4].

Các kỹ thuật xử lý phổ biến nhất để sản xuất HDPE là ép đùn, ép phun, đúc thổi và đúc nén. Kỹ thuật sản xuất có thể ảnh hưởng đến các ứng xử cơ học của HDPE, chẳng hạn như mô-đun đàn hồi và độ bền kéo, có thể là do sự khác nhau hình thái và cấu trúc phân tử trong sản phẩm cuối cùng [5]. Nó đã được chứng minh rằng tối ưu hóa các thông số sản xuất trong quá trình ép phun giúp cải thiện đáng kể đặc tính kéo [6].

Kiểm tra độ bền kéo là thử nghiệm cơ học phổ biến nhất được thực hiện trên các vật liệu khác nhau do quá trình thực hiện đơn giản và chi phí thấp và do đặc tính kéo vẫn được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Ngoài ra, các đặc tính kéo có thể được sử dụng trong các mô hình bán thực nghiệm để phân tích biến dạng và độ mỏi. Độ cứng, cường độ năng suất, độ bền kéo cuối cùng và độ dẻo dai là các đặc tính kéo cơ bản có thể được đặc trưng bằng các thử nghiệm kéo nén.

Hầu hết các loại nhựa nhiệt dẻo (nóng chảy và rắn) thể hiện đặc tính đàn hồi nhớt và phi Newton. Ứng xử này không theo quy luật Newton (tức là ứng suất và biến dạng không liên quan tuyến tính đối với hầu hết các phần của đường cong ứng suất-biến dạng). Tính chất đàn hồi nhớt có nghĩa là khi có một lực bên ngoài tác dụng lên polyme nhiệt dẻo, cả biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo đều xảy ra. Ứng xử cơ học và biến dạng có liên quan chặt chẽ đến cách các chuỗi polyme chuyển động tương đối với nhau dưới tác dụng của tải trọng (ứng suất). Thử nghiệm cơ bản nhất để xác định tính chất cơ học của vật liệu là thử độ bền kéo. Trong thử nghiệm độ bền kéo, vật liệu được kéo căng đồng đều. Vì lực tác dụng lên một diện tích mặt cắt ngang nên ứng suất được định nghĩa là lực trên một đơn vị diện tích.

$$\sigma = {}^{F}/_{A}$$

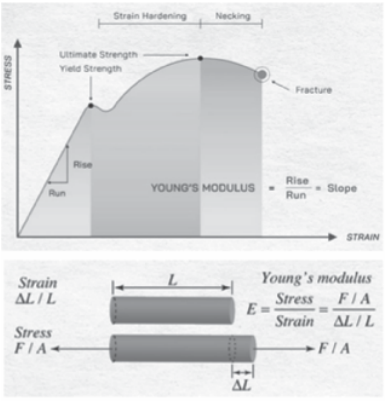
Trong đó: - σ là ứng suất;
- F là lực tác dụng;
- A là diện tích mặt cắt ngang.

Biến dạng được định nghĩa là phần trăm thay đổi về chiều dài. Tổng độ dịch chuyển là sự thay đổi chiều dài, do đó biến dạng là sự thay đổi chiều dài chia cho chiều dài ban đầu.

$$\varepsilon = {}^{\Delta L}/_{L}$$

Trong đó: - Ɛ là biến dạng;
- ΔL là sự thay đổi chiều dài;
- L là chiều dài.

Mối quan hệ ứng suất-biến dạng (hình 1) bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi nhiệt độ hoặc thời gian, và nếu hiện tượng biến dạng kéo lặp lại nhiều lần (mỏi). Đặc tính kéo được đánh giá bằng cách đặt một mẫu thử (hình 3) vào giữa hai bộ kẹp (hình 4) của thiết bị kéo di chuyển ra xa nhau với tốc độ không đổi bằng lực thủy lực hoặc lực cơ học cho đến khi mẫu bị đứt. Trong trường hợp này, lực tác dụng (ứng suất) cũng như độ giãn dài (biến dạng) xảy ra trong mẫu được đo và do diện tích mặt cắt ngang của mẫu polymer được coi là không đổi nên có thể vẽ đường cong ứng suất-biến dạng (hình 1). Đường cong ứng suất-biến dạng có thể cung cấp thông tin về độ bền, độ dẻo dai, độ cứng, độ dẻo của vật liệu, v.v.



Hình 1. Biểu đồ kéo-nén

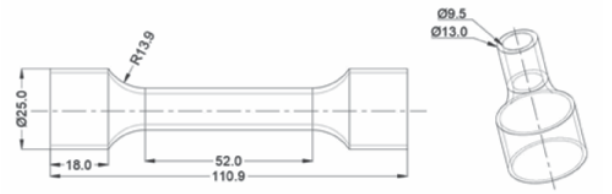
Độ bền kéo tối ưu là ứng suất kỹ thuật cao nhất mà vật liệu có thể chịu được. Trong đường cong ứng suất-biến dạng kỹ thuật, đây là điểm tối đa. Nó đánh dấu điểm mà sự thắt cổ vượt qua sự cứng lại của sức căng. Biểu đồ ứng suất-biến dạng của vật liệu polyme phụ thuộc vào đặc tính phân tử và cấu trúc vi mô của polyme. Các polyme có thể có nhiều biểu đồ ứng suất-biến dạng khác nhau, đặc biệt là do các tương tác polyme nhất định có thể thay đổi ở các mức ứng suất khác nhau. Hình 2, thể hiện các loại mối quan hệ ứng suất/biến dạng thu được đối với các nhóm polyme khác nhau.

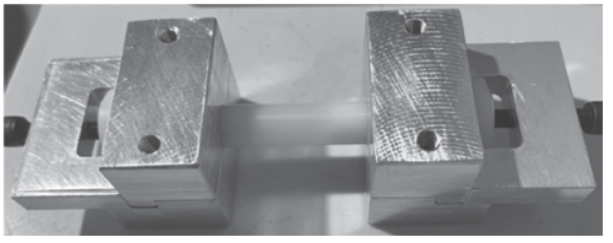
Hình 2. Đồ thị ứng suất-biến dạng các loại polyme

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

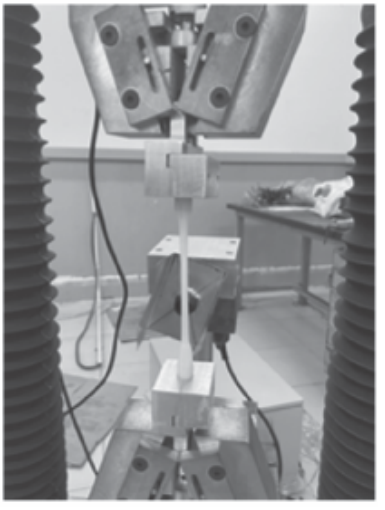
HDPE PE 4710 một loại vật liệu nhựa nhiệt dẻo có mật độ cao với tỷ lệ sức bền trên mật độ lớn (sức bền/mật độ ~0,95g/cm^3), mật độ HDPE có thể nằm trong khoảng 0,93-0,97 g/cm^3 hoặc 970 kg/m^3. HDPE được sử dụng khá phổ biến do có nhiều ưu điểm vượt trội như không bị ăn mòn hay rò rỉ khi dẫn truyền các hóa chất mạnh. Các mối hàn rất bền chặt, không bị nứt vỡ khi di chuyển hay lắp đặt nên được coi là vật liệu lý tưởng cho các ngành công nghiệp. Độ bền cao và an toàn khi sử dụng, thời gian sử dụng dài hơn các loại nhựa thông thường. Các mối hàn của nhựa HDPE bền và kín, chịu được tác động cao và khả năng chống vỡ nứt tốt. ☞

Các mẫu HDPE nguyên chất có mô-đun Young's (Min 0.5 GPa, Max 1.1 GPa), hệ số Poisson's là 0.45 được gia công từ khuôn thổi và ép đùn như hình trụ tròn có kích thước phi 25 (mm), dài 110 (mm) và độ dày 1,75 (mm). Các mẫu thử chế tạo bằng phương pháp thổi được định hình bằng khuôn nhôm và áp suất khí để tạo ra mẫu theo hình dáng và kích thước như hình 2. Cuối cùng, các mẫu thử chế tạo bằng phương pháp đùn thành láp phi 25 (mm), sau đó gia công tiện CNC đạt hình dáng và kích thước như mẫu chế tạo bằng phương pháp thổi như hình minh họa.





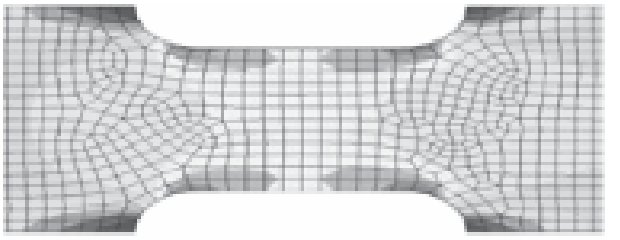
Hình 3. Thông số kích thước mẫu kéo nhựa HDPE



Hình 4. Máy kéo nhựa HDPE

Các thử nghiệm kéo được tiến hành ở hai mẫu giống nhau về thông số hình đối với HDPE nguyên sinh thổi và HDPE nguyên sinh đùn các mẫu thử để nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ biến dạng lên đặc tính kéo.

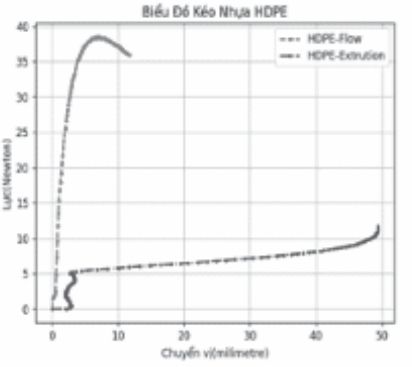
Để phân tích biến dạng kéo mẫu HDPE phù hợp với cơ sở lý thuyết được thực hiện kiểm nghiệm, dự đoán kết quả bằng phần mềm Marc Mentat 2020 thu được kết quả mô phỏng như hình 5.



Hình 5. Mô phỏng mẫu bằng MSC Mentat

Mẫu HDPE nguyên chất được thực hiện với kỹ thuật xử lý đúc thổi và đùn đã được thử nghiệm kéo trên máy kéo như hình 4 và cho kết quả được biểu diễn trên đồ thị mối quan hệ lực và chuyển vị như hình 6.

Theo lý thuyết độ bền kéo lớn nhất của polyme cho thấy hai phương pháp chế tạo mẫu cho kết quả khác nhau rất lớn ở khả năng chịu lực và độ biến dạng của vật liệu.



Hình 6. Đồ thị kết quả kéo nhựa HDPE

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. KẾT LUẬN

Tính chất kéo là một trong những tính chất cơ học quan trọng nhất của polyme. Nghiên cứu các tính chất cơ học là một trong những phần quan trọng nhất của quá trình sản xuất các sản phẩm polymer và trước các tính chất khác như tính chất nhiệt, quang học và lưu biến, nó cung cấp cho nhà sản xuất khả năng so sánh vật liệu và kiểm soát chất lượng của chúng để cải thiện các tính chất của sản phẩm được sản xuất. Các thử nghiệm độ bền kéo được sử dụng để xác định tính chất cơ học của vật liệu polyme.

Những đặc điểm này cho thấy hoạt động của polyme dưới sức căng. Thử nghiệm độ bền kéo là một trong những thử nghiệm phá hủy mà mẫu thử phải chịu lực kéo cho đến điểm đứt, đồng thời sự tăng chiều dài được ghi nhận đồng thời với lực tác dụng. Kết quả của thử nghiệm này được sử dụng để kiểm soát chất lượng và dự đoán mức độ vật liệu sẽ phản ứng dưới tác dụng của lực. Các kết quả ở dạng đường cong ứng suất-biến dạng, đặc trưng cho hoạt động của vật liệu dưới sức căng.❖

Ngày nhận bài: **16/02/2024**
Ngày phản biện: **15/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Tavazzi, L. "*The Excellence of the Plastics Supply Chain in Relaunching Manufacturing in Italy and Europe*". Available online: https://www.ambrosetti.eu/en/research-and-presentations/plastic-supply-chain/ (accessed on 18 August 2020).

[2]. Ulcer, Y.; Cakmak, M.;Miao, J.; Hsiung, C.M. "*Structural gradients developed in injection-molded syndiotactic polystyrene (sPS)*". J. Appl. Polym. Sci. 1996, 60, 669-691 [CrossRef].

[3]. Zhou, H.; Wilkes, G.L. "*Orientation-dependent mechanical properties and deformation morphologies for uniaxially melt-extruded high-density polyethylene films having an initial stacked lamellar texture*". J. Mater. Sci. 1998, 33, 287-303 [CrossRef].

[4]. Addiego, F.; Dahoun, A.; G'Sell, C.; Hiver, J.-M.; Godard, O. "*Effect of microstructure on crazing onset in polyethylene under tension*". Polym. Eng. Sci. 2009, 49, 1198-1205 [CrossRef].

[5]. Dusunceli, N.; Aydemir, B. "*The effects of loading history and manufacturing methods on the mechanical behavior of high-density polyethylene*". J. Elastomers Plast. 2011, 43, 451-468 [CrossRef].

[6]. Kalay, G.; Sousa, R.A.; Reis, R.L.; Cunha, A.M.; Bevis, M.J. "*The enhancement of the mechanical properties of a high-density polyethylene*". J. Appl. Polym. Sci. 1999, 73, 2473-2483 [CrossRef].

[7]. https://insights.globalspec.com/article/7810/how-to-perform-tensile-testing-on-polymers

[8]. https://msestudent.com/stress-strain-and-the-stress-strain-curve/

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN BIÊN BÀI TOÁN CFD MÔ PHỎNG SỰ HÌNH THÀNH SIÊU KHOANG Ở ĐẠN BẮN DƯỚI NƯỚC

STUDYING THE INFLUENCE OF SOME FACTORS ON THE SUPERCAVITY FORMATION IN UNDERWATER PROJECTILES USING CFD

TS. **Lê Hữu Ban**
Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo phân tích, trình bày các bước chính xác định một số điều kiện biên cho bài toán CFD mô phỏng sự hình thành siêu khoang của đạn bắn dưới nước, bao gồm: áp suất động, áp suất hơi bão hòa và độ nhớt. Một mô hình đạn bắn dưới nước được tiến hành mô phỏng CFD áp dụng phương pháp này, kết quả thể hiện hình ảnh siêu khoang xuất hiện ở mũi đạn, tương ứng với các giá trị khác nhau của áp suất hơi bão hòa.

Từ khóa: *Đạn dưới nước; Siêu khoang; CFD; Áp suất hơi bão hòa.*

ABSTRACT

The article analyzes and presents the main steps to determine some boundary conditions for the CFD problem simulating the formation of supercavities of underwater projectiles, including: dynamic pressure, saturated vapor pressure, and viscosity. An underwater projectile model was conducted for CFD simulation using this method. The results showed a supercavity image appearing at the nose of the projectile, corresponding to different values of saturated vapor pressure.

Keywords: *Underwater projectiles; Supercavity; CFD; Saturation vapor pressure.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những vấn đề cốt lõi khi thiết kế đạn bắn dưới nước là xác định được các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành siêu khoang ở loại đạn này. Có nhiều phương pháp lý thuyết để giải quyết vấn đề này, tuy nhiên chúng khá phức tạp và cho độ chính xác không cao. Một phương pháp thường được sử dụng là mô phỏng số dòng chảy – phương pháp CFD, cho kết quả trực quan và độ chính xác cao.

Để có được kết quả với độ chính xác cao từ mô phỏng CFD, điều kiện biên là một trong những yếu tố tiên quyết. Một số bài báo đã sử dụng mô phỏng CFD để khảo sát sự hình thành siêu khoang ở đạn bắn dưới nước, tuy nhiên mô hình điều kiện biên và dòng chảy được trình bày chưa tường minh, hoặc chỉ mô phỏng cho một trường hợp điều kiện biên cụ thể [1]. Để có cơ sở khoa học cho việc xác định điều kiện biên, bài báo phân tích các cơ sở vật lý của dòng chảy, từ đó đưa ra quy trình xác

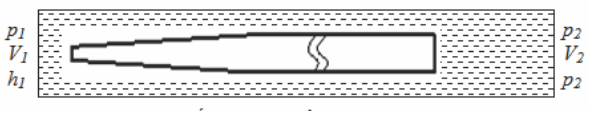
định các điều kiện biên và áp dụng mô phỏng CFD cho một mô hình đạn bắn dưới nước cụ thể.

2. XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN BIÊN

Khi đạn chuyển động trong dòng chất lỏng, dòng chảy bao quanh thân đạn có thể coi như một ống dòng. Theo [4], một số giá trị điều kiện biên cần xác định bao gồm: áp suất chênh lệch giữa đầu vào và đầu ra của ống dòng; áp suất hơi bão hòa; độ nhớt của chất lỏng.

2.1. Xác định độ chênh áp suất dòng chảy

Xét ống dòng bao quanh một viên đạn bắn dưới nước, được mô tả như Hình 1.



Hình 1. Ống dòng chất lỏng bao quanh đạn

Áp dụng định luật Bernoulli cho ống dòng bao quanh đạn, khi đó:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g h_2. \qquad (1)$$

Trong đó: p_1, V_1, h_1 lần lượt là áp suất, vận tốc dòng chảy, độ sâu dòng chảy tại tiết diện vào của ống dòng; p_2, V_2, h_2 lần lượt là áp suất, vận tốc dòng chảy, độ sâu dòng chảy tại tiết diện ra của ống dòng.

Hai áp suất p_1, p_2 tại tiết diện vào và tiết diện ra của ống dòng lần lượt là các áp suất P_{Inlet}, P_{Outlet} được thiết lập trong điều kiện biên.

Xét chuyển động tương đối của viên đạn so với môi trường nước; viên đạn chuyển động song song với mặt nước, khi đó $V_2 = 0$; $h_1 = h_2$. Độ chênh áp suất giữa tiết diện vào và tiết diện ra của ống dòng là điều kiện biên là:

$$\Delta_P = P_{Inlet} - P_{Outlet} = P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho V_1^2. \qquad (2)$$

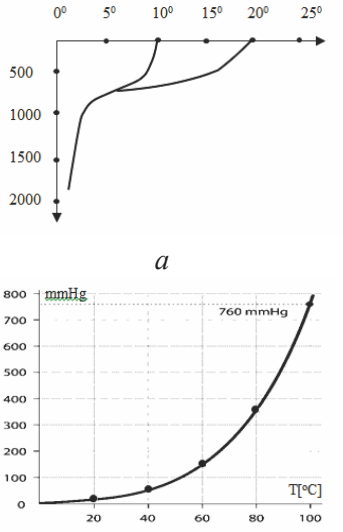
Từ phương trình (2), chọn bộ thông số điều kiện biên tại tiết diện của ống dòng như sau:

Inlet: Pressure-inlet; Reference Frame: Relative to Adjacent Cell Zone; Initial Gauge Pressure: 0; Gauge Total Pressure = P_{Inlet} = $0,5\rho V_1^2$ [Pa].

Outlet: Pressure- Outlet; Gauge Pressure: 0.

2.2. Xác định áp suất hơi bão hòa

Theo [2], sự thay đổi nhiệt độ theo độ sâu của nước được biểu diễn như trong Hình 2-a. Theo [3], sự phụ thuộc của áp suất hơi bão hòa vào nhiệt độ được thể hiện như trong Hình 2-b.



Hình 2. Sự thay đổi của nhiệt độ dòng chảy (a) và áp suất hơi bão hòa (b)

Hiện tượng siêu khoang hình thành khi nước bị chuyển hóa thành hơi nước, tạo thành bong bóng hơi nước bao quanh thân đạn, làm giảm lực cản của nước, giúp viên đạn chuyển động xa hơn trong môi trường nước. Nước chuyển hóa thành hơi nước khi áp suất hơi nước ở nhiệt độ đang xét nhỏ hơn một giá trị giới hạn – áp suất hơi bão hòa. Áp suất hơi bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ. Mặt khác, đối với đạn bắn dưới nước, nhiệt độ lại thay đổi theo độ sâu, vì vậy áp suất hơi bão hòa cũng thay đổi theo độ sâu của đạn. Những nguyên nhân trên cho thấy ở các độ sâu khác nhau thì tốc độ hình thành siêu khoang cũng khác nhau.

Quá trình xác định áp suất hơi bão hòa được thực hiện qua hai bước chính như sau:

- Từ độ sâu của đạn, xác định nhiệt độ chất lỏng tại độ sâu đang xét, sử dụng đồ thị Hình 2-a;

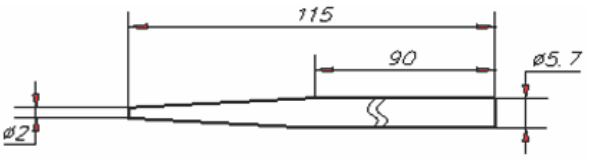
- Xác định áp suất hơi bão hòa của chất lỏng tương ứng với nhiệt độ, sử dụng đồ thị Hình 2-b.

2.3. Xác định độ nhớt chất lỏng

Môi trường tác chiến của đạn bắn dưới nước chủ yếu là biển (nước mặn) và sông ngòi (nước ngọt). Độ nhớt của các môi trường này thường ít thay đổi theo nhiệt độ, có thể coi là không đổi và bằng độ nhớt của nước, μ = 0.001003 [kg/m/s].

3. MÔ PHỎNG SỐ SỰ HÌNH THÀNH SIÊU KHOANG

Bài báo giải mô hình CFD với mô hình đạn bắn dưới nước được thể hiện trong Hình 3. Môi trường nước ngọt, độ sâu 5 m; vận tốc đạn 30m/s; nhiệt độ bề mặt nước 20°C.



Hình 3. Mô hình 2D đạn bắn dưới nước

3.1. Xác định giá trị điều kiện biên

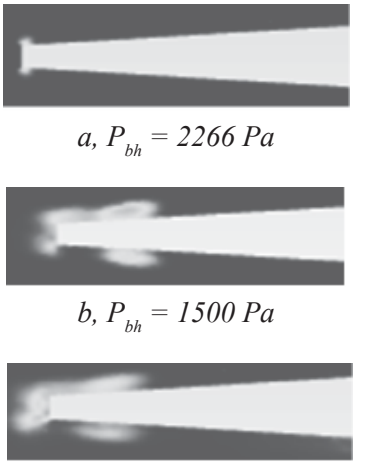
Theo mục 2.2, giá trị của một số thông số điều kiện biên cần xác định là:

$t_{nước} \approx 20°C$ $p_{bh} \Rightarrow = 17$ mmHg = $101325 \cdot 17 / 760 = 2266$ [Pa];

$P_{Inlet} = 0,5\rho V_1^2 = 0,5 \cdot 998.2 \cdot 30^2 = 449190$ [Pa].

3.2. Ảnh hưởng của áp suất hơi bão hòa đến sự hình thành siêu khoang

Các giá trị áp suất hơi bão hòa được khảo sát là P_{bh} = 2266 Pa; P_{bh} = 1500 Pa; P_{bh} = 1000 Pa. Sự hình thành siêu khoang quanh đạn được thể hiện ở Hình 4.



a, P_{bh} = 2266 Pa

b, P_{bh} = 1500 Pa

c, P_{bh} = 1000 Pa

Hình 4. Hiện tượng siêu khoang hình thành ở mũi đạn ứng với các giá trị khác nhau của áp suất hơi bão hòa

*** Thảo luận:**

Hình 4 thể hiện sự hình thành siêu khoang tại mũi đạn ứng với các giá trị khác

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

nhau của áp suất hơi bão hòa. Khi áp suất hơi bão hòa giảm, hiện tượng siêu khoang hình thành dễ dàng hơn. Từ Hình 3 ta thấy rằng, ở độ sâu tăng thì áp suất hơi bão hòa tăng, do đó sự hình thành siêu khoang khó hình thành hơn. Sự hình thành siêu khoang thường xuất hiện tại các vị trí có sự biến đổi đột ngột về áp suất dòng chảy, chẳng hạn mũi, vai và đáy đạn. Áp suất thay đổi đột ngột tạo thành các vùng áp suất thấp, áp suất thấp hơn áp suất hơi bão hòa sẽ xảy ra sự chuyển từ pha lỏng sang pha hơi, phần hơi nước bao quanh mũi đạn chính là siêu khoang.

4. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích và trình bày các bước chính xác định một số thông số điều kiện biên quan trọng trong bài toán CFD mô phỏng sự hình thành siêu khoang ở đạn bắn dưới nước, một số kết quả nổi bật như sau:

• Điều kiện biên P_{Inlet} chỉ phụ thuộc vào khối lượng riêng và tốc độ chuyển động của đạn;

• Sự hình thành siêu khoang phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất hơi bão hòa của chất lỏng;

• Siêu khoang dễ hình thành ở những bề mặt có bước nhảy về vận tốc dòng chảy và độ dốc nhỏ.

Những kết quả nghiên cứu của bài báo bổ sung cơ sở cho quá trình thiết kế đạn dưới nước sử dụng phương pháp mô phỏng số CFD.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2024**
Ngày phản biện: **17/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyen Hai Minh, Dao Van Doan, Nguyen Huu Thang, "*Interior ballistics modelling of the underwater gun during the connecting period of the bullet motion*", Journal of Science and Technique (Military Technical Academy), No.183, April 2017, pp.30-38.
[2]. Julian David Hunt, Natália De Assis Brasil Weber, Behnam Zakeri, Ahmadou Tidiane Diaby, "*Deep seawater cooling and desalination: Combining seawater air conditioning and desalination*", Elsevier: Sustainable Cities and Society, August 2021.
[3]. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu.
[4]. ANSYS, Inc, FLUENT User's Guide, Release 14.0, November 2011.

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TÍNH CƠ LÝ VẢI LỤA, ỨNG DỤNG THIẾT KẾ VÁY THỜI TRANG TRẺ EM

STUDY ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SILK FABRIC, USED FOR CHILDREN'S FASHION DRESSES

Dương Thị Lan Anh, Ngô Chí Trung
Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Với những đặc tính nổi trội như mềm mịn, nhẹ, bền, màu sắc sáng bóng tự nhiên, khả năng cách nhiệt tốt, khả năng thấm hút cao, thoáng khí, vải lụa có vị trí quan trọng trong sản phẩm may mặc cao cấp. Nghiên cứu đặc tính cơ lý của vải lụa, phục vụ thiết kế quần áo là đề tài rất được quan tâm. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu một số đặc tính cơ lý của vải lụa ngọc trai, vải lụa sa tanh, vải lụa organza, trong đó tập trung vào độ bền kéo đứt, độ rủ, độ co sau giặt. Kết quả nghiên cứu cho thấy ba mẫu cho thấy vải lụa ngọc trai có độ bền kéo đứt cao hơn, độ rủ và vải ổn định kích thước sau giặt tốt. Kết quả nghiên cứu đặc tính cơ-lý của vải lụa được sử dụng để lựa chọn vải phù hợp sử dụng để thiết kế váy thời trang trẻ em. Sản phẩm được thiết kế, chế tạo với vải chính là lụa ngọc trai và vải tơ là lụa organza đảm bảo yêu cầu về mỹ thuật và kỹ thuật, đạt chất lượng tốt.

Từ khóa: *Lụa ngọc trai; Lụa sa tanh; Lụa organza; Đặc tính cơ lý vải lụa; Váy trẻ em.*

ABSTRACT

With outstanding properties such as softness, lightness, durability, natural shiny color, good thermal insulation, high absorbency, breathability, silk fabric has an important position in high-end garments. Studying the mechanical and physical properties of silk fabrics, serving clothing design is a topic of great interest. This paper presents the results of research on some mechanical and physical properties of silk fabric, satin fabric, organza fabric, which focuses on tensile strength, draping, shrinkage after washing. The results of the study on the mechanical and physical characteristics of fabrics are used to select suitable fabrics used to design children's fashion dresses. Product is designed and manufactured with silk fabric as main fabric layer and organza fabric as decorative layer to meet aesthetic and technical requirements, achieving good quality.

Keywords: *Silk fabric; Satin fabric; Organza fabric; Silk physico-mechanical properties; Children's dresses.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vải lụa có lịch sử rất lâu đời, nổi tiếng là vật phẩm quý giá, sang trọng trong lịch sử nhân loại. Với những đặc tính nổi trội như mềm, mịn, nhẹ, bền, màu sắc sáng bóng tự nhiên, khả năng cách nhiệt tốt, khả năng thấm hút cao, thoáng khí, vải lụa có vị trí quan trọng trong sản phẩm may mặc cao cấp. Cùng với sự phát triển của sợi tơ tằm, một số nguyên liệu khác cũng được nghiên cứu sử dụng để thay thế một phần tơ tằm tự nhiên, các kỹ thuật dệt khác nhau được áp dụng,… từ đó có nhiều loại vải lụa được sản xuất. Mỗi loại vải lụa có những đặc tính riêng, tạo nên sự đa dạng cho sản phẩm may mặc. Nghiên cứu đặc tính cơ lý của vải lụa, phục vụ thiết kế quần áo là đề tài nhận được sự quan tâm lớn.

Theo tác giả Phạm Thị Ngọc Châu [1], khi thay đổi tính chất sợi ngang của vải tơ tằm dệt thoi vân điểm sẽ gây ảnh hưởng lớn đến tính chất cơ lý của vải: khối lượng vải tỷ lệ thuận với độ mảnh sợi ngang, độ bền kéo đứt vải theo hướng ngang, độ bền xé vải theo hướng dọc tăng tỷ lệ thuận với độ mảnh sợi ngang. Theo tác giả Trần Nguyễn Tú Uyên [2], khi mật độ sợi ngang tăng sẽ làm tăng độ bền kéo đứt theo chiều ngang vải, tăng độ giãn theo chiều dọc. Tác giả Nguyễn Thị Hồng [3] xác định: vải tơ tằm có khả năng thẩm thấu hơi nước tốt, có khả năng chuyển nhanh giọt mồ hôi từ bề mặt da cơ thể người ra bề mặt bên ngoài vải, có khả năng thải ẩm cao.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu một số đặc tính cơ lý của vải lụa ngọc trai, vải lụa sa tanh, vải lụa organza, trong đó tập trung vào độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối, độ rủ, độ co/giãn sau giặt, ứng dụng vải lụa vào thiết kế váy thời trang trẻ em cho lứa tuổi 7-9.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là ba loại vải lụa: vải lụa ngọc trai, vải lụa sa tanh và vải lụa organza.

Vải lụa được sử dụng rộng rãi cho nhiều sản phẩm như áo sơ mi, váy, đầm dạ hội, áo choàng, váy cưới, phụ kiện khăn quàng, nội y, sản phẩm trang trí nội thất,…

a) Vải lụa ngọc trai

b) Vải lụa sa tanh

c) Vải lụa organza

Hình 2.1. Mẫu vải lụa

Thông số của ba mẫu vải lụa được nêu ở bảng 2.1 dưới đây: ☞

Bảng 2.1. Một số thông số kỹ thuật của ba mẫu vải lụa

	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Tên gọi	**Vải lụa ngọc trai**	**Vải lụa sa tanh**	**Vải lụa organza**
Khối lượng [g/m^2] (TCVN 8042:2009)	103,4	69,2	51,4
Kiểu dệt (TCVN 4897:1989)	Vân đoạn 8/5	Vân đoạn 5/3	Vân đoạn 5/3
Mật độ sợi [s/10cm] (TCVN 1753:1986) - Dọc	1020	940	1003
- Ngang	393	410	503

Đối tượng sử dụng sản phẩm váy thời trang trẻ em là nữ, độ tuổi 7-9, sử dụng ma-nơ-canh có kích thước tương ứng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thực nghiệm

+ Phương pháp xác định độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối của vải được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 13934-1:2013.

Thực hiện: Với mỗi mẫu vải, chuẩn bị 05 mẫu theo hướng sợi dọc và 05 mẫu theo hướng sợi ngang có kích thước 350 mm × 50 mm; đo 05 lần với 05 mẫu cùng hướng sợi, xác định giá trị trung bình của độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối theo hướng sợi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 = \frac{L_đ - L_0}{L_0} \times 100\ [\%]$$

Trong đó:
ε: Độ giãn đứt tương đối [%];
L_o: Độ dài ban đầu [mm];
$L_đ$: Độ dài đứt [mm].

+ Phương pháp xác định độ rủ của vải thực hiện theo tiêu chuẩn NF G07-109.

Thực hiện: Đo 06 lần, xác định khối lượng mẫu giấy của mẫu vải chưa rủ và mẫu giấy hình bóng rủ của vải M_{pr}, M_{sa}, tính hệ số rủ D theo công thức:

$$D = \frac{Mpr}{Msa} \times 100\ [\%]$$

+ Phương pháp xác định độ co của vải sau giặt thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 1755-1975.

Thực hiện: Độ co của vải sau giặt được xác định theo hướng sợi dọc và ngang, đo với 03 mẫu, tính giá trị trung bình.

Điều kiện thí nghiệm về nhiệt độ, độ ẩm theo tiêu chuẩn.

Phương pháp thiết kế, may mẫu

Mẫu sản phẩm được thiết kế theo phương pháp thiết kế với hệ công thức khối SEV, may mẫu hoàn thiện sản phẩm với thông số công nghệ lựa chọn phù hợp yêu cầu của vật liệu may và sản phẩm.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

+ Xác định một số đặc tính của ba loại vải lụa, gồm: lụa ngọc trai, lụa sa tanh, lụa

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

organza; các đặc tính gồm: độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối của vải, độ rủ, độ co vải sau giặt.

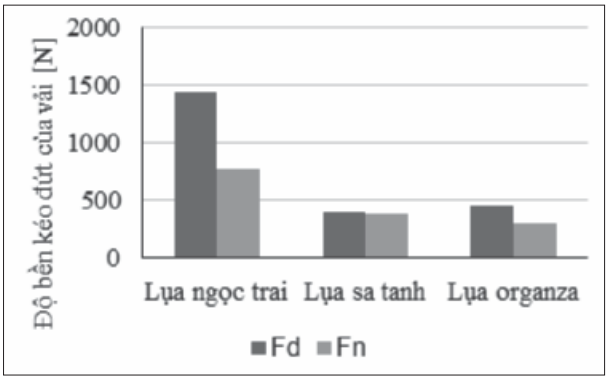
+ Ứng dụng vải lụa để thiết kế váy thời trang trẻ em, lứa tuổi 7-9.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

4.1. Một số đặc tính cơ lý của vải lụa

Độ bền kéo đứt của vải

	Phương sợi	Độ bền kéo đứt [N]
Lụa ngọc trai	Dọc	1434
	Ngang	775,6
Lụa sa tanh	Dọc	395,4
	Ngang	384
Lụa organza	Dọc	459,4
	Ngang	299,6

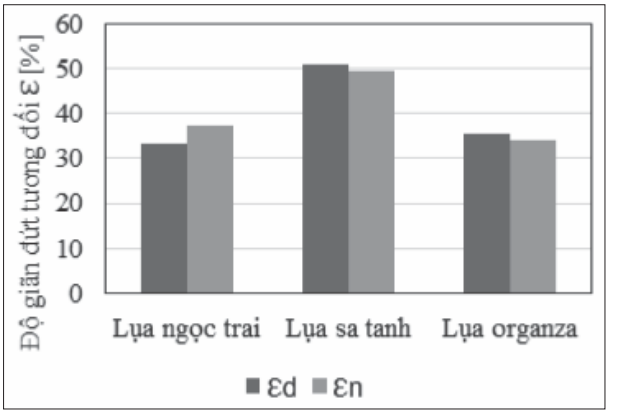


Hình 4.1. Biểu đồ so sánh độ bền kéo đứt của vải theo phương dọc, ngang

Kết quả cho thấy độ bền kéo đứt của vải theo phương dọc lớn hơn phương ngang. Với vải lụa ngọc trai, tỷ lệ này là gần 1,85 lần. Điều này một phần lớn do ảnh hưởng của kiểu dệt, mật độ sợi. Mẫu vải lụa ngọc trai cũng cho kết quả độ bền kéo đứt vượt trội so với hai mẫu vải còn lại. Kết quả này phù hợp với mật độ sợi, khối lượng vải của hai loại vải này so với vải lụa ngọc trai.

Độ giãn đứt tương đối của vải

	Phương sợi	Độ giãn đứt tương đối [%]
Lụa ngọc trai	Dọc	33,2
	Ngang	37,18
Lụa sa tanh	Dọc	50,88
	Ngang	49,32
Lụa organza	Dọc	35,57
	Ngang	34,03

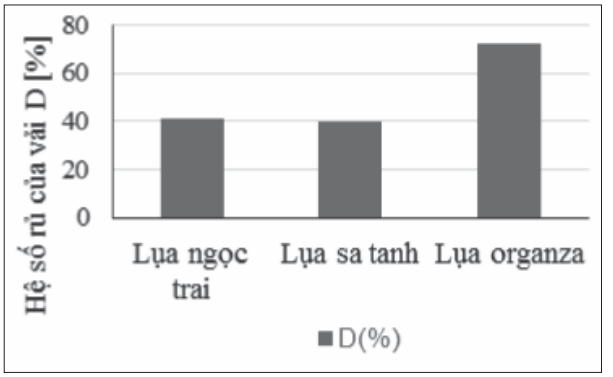


Hình 4.2. Biểu đồ so sánh độ giãn đứt tương đối của vải theo phương dọc, ngang

Như vậy, độ giãn đứt tương đối của ba mẫu vải không có sự khác biệt lớn giữa phương dọc và phương ngang. Mẫu vải lụa sa tanh cho độ giãn đứt tương đối lớn nhất, điều này một phần do đặc tính sợi vải và một phần do ảnh hưởng của kiểu dệt.

Độ rủ của vải

	Hệ số rủ [%]
Lụa ngọc trai	41,24
Lụa sa tanh	39,73
Lụa organza	72,33



Hình 4.3. Biểu đồ so sánh hệ số rủ của vải

Kết quả thí nghiệm cho thấy vải lụa organza có độ rủ thấp nhất, vải cứng, thích hợp với lớp ngoài của sản phẩm, có thể tạo hình trang trí ngoài, trong khi vải lụa ngọc trai, vải sa tanh có độ rủ cao hơn, vải mềm hơn, thích hợp với các sản phẩm lớp ngoài cần tạo dáng cong tự nhiên, cảm giác mềm mại cho sản phẩm.

Độ co sau giặt của vải

	Phương sợi	Độ co vải sau giặt [%]
Lụa ngọc trai	Dọc	-0,5
	Ngang	-0,25
Lụa sa tanh	Dọc	-0,02
	Ngang	-0,02
Lụa organza	Dọc	0
	Ngang	0

Kết quả thí nghiệm cho thấy vải không co mà có hiện tượng bai giãn sau giặt, tuy nhiên với trị số rất thấp. Như vậy, sau giặt cả ba loại vải đều thể hiện sự ổn định kích thước tốt.

4.2. Ứng dụng vải lụa thiết kế váy thời trang trẻ em

Dựa trên kết quả nghiên cứu đặc trưng cơ, lý của vải lụa, với đặc tính nổi trội mềm, mịn, nhẹ, bền, màu sắc sáng bóng tự nhiên, đặc biệt là bề mặt óng ả của lụa ngọc trai, tính năng tạo dáng tốt của lụa organza,… cho phép thiết kế sản phẩm váy thời trang với nét sang trọng riêng.

Váy trẻ em được thiết kế dáng nửa bó sát, chân váy xòe, tạo dáng cong bồng tự nhiên, cuốn tơ từng cánh, tay bồng ngắn, cổ tròn, có lớp vải chính, vải lót, vải trang trí. Cấu trúc sản phẩm phù hợp với đối tượng trẻ em trong khoảng 7-9 tuổi. Với yêu cầu của sản phẩm, theo kết quả thí nghiệm đặc trưng cơ lý, khả năng tạo dáng của vật liệu, các tác giả đã lựa chọn vải chính là lụa ngọc trai, lớp vải ngoài chân váy là lụa organza.

Sản phẩm váy thời trang trẻ em có 26 chi tiết, trong đó 04 chi tiết vải chính, 06 chi tiết vải lót, 16 chi tiết vải ngoài.

Sản phẩm được thiết kế theo hệ công thức khối SEV. Sau khi hoàn thành thiết kế, sản phẩm được chế tạo hoàn chỉnh, sử dụng chỉ may 100% PES, chỉ tơ vắt sổ, kim may mũi nhọn nhỏ, phù hợp với vải lụa.

Váy thời trang trẻ em sau khi hoàn chỉnh được thử nghiệm trên ma-nơ-canh và trên người mặc phù hợp để đánh giá hình dáng, sự vừa vặn, chất lượng của sản phẩm.

Hình 4.4. Mặt trước và mặt sau mẫu váy lụa thời trang trẻ em

Sản phẩm váy thời trang trẻ em được thiết kế, chế tạo đảm bảo yêu cầu mỹ thuật, kỹ thuật của sản phẩm. Vải lụa đã mang tới sự mềm mại, nhẹ, dáng cong bồng với màu sắc sáng bóng tự nhiên, tạo nên sự sang trọng cho sản phẩm thời trang, cho người mặc cảm giác thoải mái.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, các tác giả đã trình bày kết quả nghiên cứu một số đặc tính cơ lý của vải lụa ngọc trai, vải lụa sa tanh, vải lụa organza, trong đó tập trung vào độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối, độ rủ, độ co sau giặt, ứng dụng vải lụa vào thiết kế váy thời trang trẻ em.

Kết quả cho thấy đặc tính cơ-lý của vải lụa như độ bền kéo đứt, độ giãn đứt tương đối, độ rủ, độ ổn định kích thước sau giặt của vải lụa ngọc trai, vải lụa sa tanh thể hiện sự phù hợp đối với vải chính sản phẩm may mặc, với màu sắc sáng bóng, ỏng ả tạo nên nét sang trọng cho sản phẩm may mặc. Trong khi vải lụa organza với đặc tính riêng, phù hợp là lớp ngoài sản phẩm, với độ cứng, mỏng và khả năng tạo dáng riêng giúp cho sản phẩm có dáng tự nhiên, mềm mại và sự phối hợp với lớp vải khác tạo nên sự đa dạng thời trang của sản phẩm.

Bên cạnh đó, các đặc tính khác của vải lụa (như: khả năng cách nhiệt tốt, khả năng thấm hút cao, thoáng khí, …) còn tạo nên tính tiện nghi cao, cảm giác thoải mái cho người mặc.❖

Ngày nhận bài: **23/3/2024**
Ngày phản biện: **25/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Phạm Thị Ngọc Châu; *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số đặc trưng cơ lý của sợi tơ tằm đến đặc trưng cơ lý của vải tơ tằm*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (2016).

[2]. Trần Nguyễn Tú Uyên; *Nghiên cứu ảnh hưởng của mật độ sợi ngang đến một số tính chất cơ học của lụa tơ tằm,* Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (2016).

[3]. Nguyễn Thị Hồng; *Nghiên cứu tính chất nhiệt ẩm của một số mẫu vải tơ tằm ảnh hưởng đến tính tiện nghi của quần áo,* Luận văn Thạc sĩ khoa học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (2019).

[4]. N. M. Elghandour, Z. M. Abdel-Megied, L. K. El Gabry and M. Y. Abdi El-Aziz, *Study the Seam Stitch of Silk Garment Properties Dyed with Natural dyes,* Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science, Vol. 19, No. 2, pp. 339-347 (2022), DOI: 10.21608/jtcps.2022.175736.1142.

[5]. Cao Thị Kiên Chung, Lê Thúy Hằng, Đào Thị Hạp, Đào Thị Thu, Quách Thị Hương Giang, *Nghiên cứu một số đặc trưng của vải tơ tằm/ VISCO vào thiết kế thời trang công sở nữ trung niên,* Tạp chí Khoa học & Công nghệ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, số 29, ISSN 2354-0575 (2021), tr. 112-118.

[6]. Dương Thị Lan Anh; *Tìm hiểu và xác định một số đặc tính kỹ thuật của vải lụa ngọc trai, vải lụa satin và vải lụa organza sử dụng trong thiết kế trang phục váy thời trang trẻ em; Xây dựng tài liệu thiết kế kỹ thuật sản phẩm váy thời trang trẻ em,* Đồ án tốt nghiệp, Đại học Bách khoa Hà Nội (2024).

ẢNH HƯỞNG CỦA CATION KIM LOẠI TRONG DUNG DỊCH MẠ Cr(III) ĐẾN KHẢ NĂNG CHỐNG ĂN MÒN CỦA LỚP MẠ CROM

EFFECT OF CATION ADDED IN Cr(III)-CONTAINING BATH ON CORROSION RESISTANCE OF TRIVALENT CHROMIUM COATING

TS. **Nguyễn Văn Tài**, TS. **Nguyễn Hoài Tân**, TS. **Huỳnh Thanh Thưởng**, TS. **Nguyễn Văn Cương**
Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã phân tích và đánh giá được sự ảnh hưởng của cation kim loại trong dung dịch mạ chứa Cr(III) đến khả năng chống ăn mòn của lớp mạ crom. Các đặc tính của lớp mạ được mô tả và phân tích thông qua sử dụng kính hiển vi điện tử quét, quang phổ quang điện tử tia X-XPS và phân cực điện hóa. Kết quả thu được cho thấy rằng khả năng chống ăn mòn của lớp mạ crom được cải thiện dần khi dung dịch mạ được thêm vào với lượng nhiều hơn cation kim loại Na^+. Lớp mạ crom được mạ từ dung dịch mạ chứa 1,25 M Na_2SO_4 có dòng điện ăn mòn và dòng điện tạo lớp film bảo vệ là thấp nhất nên khả năng chống ăn mòn là cao nhất. Vì thế, dung dịch mạ chứa Cr(III) với sự thêm vào của 1,25 M Na_2SO_4 có thể tạo ra lớp mạ crom có khả năng chống ăn mòn cao.

Từ khóa: *Mạ điện hóa; Cr(III); Cation kim loại; XPS; Ăn mòn.*

ABSTRACT

Effects of Na^+ cation added into Cr(III) containing-bath on corrosion resistance of the chrom coating were investigated in this study. The properties of the coating were characterized using Scanning electron microscope (SEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and cathodic polarization. Results pointed out that the corrosion resistance of the coating are significantly improved as a higher concentration of Na^+ cation was added into the Cr(III)-containing bath. The coating deposited from the bath with addition of 1.25 M Na_2SO_4 show the lowest current corrosion and passive current, indicating the best corrosion resistane. The obtained results indicate that the corrosion resistance of the chromium coating can significantly improve as the bath containing 1.25M Na_2SO_4 was used.

Keywords: *Electrodeposition; Cr(III); Cation; XPS; Corrosion resistance.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lớp mạ crom có nhiều tính chất nổi bật có thể kể đến như lớp mạ bóng sáng, có tính thẩm mỹ, độ cứng cao, chịu mài mòn tốt và khả năng chống ăn mòn cao trong môi trường làm việc có sự xuất hiện của axit, bazo, muối [1]. Vì thế, lớp mạ crom thường được dùng cho các chi tiết máy cần có hệ số ma sát thấp trong các chuyển động trượt tương đối hay làm việc trong điều kiện nhạy cảm với các tác nhân có thể gây ra ăn mòn. Nhờ vào khả năng chống ăn mòn tốt mà lớp mạ crom giúp cho các chi tiết máy hạn chế được sai lệch kích thước và hình dạng khi hoạt động trong thời gian dài. Lớp mạ crom sẽ giúp cho tuổi thọ của chi tiết máy được tăng lên đáng kể, nâng cao hiệu quả sử dụng và giảm chi phí sửa chữa, thay thế [2].

Các lỗ rỗng và vết nứt tế vi trên bề mặt lớp mạ được xem là các kênh dẫn để các tác nhân gây ăn mòn xâm nhập vào bên trong lớp mạ, dần dần sẽ phá hủy lớp mạ và vật liệu nền. Vì thế, việc hạn chế các lỗ rỗng và vết nứt tế vi là cần thiết. Bên cạnh đó, thành phần của Cr-O trong lớp mạ sẽ giúp lớp mạ tăng khả năng chống ăn mòn. Trong nghiên cứu này, hình thái bề mặt và các thành phần của lớp mạ crom được mạ từ những dung dịch mạ khác nhau sẽ được phân tích và đánh giá. Qua đó, đề tài sẽ xác định được nồng độ thích hợp của Na^+ cation thêm vào dung dịch mạ để thu được lớp mạ crom có khả năng chống ăn mòn cao.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các dung dịch mạ khác nhau được chuẩn bị dựa trên sự thay đổi của nồng độ muối Na_2SO_4, như thể hiện trong Bảng 1, với nồng độ của Na_2SO_4 thay đổi từ 0,25 đến 1,25 M. Các thông số điều kiện mạ bao gồm mật độ dòng điện, nhiệt độ, pH và thời gian mạ được lựa chọn lần lượt tại 5 A/dm^2, 30°C, 1,5 và 15 phút. Các tính chất của lớp mạ crom bao gồm hình thái bề mặt, thành phần liên kết hóa học và khả năng chống ăn mòn được kiểm tra và phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét, quang phổ quang điện tử tia X-XPS và phân cực điện hóa trong dung dịch muối 3,5% NaCl với hiệu điện thế phân cực từ -0,6 đến 0,4 V (so với điện cực so sánh là Saturated Calomel Electrode, SCE).

Bảng 1. Thành phần hóa học của dung dịch mạ chứa Cr(III)

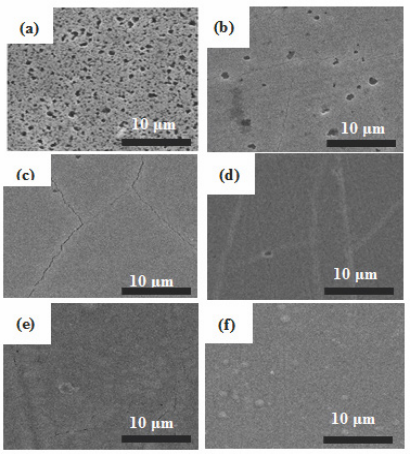
Ký hiệu hóa học	Lớp mạ	Thành phần
S_f	C_f	0,5 M $CrCl_3$, 0,5 M HCOOH, 0,5 M H_3BO_3, 3,5 mM sodium dodecyl sulfate
S_1	C_1	S_f + 0,25 M Na_2SO_4
S_2	C_2	S_f + 0,5 M Na_2SO_4
S_3	C_3	S_f + 0,75 M Na_2SO_4
S_4	C_4	S_f + 1,00 M Na_2SO_4
S_5	C_5	S_f + 1,25 M Na_2SO_4

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

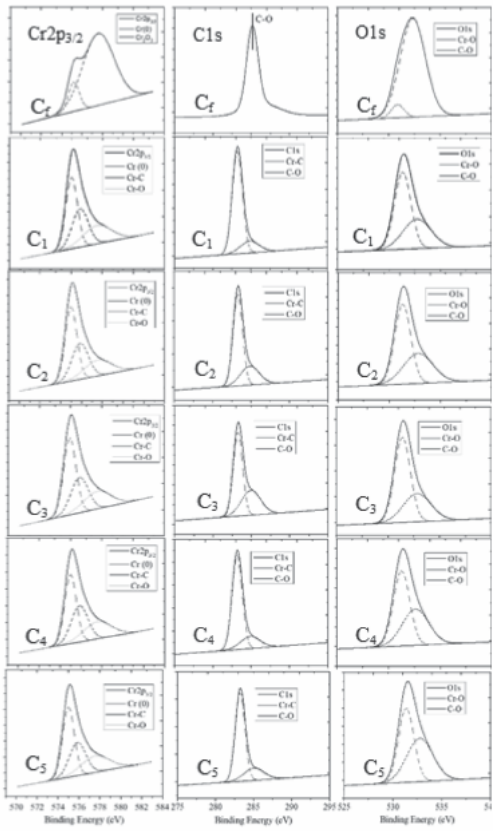
3.1. Hình thái bề mặt và thành phần của lớp mạ crom

Hình thái bề mặt của các lớp mạ crom khác nhau được mô tả trên Hình 1 (a-f). Khi dung dịch mạ chưa được thêm vào cation kim loại của Na^+ (S_f), lớp mạ thu được xuất hiện nhiều lỗ rỗng trên bề mặt với nhiều kích thước khác nhau. Khi dung dịch mạ được thêm vào cation kim loại của Na^+ từ 0,25 đến 1,25 M Na_2SO_4, chất lượng của lớp mạ crom bắt đầu được cải thiện dần lên khi lỗ rỗng và vết nứt tế vi có dấu hiệu giảm dần. Đặc biệt, khi nồng độ 1,25 M Na_2SO_4 được thêm vào dung dịch mạ, ☞

các lỗ rỗng và vết nứt tế vi trên lớp mạ crom dường như không còn xuất hiện nữa.



Hình 1. Hình thái bề mặt của lớp mạ crom được mạ từ những dung dịch mạ chứa Cr(III) khác nhau: (a) S_f; (b) S_1; (c) S_2 và (d) S_3; (e) S_4; (f) S_5



Hình 2. Phép đo quang phổ XPS trên bề mặt các lớp mạ crom khác nhau

Sự xuất hiện của cation kim loại trong dung dịch mạ cũng ảnh hưởng đến thành phần của lớp mạ crom. Thông thường, lớp mạ crom bao gồm các thành phần chủ yếu như Cr, Cr-O, Cr-C và C-O trong liên kết của chất hữu cơ [3, 4]. Thành phần crom oxit (Cr_2O_3) có trong lớp mạ và từ phản ứng oxy hóa của Cr-C (phản ứng (1)) sẽ tạo thành lớp film bảo vệ cho lớp mạ [5]. Kết quả từ phân tích XPS trong Hình 2 và Bảng 2 thể hiện sự thay đổi của các thành phần có trong các lớp mạ crom khác nhau. Khi đó, lớp mạ crom được mạ từ dung dịch mạ được thêm vào Na^+ ở nồng độ cao hơn sẽ có phần trăm liên kết của Cr-O và Cr-C lớn hơn. Phần trăm của Cr-O tăng từ 9,29% đến 15,19%, và Cr-C tăng từ 44,07% đến 48,64% khi nồng độ của Na_2SO_4 tăng từ 0,25 đến 1,25 M. Lớp mạ crom C_5 có phần trăm Cr-O và Cr-C là cao nhất, vì thế, lớp mạ crom này được cho là sẽ có khả năng chống ăn mòn tốt nhất.

$$2CrC_x + 3H_2O \rightarrow Cr_2O_3 + 2xC + 6H^+ + 6e^- \quad (1)$$

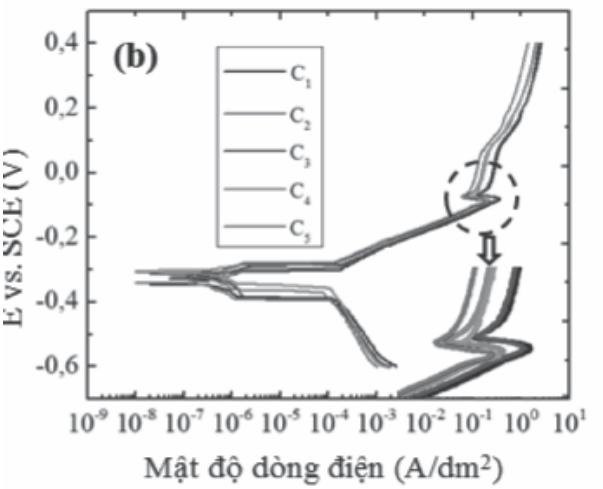
3.2. Khả năng chống ăn mòn của lớp mạ crom

Hình 3 (a-b) thể hiện phân cực điện hóa cho vật liệu nền đồng thau và các lớp mạ crom khác nhau. Các thông số của quá trình phân cực điện hóa bao gồm điện thế ăn mòn, dòng điện ăn mòn, điện thế và dòng điện tạo lớp film bảo vệ được thống kê trong Bảng 2. Từ kết quả thu được có thể thấy rằng vật liệu nền đồng thau có thể khó bị ăn mòn nhưng tốc độ ăn mòn lại quá cao (dòng điện ăn mòn vào khoảng $7,57x10^{-6}$ A) nên tuổi thọ sẽ thấp. Trong khi lớp mạ crom được mạ từ dung dịch mạ S_5 cho thấy tốc độ ăn mòn là thấp nhất khi dòng điện ăn mòn vào khoảng $2,66x10^{-7}$ A (giá trị nhỏ nhất khi so sánh với các lớp mạ khác). Bên cạnh đó, lớp mạ C_5 cũng thể hiện khả năng tạo lớp film bảo vệ để chống lại sự ăn mòn là tốt hơn so với các lớp mạ khác với dòng điện tạo lớp film bảo vệ là $5,80x10^{-4}$ A.

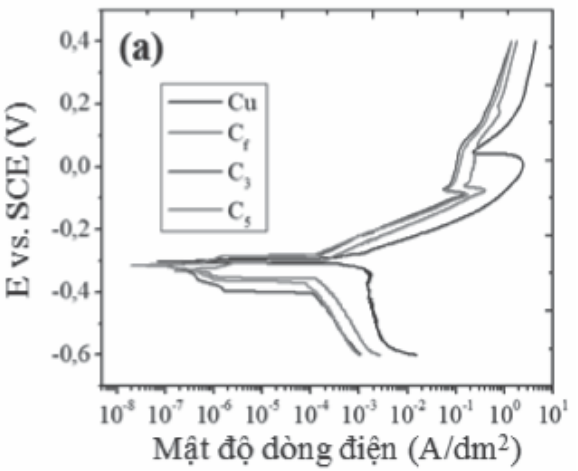
Bảng 2. Thông số thành phần lớp mạ, điện thế và dòng điện ăn mòn (E_{corr}; I_{corr}), điện thế và dòng điện tạo lớp film bảo vệ (E_{pass}; I_{pass}) cho các lớp mạ khác nhau

Lớp mạ	Thành phần lớp mạ crom (%)			E_{pass} (V)	I_{pass} (A)	E_{corr} (V)	I_{corr} (A)
	Cr	Cr-C	Cr-O				
Cu	-	-	-	-0,260	$7,57x10^{-6}$	0,041	$1,82x10^{-3}$
C_f	-	-	-	-0,244	$2,40x10^{-6}$	-0,072	$5,47x10^{-4}$
C_1	46,14	44,07	9,29	-0,315	$2,98x10^{-7}$	-0,067	$12,90x10^{-4}$
C_2	44,69	44,79	10,52	-0,304	$2,85x10^{-7}$	-0,078	$12,10x10^{-4}$
C_3	42,91	45,06	12,03	-0,327	$2,78x10^{-7}$	-0,068	$8,44x10^{-4}$
C_4	40,19	46,70	13,11	-0,315	$2,70x10^{-7}$	-0,072	$7,03x10^{-4}$
C_5	36,17	48,64	15,19	-0,295	$2,66x10^{-7}$	-0,074	$5,80x10^{-4}$

Đối với các lớp mạ crom từ C_1 đến C_5 thì tốc độ ăn mòn sẽ giảm khi lượng Na^+ được thêm vào dung dịch mạ tăng lên. Sự giảm tốc độ ăn mòn của các lớp mạ crom được cho là liên quan đến sự biến mất dần của các lỗ rỗng và vết nứt tế vi trên bề mặt lớp mạ. Khi đó, các tác nhân gây ăn mòn sẽ khó xâm nhập hơn vào bên trong lớp mạ để gây ra ăn mòn cục bộ, rồi phá hủy lớp mạ. Mặt khác, nhờ sự tăng dần của thành phần Cr-O và Cr-C trong lớp mạ crom, giúp cho lớp mạ dễ hình thành lớp film bảo vệ (Cr_2O_3) trên bề mặt.



Hình 3. (a) Mạch điện hở, (b-c) Phân cực điện hóa cho vật liệu nền Cu và các lớp mạ crom khác nhau trong dung dịch muối NaCl 3,5%.



4. KẾT LUẬN

Phân cực điện hóa đã được thực hiện để xác định sự ảnh hưởng của cation kim loại được thêm vào dung dịch mạ đến khả năng chống ăn mòn của lớp mạ crom. Kết quả cho thấy sự thêm vào của Na^+ sẽ giúp cho lớp mạ tăng khả năng chống ăn mòn. Dung dịch mạ chứa 1,25 M Na_2SO_4 sẽ cho lớp mạ crom có tốc độ ăn mòn thấp nhất và dễ hình thành lớp film bảo vệ chống lại sự ăn mòn của tác nhân gây ăn mòn.❖

Ngày nhận bài: **26/02/2024**
Ngày phản biện: **29/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. N.J.P. Mandich, s. finishing, "*Chemistry & Theory of Chromium Deposition: Part 1 – Chemistry*", Plating and surface finishing, 84(5), 1997, 108-115.
[2]. N.V. Lộc; *Sổ tay công nghệ mạ điện*, ed., NXB. Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, 2010.
[3]. A. Edigaryan, V. Safonov, E. Lubnin, L. Vykhodtseva, G. Chusova, Y.M.J.E.a. Polukarov, "*Properties and preparation of amorphous chromium carbide electroplates*", Electrochimica Acta, 47(17), 2002, 2775-2786.
[4]. C.-E. Lu, N.-W. Pu, K.-H. Hou, C.-C. Tseng, M.-D.J.A.s.s. Ger, "*The effect of formic acid concentration on the conductivity and corrosion resistance of chromium carbide coatings electroplated with trivalent chromium*", Applied Surface Science, 282, 2013, 544-551.
[5]. J. Högström, M. Andersson, U. Jansson, F. Björefors, L.J.E.A. Nyholm, "*On the evaluation of corrosion resistances of amorphous chromium-carbon thin-films*", Electrochimica Acta, 122, 2014, 224-233.

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ LẮP GHÉP LEGO TRONG THIẾT KẾ MÁY/CHI TIẾT MÁY

RESEARCH AND APPLY LEGO ASSEMBLY TECHNOLOGY IN DESIGN MACHINE/WORKPART

Trần Đức Toàn
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Thiết kế máy/chi tiết máy là một chuyên môn sâu, đòi hỏi người thiết kế phải am hiểu sâu rộng về nhiều vấn đề, lĩnh vực khác nhau và trong đó công nghệ chế tạo phôi là một trong những vấn đề quan trọng. Với sản xuất hàng loạt thì việc am hiểu và lựa chọn công nghệ chế tạo phôi của người thiết kế là một trong số ít yếu tố có sự ảnh hưởng quyết định tới sự thành bại của một dự án. Bài báo này trình bày nghiên cứu của tác giả trong việc áp dụng công nghệ thiết kế chế tạo đồ chơi Lego trong thiết kế máy móc cơ khí nói chung và thiết kế các chi tiết dạng hộp nói riêng. Kết quả cho thấy có sự thay đổi rõ rệt về khả năng tăng năng suất, chất lượng và giảm giá thành chế tạo máy, là thêm một lựa chọn cho những nhà thiết kế máy cân nhắc quyết định.

Từ khóa: *Thiết kế máy; Lắp ghép; Lego.*

ABSTRACT

Designing machines/machine parts is a deep expertise, requiring the designer to have a deep understanding of many different issues and fields and of which embryo manufacturing technology is one of Issues that need attention/important topic. With mass production, the designer's understanding and choice of blank production technology is one of the few factors that have a decisive influence on the success or failure of a project. The article presents the author's research in applying Lego toy design and production technology to mechanical machinery design in general and box-shaped detail design in particular. The results show a clear change in the ability to increase productivity, quality and reduce machine manufacturing costs, providing additional options for machine designers to consider and decide.

Keywords: *Machine Design; Assemble; Lego.*

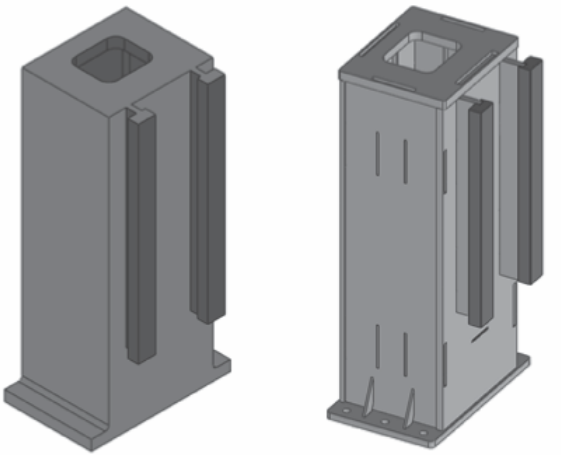
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mỗi người thiết kế máy/chi tiết máy sẽ có quy trình riêng tùy thuộc vào nhiều yếu tố cả khách quan hay chủ quan, sẽ không có một quy trình thiết kế máy nào được coi là chuẩn duy nhất cho công việc thiết kế máy [1-5]. Tuy nhiên, theo thực tế quá trình tính toán thiết kế máy thì quá trình từ ý tưởng đến lúc thực hiện chế tạo thành công một máy móc thiết bị là sản phẩm thương mại sẽ cần có nhiều công đoạn phải cải tiến/sửa chữa quay vòng, làm cho giá thành sản phẩm nghiên cứu đầu tiên thường cao hơn 3-5 lần sản phẩm thương mại, trong khi giá thành và/hoặc thời gian chế tạo các chi tiết máy đảm bảo được yêu cầu kỹ thuật là điều quyết định chính đến thành bại của một dự án.

2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

Vài năm trở lại đây, phương pháp mới gia công kim loại bằng tia laser đã được ứng dụng và phát triển nhanh chóng. Khởi điểm chỉ cắt được những tấm kim loại có chiều dày dưới 10 mm, sau một vài năm đã có thể nâng công suất lên phổ biến ở độ dày 20 – 30mm và hiện nay có thể cắt thép tấm dày tới 60mm hoặc hơn, và nhiều các doanh nghiệp đã nhập dây chuyền gia công laser thanh thép hình khổ lớn. Nhận thấy ưu thế của phương pháp gia công này: nhanh, sản lượng lớn, hiệu suất cao, dung sai nhỏ, chi phí thấp, và liên tưởng đến trò chơi sáng tạo ghép Lego, tác giả đã nghiên cứu thử nghiệm thay đổi phương án chuẩn bị phôi trong quá trình thiết kế máy/chi tiết máy. Sử dụng phôi là phôi thép tấm/thép hình được cắt laser có các mộng ghép, sau đó ghép, hàn lại để được phôi bán tinh, giúp quá trình gia công được rút gọn về thời gian, dễ lắp ghép, lượng dư nhỏ, đều, kích thước, tiết diện, gân gờ tối ưu đảm bảo máy có kích thước gọn, nhẹ hơn. Trên cơ sở tính toán biến dạng qua mô phỏng quá trình chịu tải tương đương của hai phương án sẽ tìm ra phương án cho độ cứng cao hơn. Các thông tin kể trên sẽ góp phần giúp người thiết kế máy/chi tiết máy có đánh giá tổng quát và dễ dàng đưa ra lựa chọn tốt hơn trong các quyết định của mình.

Đối tượng thiết kế của nghiên cứu được chọn là thân máy. Hình 1a thể hiện hình ảnh thân máy CNC được thiết kế với ấn định sử dụng phôi đúc, Hình 1b thể hiện hình ảnh thân máy được thiết kế theo phương án ghép Lego:



(a) *(b)*

Hình 1. Hình ảnh đối tượng của nghiên cứu

Một trong các yêu cầu tối quan trọng với thân máy là đòi hỏi độ cứng vững cao. Do đó, yêu cầu độ cứng vững cùng các yếu tố giá thành, thời gian, độ khó trong công nghệ chế tạo, sản xuất máy là các yếu tố cơ sở cho người thiết kế máy cân nhắc lựa chọn phương án thích hợp.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

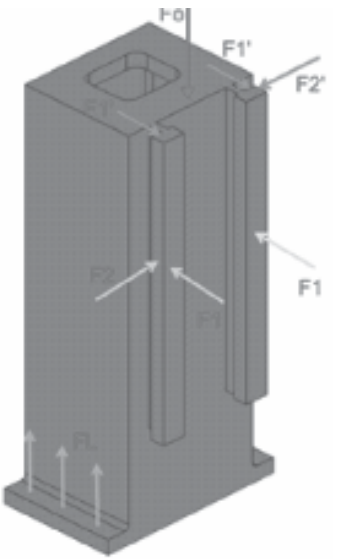
Trước tiên so sánh sự khác nhau giữa phương pháp chuẩn bị phôi truyền thống và phương pháp do tác giả đưa ra. Bảng 1 thể hiện so sánh giữa hai phương pháp chuẩn bị phôi:

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Bảng 1. So sánh giữa hai phương pháp chuẩn bị phôi

	Phương pháp chuẩn bị phôi			
	Truyền thống		**Phôi ghép theo công nghệ Lego**	
Số công đoạn/ nguyên công	6	Làm khuôn + Nấu chảy kim loại + Đúc + Làm sạch + Gia công thô + Gia công tinh	4	Cắt laser phôi tấm + Ghép Hàn + Gia công thô + Gia công tinh
Số nhân công cần thiết	6	Khuôn (1); Nấu + Đúc (2); Làm sạch (1); GC thô (1); Gia công tinh (1)	5	Cắt laser (1); Ghép hàn (2); Gia công thô (1); Gia công tinh (1)
Số lượng máy/ thiết bị	5	Đồ gá lắp ghép, chế tạo khuôn; Lò nấu chảy; Làm sạch; Máy gia công thô; Máy gia công tinh	4	Máy cắt laser; máy hàn; máy gia công thô; máy gia công tinh.
Thời gian (ngày)	7	Khuôn (3); Nấu + Đúc + làm sạch (2): Gc thô + Gc tinh (2).	2	Cắt laser + Ghép hàn + Gc tinh + Gc thô (2)
Yêu cầu trình độ cao	2	Các công đoạn làm khuôn; Gc tinh	1	Chỉ ở công đoạn Gc tinh

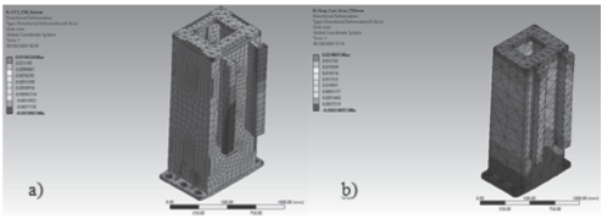
Khi nghiên cứu về độ cứng vững, mục đích chính là so sánh độ cứng vững giữa hai chi tiết được thiết kế chế tạo theo hai phương án khác nhau, nên yêu cầu đầu vào là hình dáng kích thước hai chi tiết phải gần giống nhau, hệ lực đặt vào hai chi tiết cũng phải giống nhau hoàn toàn về các thông số đặc trưng của lực. Do đó, việc lựa ngẫu nhiên thông số tọa độ điểm đặt các lực thành phần và độ lớn lực thành phần không làm mất tính tổng quát, cũng như tính chính xác của kết quả thử nghiệm. Bởi vậy, tác giả đã chọn các lực thành phần với các thông số đặc trưng được mô tả ở hình dưới đây.



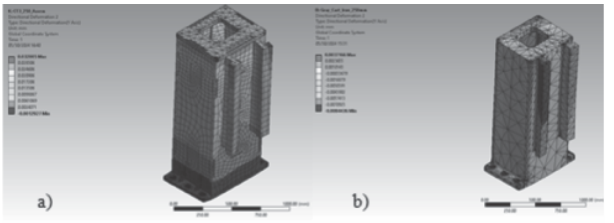
Hình 2. Sơ đồ đặt hệ lực tác dụng vào thân máy

(F1 & F2) hay (F1' &F2') là cặp các lực đồng phẳng, được coi là tổng các lực từ hộp trục chính tác dụng lên dẫn hướng trục Z; Fo được coi là hợp các lực từ gối trục vít me, động cơ, đối trọng,... tác dụng theo phương thẳng đứng lên thân máy. Hệ các lực Fo, F1; F1'; F2; F2' là hệ các ngoại lực (không tính trọng lượng bản thân thân máy) tác dụng lên thân máy do lực cắt và trọng lượng phần ghép nối các cụm chi tiết như hộp trục chính, động cơ, đài dao,... Dưới đế thân máy có lắp 6 bu lông M30 là hệ phản lực tác dụng từ đế máy FL. Độ lớn các lực được cho lần lượt là: F1 = F1' = 1000N; F2 = F2' = 1500N; Fo = 3000N.

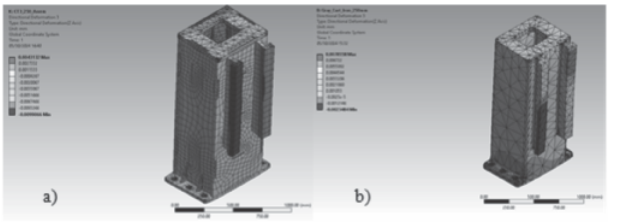
Tại 3 vị trí hộp trục chính dọc theo chiều dài dẫn hướng thân máy đều được mô phỏng tính biến dạng nhằm xác định vị trí hộp trục chính cho khả năng chịu tải cao nhất. Một phần kết quả thể hiện ở hình dưới đây. Hình a) là lượng biến dạng của thân máy được thiết kế lắp ghép theo công nghệ ghép Lego; Hình b) là lượng biến dạng của thân máy đúc.



Hình 3. Biến dạng theo phương X tương ứng thân máy ở vị trí giữa của đường dẫn hướng: a) Thân máy ghép; b) Thân máy đúc



Hình 4. Biến dạng theo phương Y tương ứng thân máy ở vị trí giữa của đường dẫn hướng: a) Thân máy ghép; b) Thân máy đúc



Hình 5. Biến dạng theo phương Z tương ứng thân máy ở vị trí giữa của đường dẫn hướng: a) Thân máy ghép; b) Thân máy đúc

Cùng với việc tính toán mô phỏng biến dạng tại các vị trí khác của bàn trục chính dọc theo đường dẫn hướng, kết quả cho thấy, với cùng hệ lực, cùng điểm đặt và các thông số đặc trưng, lượng biến dạng theo các phương X; Y; Z là không có sự khác biệt lớn, độ cứng của thân máy thiết kế theo công nghệ ghép Lego cho độ cứng vững nhỉnh hơn cho dù khối lượng nhỏ hơn.

Do ưu thế nổi trội về thời gian thực hiện rút ngắn, cùng hàng loạt ưu thế trong quá trình chế tạo, sản xuất như yêu cầu trình độ công nhân thấp, số lượng nhân công, bước công nghệ, số lượng máy sử dụng đều thấp hơn, do đó bước đầu có thể kết luận rằng thân máy được thiết kế theo công nghệ lắp ghép Lego là một phương án đáng quan tâm.

4. KẾT LUẬN

Khoa học công nghệ ngày càng phát triển, việc thử nghiệm thay đổi các phương án công nghệ hay lựa chọn phương án trong thiết kế cũ là cấp thiết nhằm tăng năng suất, chất lượng, giảm giá thành sản phẩm.

Qua mô phỏng kiểm tra độ cứng vững cho thấy thân máy được thiết kế theo phương pháp mới cho độ cứng vững gần như tương đương, trong khi đó khối lượng nhỏ hơn, thời gian chế tạo ít hơn, ít đòi hỏi trình độ công nhân

cao sẽ làm tăng chất lượng làm việc mà giảm giá thành sản phẩm – là nhân tố then chốt cho sự thành công của dự án. Do đó, người thiết kế máy nên có sự quan tâm nghiên cứu phù hợp.❖

Ngày nhận bài: **28/4/2024**
Ngày phản biện: **21/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Phạm Đắp, Nguyễn Đức Lộc, Phạm Thế Trường, Nguyễn Tiến Lưỡng; *Tính toán thiết kế máy cắt kim loại*, NXB. Đại học và Trung học chuyên nghiệp, 1971.

[2]. Nguyễn Ngọc Cẩn; *Thiết kế máy cắt kim loại,* NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

[3]. Nguyễn Hữu Lộc; *Thiết kế máy và chi tiết máy,* NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2020.

[4]. Nguyễn Hữu Phấn, Nguyễn Xuân Chung, Trần Văn Đua, Thái Văn Trọng; *Giáo trình thiết kế máy công cụ,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2022.

[5]. Trịnh Chất; *Cơ sở thiết kế máy và chi tiết máy,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

NGHIÊN CỨU HOÀN THIỆN CÔNG THỨC THIẾT KẾ MẪU CƠ SỞ ÁO NHẸ CHO NỮ THANH NIÊN LỨA TUỔI 18 ĐẾN 24 BẰNG PHẦN MỀM CLO3D

RESEARCHING TO FINALIZE THE DESIGN FORMULA OF A BASIC LIGHT SHIRT MODEL FOR YOUNG WOMEN AGED 18 TO 24 USING CLO3D SOFTWARE

Bùi Thanh Hương, Đào Thị Tình
Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng phần mềm Clo3D mô phỏng mẫu thiết kế trên ma-nơ-canh ảo để xem xét, đánh giá mức độ vừa vặn của mẫu cơ sở áo nhẹ. Nghiên cứu đã kế thừa hệ công thức thiết kế của tác giả Armstrong, điều chỉnh lượng dư cử động ½ vòng ngực thân áo, sau đó tiến hành đánh giá hình dạng bên ngoài và độ vừa vặn của mẫu thiết kế bằng phương pháp đánh giá khách quan và đánh giá chủ quan. Dựa trên phân tích kết quả đánh giá, tiến hành hiệu chỉnh và hoàn thiện hệ công thức thiết kế phù hợp với dáng người phụ nữ Việt Nam. Mẫu thực nghiệm được đánh giá lần cuối trên mô hình ma-nơ-canh ảo và 5 người mẫu thật. Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng vào giảng dạy và sử dụng để phát triển mẫu mới trong may công nghiệp.

Từ khóa: *Mẫu cơ sở áo nhẹ; Thiết kế mẫu; Phần mềm Clo3D.*

ABSTRACT

This article presents the results of research on the application of Clo3D software to simulate designs on virtual mannequins for reviewing and evaluating the fit level of the basic light shirt model. The study inherited author Armstrong's design formula system, adjusted the amount of movement to ½ of the bust circumference of the shirt body, then evaluated the external shape and fit of the design using both objective and subjective assessment methods. Based on the analysis of the evaluation results, the design formula system suitable for the Vietnamese woman's body shape was calibrated and perfected. The experimental sample was then evaluated on a virtual mannequin model and five real models. The research results can be applied to teaching and used to develop new models in industrial sewing.

Keywords: *Basic shirt; Pattern making; Clo3D software.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, với sự phát triển của công nghệ thông tin đã có nhiều phần mềm hỗ trợ cho việc thử sửa mẫu sau khi thiết kế như là phần mềm V-stitcher, Clo3D, Opitex... Phần mềm Clo3D cung cấp công cụ hữu ích cho ngành công nghiệp thời trang và may mặc, giúp tạo ra các mẫu quần áo 3D chân thực và hiệu quả, tiết kiệm thời gian và chi phí cho quy trình thiết kế và sản xuất. Trong nghiên cứu [1], tác giả thiết lập hệ công thức thiết kế bộ rập áo, váy cơ sở theo phương pháp 2D từ kết quả mẫu phủ 3D, đảm bảo độ vừa vặn và dữ liệu đo không quá nhiều như các hệ công thức thiết kế bộ rập cơ sở của nước ngoài. Nghiên cứu [2], tác giả tạo được mẫu thiết kế có dạng sai hỏng xác định và mô phỏng được việc hiệu chỉnh mẫu thiết kế đó trên người mẫu ảo phục vụ việc giảng dạy môn học thiết kế mẫu sản phẩm may. Nghiên cứu đặc điểm vóc dáng ảnh hưởng đến thiết kế hệ số điều chỉnh rập áo cơ sở phụ nữ Việt Nam trên phần mềm V-Stitcher [3], kết quả nghiên cứu đã xác định được hệ số điều chỉnh rập áo cơ sở cho các vóc dáng khác nhau so với mẫu trung bình. Nghiên cứu liên quan đến thiết kế 3D [4], tác giả tạo các mẫu đầm lên khung xương để có được trang phục 3D, sau đó phủ các mẫu trang phục 3D (đầm, áo khoác) lên người mẫu ảo dưới các tư thế khác nhau để kiểm tra sự vừa vặn của trang phục, tuy nhiên mặt hạn chế là cần phải có mô hình người mẫu mới thể hiện được kiểu mẫu trang phục. Nghiên cứu mối quan hệ giữa tiêu chí phủ vải và tính chất cơ lý vải [5], tuy nhiên phương pháp này cũng có nhược điểm lớn đó là thực tế không có đầy đủ các kích cỡ cho đa dạng vóc dáng, cần có thiết bị và phần mềm chuyên dùng.

Hiện nay, nhiều doanh nghiệp thiết kế sản phẩm dựa trên hệ công thức may đo và làm theo kinh nghiệm sản xuất hoặc sử dụng công thức nước ngoài. Chính vì vậy, khi áp dụng các hệ công thức này cho dạng cơ thể người Việt Nam thì chưa đáp ứng được yêu cầu của người sử dụng về độ vừa vặn của sản phẩm. Trong may công nghiệp, mẫu cơ sở được coi như mẫu gốc để từ đó cho phép thiết kế ra các mẫu mới của chủng loại sản phẩm đó. Vì vậy, việc nghiên cứu hoàn thiện mẫu cơ sở áo, váy cho nữ thanh niên lứa tuổi 18 đến 24 dựa trên cơ sở khoa học về nhân trắc học, dựa trên quan hệ chặt chẽ giữa vóc dáng cơ thể người với hình dáng kích thước của mẫu cần được quan tâm và nghiên cứu.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu chọn đối tượng là nữ sinh viên Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp có độ tuổi từ 18 đến 24, cỡ số trung bình có chiều cao đứng 158 cm, vòng ngực 86 cm theo tiêu chuẩn TCVN 5782:2009 [6]. Kết quả đo kích thước cơ thể nữ sinh viên là cơ sở dựng hình thiết kế mẫu cơ sở áo và xây dựng mô hình Avatar phục vụ thử sửa mẫu trong phần mềm Clo3D.

Mẫu cơ sở: Được dựng hình thiết kế dựa trên hệ công thức của tác giả Armstrong [7], kiểu dáng của mẫu cơ sở áo có dạng nửa bó sát vì nó được sử dụng để phát triển mẫu mới sản phẩm áo sơ mi, váy liền thân, cổ áo ôm sát chân cổ, tay áo dài qua mắt cá tay, phần thân áo có chiết.

Lựa chọn vật liệu: Vải dệt thoi không co giãn, không bị ảnh hưởng bởi quá trình may, là nhiệt, vải có tính chất ổn định để may mẫu cơ sở sản phẩm áo nhẹ. Các thông số kỹ thuật của vải đã được xác định tại Phòng thí nghiệm Vật liệu Dệt May, Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Bảng 2.1. Đặc trưng của vải được sử dụng để may sử dụng trong nghiên cứu

TT	Các đặc trưng của vải	Thông số kỹ thuật
Tên thương mại: vải mộc		
1	Kiểu dệt	Vân điểm
2	Độ co dãn thấp	Gần như bằng 0
3	Thành phần	100% Polyester
4	Độ dày	0,205 mm
5	Khối lượng	215 g/m^2
6	Độ co nhiệt ẩm	Dọc: 0,8%; Ngang: 0,5%

Phần mềm sử dụng trong nghiên cứu: Phần mềm Gerber Accumark V10 hỗ trợ dựng hình các chi tiết của mẫu cơ sở; phần mềm Clo3D phiên bản 7.2 sử dụng mô phỏng sản phẩm hoàn chỉnh trên người mẫu ảo, kiểm tra và đánh giá chất lượng mẫu thiết kế.

2.2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

Đánh giá hình dạng bên ngoài và độ vừa vặn của mẫu áo với lượng dư cử động trên ½ vòng ngực thân áo là 1,5 cm, 2,0 cm và 2,5 cm.

2.2.1. Đánh giá hình dạng bên ngoài

Đánh giá độ cân bằng: Mặt trước, mặt sau, đầu vai, xương bả vai, đỉnh ngực, xương hông, bắp chân,… không bị lệch; Cân bằng theo chiều dọc: tương quan giữa độ dài của áo; Cân bằng theo chiều ngang; Độ rộng tương ứng của từng vòng: ngực, bắp tay.

Đánh giá thiết kế: Đường kết cấu, vị trí của mốc thiết kế với cơ thể; Đánh giá theo bề mặt sản phẩm: không xuất hiện các nếp vải không cần thiết so với mẫu thiết kế phẳng.

2.2.2. Đánh giá độ vừa vặn

Đánh giá mẫu ảo: Sử dụng biểu đồ ứng suất (Stress map), biểu đồ biến dạng (Strain map) và biểu đồ độ vừa vặn (Fit map) để đánh giá độ vừa vặn.

Đánh giá mẫu thực: Phiếu hỏi để đánh giá độ vừa vặn theo từng vùng cơ thể. Đánh giá chủ quan theo cảm nhận người mặc và đánh giá độ căng của vải, nếp vải tạo ra khi vận động, bề mặt tiếp xúc của vải lên cơ thể theo ý kiến chuyên gia.

Bảng 2.2. Các tiêu chí đánh giá chi tiết về hình dạng bên ngoài

TT	Vị Trí	Tiêu chí đánh giá
1	Phía trước	Gấu áo song song với mặt đất
2		Vùng cổ và vai áo êm, phẳng
3		Vùng ngực êm, phẳng (không có nếp nhăn từ đỉnh ngực đến vai, nách, gấu áo)
4		Vùng bụng êm, phẳng (không có nếp nhăn ngang từ nẹp ra sườn)
5		Đầu mang tay áo êm, phẳng (không có nếp nhăn đầu mang tay và gầm nách)
6	Phía sau	Gấu áo song song với mặt đất
7		Lưng áo êm phẳng (không có nếp nhăn ngang thắt lưng)
8		Nách áo êm, phẳng (không có nếp nhăn quanh nách)
9	Phía hông	Đường sườn vuông góc với mặt sàn
10		Đầu mang tay êm, phẳng (không có nếp nhăn dọc đầu mang tay)
11		Dáng tay cong tự nhiên theo dáng cơ thể (không lảng hoặc quắp)

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

2.2.3. Yêu cầu đối với mẫu mặc thử và hình ảnh mẫu thực dùng để đánh giá hình dạng bên ngoài và độ vừa vặn của trang phục

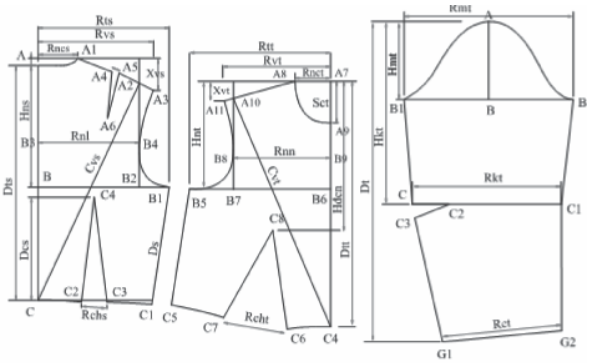
* Yêu cầu đối với mẫu ảo: Mẫu ảo được thiết lập đúng kích thước số đo người mẫu trong nghiên cứu. Thông số kĩ thuật của vải được đưa vào phần mềm nhằm mô phỏng đúng tính chất của vải được dùng để may chế thử mẫu cơ sở. Các mẫu ảo sẽ được đánh giá áp lực của quần áo lên cơ thể.

* Yêu cầu đối với mẫu thực: Nữ sinh viên độ tuổi từ 18 đến 24 tuổi, sức khỏe tốt và đã được hướng dẫn về cách thức tiến hành và thuộc tính của quần áo sử dụng trong đánh giá. Trong thời gian mặc không mặc các loại quần áo khác bó hoặc dày bên trong trừ đồ lót; Mặc liên tục trong thời gian đánh giá.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả thiết kế mẫu cơ sở

Dựa vào hệ công thức thiết kế của tác giả Armstrong và người mẫu cỡ số trung bình có chiều cao đứng 158 cm, vòng ngực 86 cm [6]. Nghiên cứu tiến hành dựng hình thiết kế mẫu cơ sở áo nhẹ gồm các chi tiết thân sau, thân trước, tay áo với lượng dư cử động ½ Vn lần lượt là 1,5, 2,0 và 2,5 cm như hình sau:

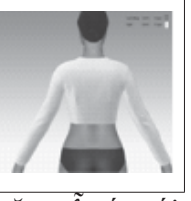


Hình 1. Bản vẽ thiết kế 2D mẫu cơ sở áo nhẹ

3.2. Kết quả may mẫu và đánh giá mẫu ảo trên phần mềm CLO3D

3.2.1. Đánh giá độ vừa vặn theo kích thước các vòng của sản phẩm

* Kiểm tra độ vừa vặn trên mẫu ảo (Fit Map)

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau
		

Hình 2. Hình ảnh thể hiện độ vừa vặn mẫu áo với dư cử động ½ Vn = 1,5 cm

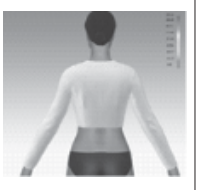
Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 3. Hình ảnh thể hiện độ vừa vặn với dư cử động ½ Vn = 2,0 cm

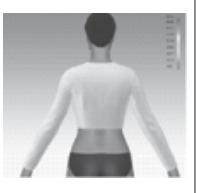
Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 4. Hình ảnh thể hiện độ vừa vặn với dư cử động ½ Vn = 2,5 cm

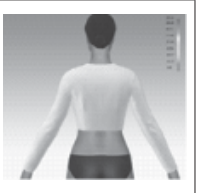
** Kiểm tra áp lực vải khi mặc lên mẫu ảo (Stress Map):* ☞

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau
		

Hình 5. Hình thể hiện áp lực vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 1,5 cm

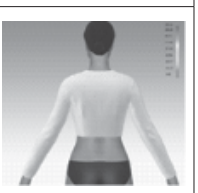
Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau
		

Hình 6. Hình thể hiện áp lực vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 2,0 cm

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau
		

Hình 7. Hình thể hiện áp lực vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 2,5 cm

* Kiểm tra độ giãn vải khi mặc lên mẫu ảo (Strain Map):

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau
		

Hình 8. Hình thể hiện độ giãn của vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 1,5 cm

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 9. Hình thể hiện độ giãn của vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 2,0 cm

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 10. Hình thể hiện độ giãn của vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn = 2,5 cm

Từ hình ảnh mẫu hiển thị dưới các chế độ Strain map, Stress map và Fit map trên ba mẫu áo với lượng dư cử động ½ Vn từ 1,5 đến 2,5 cm, ta thấy màu sắc hiển thị như sau:

Chế độ Fit map: Mẫu ảo giữ nguyên màu vải cho thấy sản phẩm mặc được không bị chật trên cả ba mẫu áo. Qua kết quả hiển thị trên các công cụ kiểm tra về độ Strain map, Stress map và Fit map trên phần mềm cho thấy các mẫu sản phẩm đều mặc được dù tại một số vị trí vải bị kéo căng.

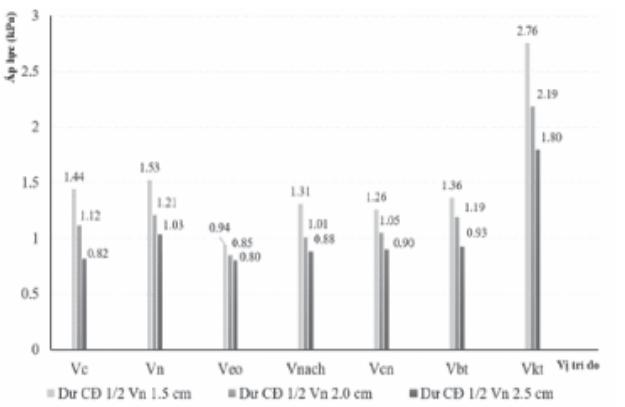
Chế độ Stress map: Mẫu hiển thị dưới nhiều màu sắc. Các vị trí gầm nách trước, nách sau, cổ áo, eo sau, khuỷu tay áo lưới màu xanh cho thấy tại các vị trí này áp lực của vải lên cơ thể lớn hơn các vùng khác cơ thể, giá trị áp lực trong khoảng 0,91 kPa đến 2,76 kPa. Các vị trí tay áo, ngực, bụng dưới, vai, lưới hiển thị màu xanh lục cho thấy tại các vị trí này chịu áp lực vải tác động lên trong khoảng 0 kPa đến

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

0,80 kPa. Giá trị áp lực của vải lên các vùng cơ thể đều nằm khoảng áp lực tiện nghi của trang phục [8, 9].

Chế độ Strain map: Mẫu hiển thị lưới màu đỏ mật độ nhiều tại cổ, ngực, ngang vai, tay áo, vòng bụng dưới, điều này cho thấy tại các vị trí này vải bị giãn nhiều nhất.

Kết quả đo áp lực tại các vị trí vòng cổ, vòng ngực, vòng eo, vòng nách, vòng chân ngực, vòng cánh tay trên, vòng khuỷu tay trong hình 11 cho thấy, những vị trí có áp lực lớn thì biến dạng dọc hoặc ngang sẽ cao. Như vậy, áp lực của vải lên cơ thể người có mối tương quan với độ biến dạng của vật liệu. Áp lực tiện nghi của vải lên các vùng cơ thể trong biểu đồ trên đều nằm trong phạm vi cho phép sau khi so sánh với áp lực tiện nghi lên các vùng cơ thể người mặc như vùng cổ từ 1,04 đến 1,4 Kpa; vùng ngực từ 1,3 đến 1,5 Kpa và bắp tay từ 1,19 đến 1,49 Kpa [8, 9]. Nhiều vị trí có độ biến dạng nhỏ hơn độ giãn đứt ở vị trí vòng ngực, vòng chân ngực, vòng eo, vòng cổ, vòng khuỷu tay (biến dạng ngang nhỏ hơn 0,8% và biến dạng dọc nhỏ hơn 0,4%), những khu vực này rộng nên không chịu tác động của cơ thể người lên vải.



Hình 11. Biểu đồ áp lực vải lên mẫu ảo với dư cử động ½ Vn từ 1,5 đến 2,5 cm

3.2.2. Mẫu may mặc thử trên người mẫu thật

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 12. Hình ảnh mẫu cơ sở áo nhẹ trên người mẫu thật với dư cử động ½ Vn = 1,5 cm

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 13. Hình ảnh mẫu cơ sở áo nhẹ trên người mẫu thật với dư cử động ½ Vn = 2,0 cm

Phía trước	Phía cạnh (hông)	Phía sau

Hình 14. Hình ảnh mẫu cơ sở áo nhẹ trên người mẫu thật với dư cử động ½ Vn = 2,5 cm

* Đánh giá theo phương pháp chủ quan dựa trên cảm nhận của người mặc theo 5 mức độ: ☞

Bảng 3.1. Các tiêu chí đánh giá độ rộng theo phương pháp chủ quan của người mặc

Mức độ	Rất rộng (5 điểm)	Rộng (4 điểm)	Vừa (3 điểm)	Chật (2 điểm)	Rất chật (1 điểm)
Cảm nhận	Gây vướng, cản trở hoạt động, tạo cảm giác rất khó chịu	Gây vướng khi hoạt động, tạo cảm giác khó chịu	Thoải mái	Ôm hoặc bó vào cơ thể làm hạn chế vận động, tạo cảm giác khó chịu	Ôm, bó rất chật vào cơ thể, gây đau hoặc khó thở và không thể thực hiện được vận động, tạo cảm giác rất khó chịu

Nghiên cứu chọn 5 người mẫu có cùng số vòng ngực mặc thử lần lượt từng mẫu áo và đưa ra đánh giá chủ quan của họ về độ vừa vặn của áo tại từng vị trí khi đứng yên và thực hiện một số tư thế vận động như: vung tay, ưỡn người về phía trước, hơi khom lưng, xoay người, khi hoạt động người mẫu cảm thấy hơi khó chịu ở đầu bắp tay, vị trí nách sau đối với mẫu áo có dư cử động ½ Vn = 1,5 cm. Còn các vị trí khác ở cả ba mẫu áo đều cảm thấy dễ chịu, không bị áo gây cản trở hoạt động. Đánh giá của người mẫu khi mặc áo dựa trên các tiêu chí như ở trong bảng 3.1 theo thang điểm từ 1 đến 5, tương ứng mức độ cảm nhận sự dễ chịu tại các khu vực cơ thể được tổng hợp trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Tổng hợp kết quả đánh giá người mẫu

STT	Vị trí đánh giá	Mẫu áo CĐ Vn/2 + 1,5	Mẫu áo CĐ Vn/2 + 2,0	Mẫu áo CĐ Vn/2 + 2,5
1	Cổ áo	15	15	15
2	Vai áo	15	15	17
3	Nách áo	13	15	17
4	Bắp tay	13	15	18
5	Ngực	12	15	18
6	Lưng	13	15	20
7	Eo	13	15	19
Tổng điểm		94	105	124

Kết quả trên bảng 3.2 cho thấy mẫu 1 đạt điểm thấp hơn hai mẫu còn lại, thứ tự vừa vặn theo kích thước vòng: mẫu áo có cử động ½ Vn = 2,5 cm => mẫu áo có cử động ½ Vn = 2,0 cm => mẫu áo có cử động ½ Vn = 1,5 cm. Đánh giá chi tiết về hình dạng bên ngoài mẫu ảo và mẫu thật theo ý kiến chuyên gia như trong bảng 2.2 cho kết quả như sau:

- Mẫu áo có lượng dư cử động 1,5 cm: Các ý kiến đánh giá ở mức 3 và 4 (vừa và chật), tại vị trí ngực có 3 ý kiến đánh giá mức 2 điểm (chật) và 2 ý kiến đánh giá mức 3 điểm (vừa);

- Mẫu áo có lượng dư cử động 2,0 cm: 100% ý kiến đánh giá ở mức 3 điểm (vừa);

- Mẫu áo có lượng dư cử động 2,5 cm:

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Các ý kiến đánh giá tập trung ở mức 2 và 3 (vừa và rộng), tại vị trí ngực có 2 ý kiến đánh giá mức 3 điểm (vừa) và 3 ý kiến đánh giá mức 4 điểm (rộng).

Như vậy, theo kết quả đánh giá độ vừa vặn từ hai phương pháp đánh giá chủ quan và phương pháp đánh giá chuyên gia cho thấy, mẫu áo có lượng dư cử động ½ Vn = 1,5 cm mức độ chật xuất hiện nhiều hơn so với hai mẫu còn lại, tập trung vào các vùng cơ thể: ngực, nách, bắp tay, gấu áo. Mẫu ½ Vn = 2,5 cm đánh giá rộng, phù hợp dáng áo mặc rộng, mẫu ½ Vn = 2,0 cm đảm bảo độ vừa vặn và hình dạng bên ngoài, phù hợp dùng làm mẫu cơ sở phát triển các sản phẩm áo váy, áo sơ mi mặc vừa sát cơ thể.

3.3. Hoàn thiện mẫu thiết kế

Từ những ý kiến đánh giá của 5 người mẫu, ý kiến đánh giá của nhóm 10 chuyên gia là các giảng viên Khoa Dệt may và Thời trang, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp và cán bộ kỹ thuật Công ty Thời trang Minh Vũ, kết hợp kết quả phân tích độ vừa vặn trên phần mềm Clo3D, nhóm nghiên cứu đã tiến hành điều chỉnh lại một số kích thước dựng hình như trong bảng 3.3. Sau khi hiệu chỉnh, mẫu thiết kế được thử sửa lại trên người mẫu ảo và người mẫu thật cho đến khi đạt kết quả mong muốn, kết quả điều chỉnh được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 3.3. Kích thước điều chỉnh kích thước dựng hình sau phân tích kết quả đánh giá cho mẫu áo có lượng dư cử động ½ Vn = 2,0 cm

TT	Dựng hình thiết kế	Ký hiệu	Công thức tính	Điều chỉnh hệ Δ số (cm) và phương pháp dựng hình	
				Gốc	Điều chỉnh
Thân sau					
1	Dài thân sau (Dts)	AC	= Dts + Δ	Δ = 0	0
2	Rộng thân sau (Rts)	BB1	= Vns + Δ	Δ = 1,5	Vn/4 + 1,2
3	Xác định vị trí Xv dựa vào chéo vai sau (Cvs)	CA_2	= Cvs + Δ	Δ = 0	Xác định vị trí A_2 dựa vào số đo xuôi vai (Xv)
4	Nách sau xác định dựa vào chiều dài sườn (Ds)	C_1B_1	= Ds + Δ	Δ = 0	Xác định B_1 dựa vào số đo sâu nách sau (Sns)
Thân trước					
5	Dài thân trước (Dtt)	B_5B_6	= Vnt + Δ	Δ = 0,3	Δ = 0,7
6	Rộng thân trước (Rtt)	BB_1	= Vns + Δ	Δ = 0,5	Vn/4 + 0,8
7	Xác định vị trí Xv dựa vào chéo vai sau (Cvt)	C_4A_{10}	= Cvt + Δ	Δ = 0	Xác định vị trí A_{10} dựa vào số đo xuôi vai (Xv)
Tay áo					
8	Hạ mang tay	AB	= Cmt + Δ	Δ = 0	Δ = -0,5
9	Rộng cửa tay	G_2G_1	= BB_1 - Δ	Δ = 2	Δ = 1

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình Avatar trong phần mềm Clo3D có đặc điểm hình dạng, kích thước phù hợp với cơ thể người mẫu. Việc tạo mẫu thiết kế với lượng dư cử động trên 1/2 vùng ngực cơ thể theo các mức 1,5 cm, 2,0 cm và 2,5 cm đã được tiến hành dựa trên hệ công thức của tác giả Armstrong. Nhóm nghiên cứu tiến hành đánh giá về hình dạng bên ngoài và độ vừa vặn của mẫu ảo đã được thực hiện thông qua biểu đồ ứng suất (Stress map), biểu đồ biến dạng (Strain map) và biểu đồ độ vừa vặn (Fit map). Đánh giá chủ quan dựa trên cảm nhận của người mặc và đánh giá độ căng của vải, nếp vải tạo ra khi vận động, cũng như bề mặt tiếp xúc của vải với cơ thể đã được thực hiện dựa trên ý kiến của các chuyên gia trên người mẫu thật. Kết quả thu được cho thấy rằng, mẫu cơ sở cho dáng áo vừa sát với lượng dư cử động 1/2 vòng ngực là 2,0 cm là phù hợp nhất với dáng áo mặc vừa sát. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đề xuất một số giải pháp tính kích thước dựng hình để đơn giản hóa quá trình lấy số đo kích thước trên cơ thể người mẫu mà không ảnh hưởng đến chất lượng của mẫu thiết kế. Mẫu cơ sở sau hoàn thiện được thử nghiệm trong quá trình giảng dạy cho sinh viên ngành công nghệ may tại Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp đạt yêu cầu và có thể sử dụng để phát triển các mẫu mới trong ngành công nghiệp may.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới các giảng viên Khoa Dệt may và Thời trang Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp và Công ty Thời trang Minh Vũ đã hỗ trợ để chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **22/3/2024**
Ngày phản biện: **17/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Thị Mộng Hiền, 2018; *Thiết lập hệ công thức thiết kế rập áo, váy cơ sở nữ Việt Nam theo phương pháp phủ mẫu trên mannequin.* Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, Số 50, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

[2]. Nguyễn Thị Nhung, Nguyễn Thị Thúy Ngọc, 2012; *Mô phỏng hiệu chỉnh sai hỏng thiết kế của quần áo bằng phần mềm V-Stitcher ứng dụng trong đào tạo về thiết kế mẫu.* Tạp chí Khoa học các trường đại học kỹ thuật.

[3]. Nguyễn Thị Mộng Hiền, 2016, *Nghiên cứu đặc điểm vóc dáng ảnh hưởng đến thiết kế hệ số điều chỉnh rập áo cơ sở Phụ nữ Việt Nam trên phần mềm 3D-VStitcher.* Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, Số 50, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

[4]. Jituo Li, Juntao Ye, Yangsheng Wang, Li Bai, Guodong Lu, 2010, *Fitting 3D garment models onto individual human model*. Elsevier Ltd, 34, pp.742-755.

[5]. Sungmin Kim, Chang Kyu Park, 2007, *Basic garment pattern generation using geometric modeling method*. International Journal of Clothing Science and Technology, 19, pp 7-17.

[6]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5782-2009; Phương pháp đo cơ thể.

[7]. Helen Armstrong, 2014, *Patternmaking for Fashion Design*. Pearson, Fith Edition.

[8]. V. E. K. Guo Mengna, 2013, *Pressure and comfort perception in the system "Female Body - Dress"*. Autex Research Journal, vol. 13, no. 3.

[9]. Zi-Min Jin1, Yu-Xiu Yan, Xiao-Ju Luo, Jian-Wei Tao, *A Study on the Dynamic Pressure Comfort of Tight Seamless Sportswear.* Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, JFBI Vol.1 No.3 2008, pp 217-224.

XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH QUAN HỆ GIỮA CÁC THÔNG SỐ GIA CÔNG VỚI SAI LỆCH HÌNH DẠNG PROFILE KHI GIA CÔNG BÁNH RĂNG CÔN RĂNG THẲNG TRÊN MÁY PHAY CNC 3 TRỤC

BUILDING A CORRELATION EQUATION BETWEEN MACHINING PARAMETERS WITH PROFILE FORM ERROR WHEN MACHINING THE STRAIGHT BEVEL GEAR ON 3-AXIS CNC MILLING MACHINE

Nguyễn Hồng Lĩnh, Nguyễn Trường Giang
Khoa Cơ khí và Động lực, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, phương pháp thực nghiệm để xây dựng phương trình quan hệ giữa các thông số công nghệ (tốc độ quay trục chính, vận tốc tiến dao và chiều sâu cắt dọc) với sai lệch hình dạng profile khi gia công bánh răng côn răng thẳng Z18m5 trên máy phay CNC 3 trục. Phương pháp ma trận trực giao được áp dụng để thiết kế bảng ma trận thực nghiệm Taguchi L32 và mô hình đáp ứng bề mặt (RSM) được sử dụng để xây dựng phương trình quan hệ. Từ phương trình tường minh đã thu được, các thông số công nghệ được lựa chọn phù hợp để gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục với sai lệch hình dạng profile nhỏ nhất.

Từ khóa: *Tối ưu hóa; Sai lệch profile; Bánh răng côn răng thẳng.*

ABSTRACT

In this paper, an experimental method was used to build the correlation equation between technology parameters (Spindle speed, feed, deep of cut) with profile form error when machining the straight bevel gears Z18m5 on a 3 axis CNC milling machine. The orthogonal matrix method was applied to design the Taguchi L32 experimental matrix table and the response surface methodology (RSM) was used to build the correlation equation. From the obtained explicit equation, the technological parameters were predicted appropriately to machine the straight bevel gear on 3-axis CNC milling machine with minimum profile form error.

Keywords: *Optimization; Profile form error; Straight bevel gear.*

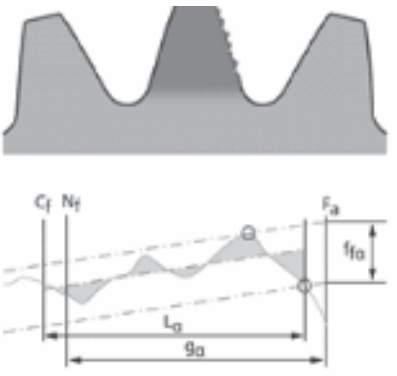
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất của quá trình chế tạo bánh răng là đảm bảo được độ chính xác về hình dạng của sản phẩm mà không xuất hiện các sai lệch về hình dạng, kích thước, vị trí. Tuy nhiên, khi gia công các bộ truyền bánh răng có biên dạng thân khai rất dễ xuất hiện sai lệch hình dạng profile răng. Sự xuất hiện sai lệch này ảnh hưởng lớn tới khả năng ăn khớp và độ ồn làm việc của bộ truyền bánh răng. Để hạn chế sự ảnh hưởng của vấn đề trên, chúng ta cần thiết lập được chế độ gia công hợp lý khi gia công bánh răng thân khai trên máy phay CNC [1÷3].

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Sai số hình dạng profile răng

Đây là dạng sai lệch về hình dạng của profile răng theo lý thuyết với profile răng đo được sau gia công mà không xét đến sự sai lệch về góc. Giá trị sai số này được xác định bằng khoảng cách giữa hai đường song tiếp giá đỉnh và đáy trong chiều dài kiểm tra. Dạng sai số này phản ánh về chất lượng của dụng cụ cũng như chế độ cắt. Khi sử dụng thông số này để đánh giá, chúng ta nên sử dụng thông số trung bình để triệt tiêu độ nhạy và các điểm bất thường trong các kết quả đo [4].

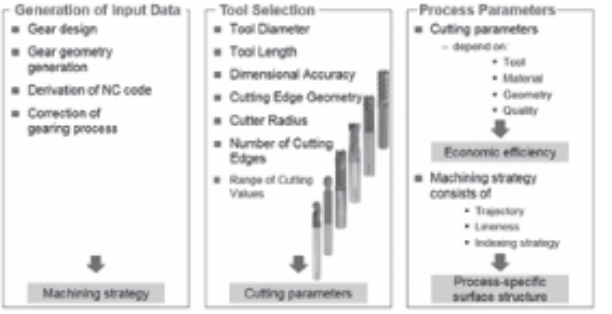


Hình 1. Sai số hình dạng profile

2.2. Phương pháp gia công bánh răng trên máy phay CNC

Theo tiêu chuẩn DIN 8589-3 thì quy trình chế tạo bánh răng trên máy CNC về cơ bản là tương đương với tổng hợp của hai quy trình [5]:

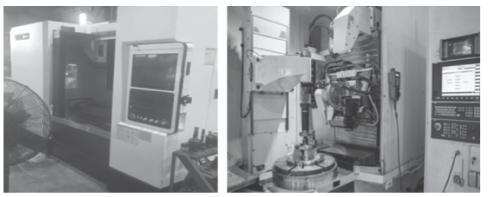
- Chế tạo khuôn mẫu: Tương đồng về vật liệu, độ cứng, cấp chính xác gia công.
- Chế tạo cánh quạt: Tương đồng về hình dáng hình học.



Hình 2. Quy trình gia công bánh răng trên máy phay CNC

2.3. Thiết bị, dụng cụ và đối tượng gia công

Trong nghiên cứu này, máy gia công được sử dụng để thực hiện cho tất cả các thí nghiệm là máy phay CNC 3 trục SUPER TORNADO HCMC-11000 của hãng Harford và máy kiểm tra sai lệch hình dạng profile răng là máy ZE800 của hãng NILES, tại Công ty Cổ phần Cơ khí Hồng Lĩnh. Đối tượng gia công là bộ bánh răng côn răng thẳng Z18 – Z18 m5 vật liệu thép C45, dụng cụ gia công là dao phay R2 GSBNH202003506 của hãng NACHI.



Hình 3. Máy gia công và máy kiểm tra sai lệch

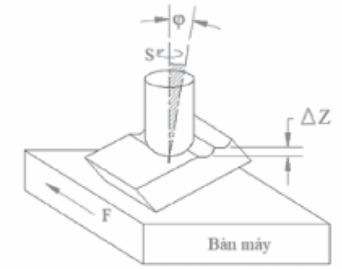
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

2.4. Thiết kế thí nghiệm

Với chế độ gia công (hướng chéo profile, chiều sâu cắt không đổi, chế độ cắt thuận) và khuyến cáo của các nhà sản xuất máy phay và dụng cụ cắt, miền nghiên cứu và cấp độ thực nghiệm của các thông số công nghệ được lựa chọn như trong bảng 1.

Bảng 1. Các yếu tố đầu vào

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Cấp độ			
				1	2	3	4
1	Chiều sâu cắt dọc	ap	mm	0,05	0,1	0,15	0,2
2	Vận tốc tiến dao	F	mm/phút	550	1100	1650	2200
3	Tốc độ quay trục chính	S	Vòng/phút	6000	8000	10000	-

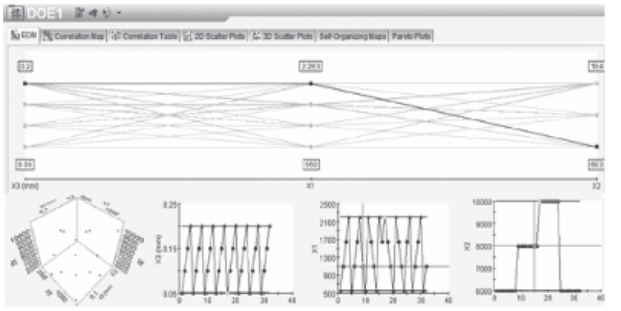


Hình 4. Mô tả các yếu tố đầu vào thực nghiệm

Để hạn chế số lượng thí nghiệm trong khi vẫn đảm bảo được mức thông tin phản hồi mà không làm mất tính tổng quan của kết quả, tác giả sử dụng phương pháp quy hoạch ma trận trực giao để thiết kế thí nghiệm. Khi đó, hạng của ma trận được xác định bởi công thức (Trong đó: k là số biến đầu vào):

$$n > \frac{(k+1).(k+2)}{2} = \frac{4.5}{2} = 10 \qquad (1)$$

Với n > 10, tác giả lựa chọn ma trận làm thí nghiệm là ma trận Taguchi L32 với quan hệ các biến như trên hình 2 (Trong đó: X1 là chiều sâu cắt dọc, X2 là vận tốc tiến dao và X3 là tốc độ quay trục chính).



Hình 5. Quan hệ các biến đầu vào.

Từ mối quan hệ thực nghiệm đã được xây dựng, tiến hành gia công ở các chế độ được thiết lập, đo kiểm sai lệch hình dạng profile răng và thu được ma trận thực nghiệm như trong bảng 2 (Để đảm bảo độ chính xác của kết quả thử nghiệm, mỗi một thử nghiệm sẽ được thực hiện lặp lại ba lần và lấy giá trị trung bình của ba lần đo). ☞

Bảng 2. Ma trận thực nghiệm

Counter	Input			Output	Counter	Input			Output
	ap (mm)	F (mm/p)	S (v/p)	Ffa (mm)		ap (mm)	F (mm/p)	S (v/p)	Ffa (mm)
DOE 1	0,05	550	6000	4,1	DOE 17	0,05	2200	10000	2,8
DOE 2	0,10	1100	6000	5,0	DOE 18	0,10	1650	10000	4,1
DOE 3	0,15	1650	6000	5,3	DOE 19	0,15	1100	10000	4,5
DOE 4	0,20	2200	6000	6,1	DOE 20	0,20	550	10000	4,5
DOE 5	0,05	550	6000	3,7	DOE 21	0,05	2200	10000	3,2
DOE 6	0,10	1100	6000	4,6	DOE 22	0,10	1650	10000	4,2
DOE 7	0,15	1650	6000	5,6	DOE 23	0,15	1100	10000	4,4
DOE 8	0,20	2200	6000	6,1	DOE 24	0,20	550	10000	4,6
DOE 9	0,05	1100	8000	3,8	DOE 25	0,05	1650	6000	4,0
DOE 10	0,10	550	8000	4,2	DOE 26	0,10	2200	6000	5,2
DOE 11	0,15	2200	8000	4,6	DOE 27	0,15	550	6000	5,0
DOE 12	0,20	1650	8000	4,8	DOE 28	0,20	1100	6000	5,3
DOE 13	0,05	1100	8000	3,7	DOE 29	0,05	1650	6000	3,9
DOE 14	0,10	550	8000	4,0	DOE 30	0,10	2200	6000	5,0
DOE 15	0,15	2200	8000	4,5	DOE 31	0,15	550	6000	5,1
DOE 16	0,20	1650	8000	5,3	DOE 32	0,20	1100	6000	5,5

3. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY

Sử dụng phần mềm SIMULIA ISIGHT [6] để xử lý dữ liệu 32 điểm thí nghiệm trong bảng 2 với mô hình đáp ứng bề mặt bậc 2, ta có phương trình quan hệ giữa các thông số công nghệ gia công (ap, F, S) với sai lệch profile răng (Ffa) như sau:

$$Ffa = 5{,}8318 + 24{,}7141.X_1 + 0.0013.X_2 - 0{,}0009.X_3 + 48{,}7500.X_1^2 - 1{,}3430.10^{-7}.X_2^2 + 6{,}5430.10^{-8}.X_3^2 + 0{,}0035.X_1.X_2 - 0{,}0011.X_1.X_3 - 1.6552.10^{-7}.X_3.X_2 \quad (2)$$

Độ tin cậy của phương trình hồi quy (2) được kiểm nghiệm thông qua các tiêu chí như trong bảng 3.

Bảng 3. Hệ số đánh giá độ tin cậy mô hình.

TT	Thông số đánh giá	Giá trị cho phép	Chỉ số phương trình	Kết quả
1	Sai số tuyệt đối trung bình	≤ 0,2	0,06	Đạt
2	Sai số cực đại	≤ 0,3	0,17	Đạt
3	Sai số căn bậc 2 trung bình	≤ 0,2	0,07	Đạt
4	Hệ số xác định	≥ 0,9	0,91	Đạt

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Hình 6. Đồ thị quan hệ giữa thông số

Sử dụng phương trình hồi quy (2) để dự đoán sai lệch hình dạng profile răng ở chế độ chế độ gia công (S = 7500 v/p, F = 800 mm/p và ap = 0.075 mm) cho ta kết quả Ffa = 4.03 µm. Để đánh giá độ tin cậy của của kết quả, tác giả đã tiến hành gia công thử theo bộ thông số đã được gợi ý và thu được kết quả thực sai lệch với thông số tính toán là 6.58%. Sai số này là sai số chấp nhận được.

4. KẾT LUẬN

Với kết quả đã đạt được, chúng ta có thể khẳng định việc gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục để thay thế cho các phương pháp gia công truyền thống là khả thi. Ngoài ra, từ phương trình tường minh đã thu được, các thông số công nghệ được lựa chọn phù hợp để gia công bánh răng côn răng thẳng trên máy phay CNC 3 trục với sai lệch hình dạng profile nhỏ nhất.❖

Ngày nhận bài: **15/4/2024**
Ngày phản biện: **27/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Kazumasa Kawasaki, Kazuyoshi Shinma, *Accuracy measurement and evaluation of straight bevel gear manufactured by end mill using CNC milling machine* (2009), ASME J. Manuf.

[2]. Cihan Ozel, Ali Nan, Latif Ozler, *An investigation on manufacturing of the straight bevel gear using end mill by CNC milling machine* (2005), ASME 127 503-511, Journal of Manufacturing Science and Engineering.

[3]. Fador L.Litvin, Alfonso Fuentes, *Gear geometry and applied theory* (2004), Cambridge University Press.

[4]. The Gleason Works, *Bevel gear development and testing procedure* (1986), Gear technology.

[5]. F. Klocke, M. Brumm, J. Staudt, *Quality and surface of gears manufactured by free form milling with standard tools* (2014), International Gear Conference, Lyon – France.

[6]. Rajashekar Reddy Kallem, *FEA analysis and automated design optimization using SIMULIA Abaqus and Isight* (2010), California State University, Sacramento.

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ĐÁP ỨNG CỦA VÒI PHUN COMMONRAIL KIỂU ĐIỆN TỪ CRI2.2 KHI ÁP DỤNG KỸ THUẬT PHUN CHÍNH HAI GIAI ĐOẠN

EVALUATING THE RESPONSIVENESS OF THE SOLENOID-TYPE COMMON RAIL INJECTOR CRI2.2 WHEN APPLYING THE TWO-STAGE MAIN INJECTION TECHNIQUE

Nguyễn Hoàng Vũ[1, *], Nguyễn Xuân Đạt[2]
[1]Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn
[2]Trường Đại học Trần Quốc Tuấn

TÓM TẮT

Kỹ thuật phun chính hai giai đoạn (PC2GĐ) là một trong những kỹ thuật phun hiện đại đang được quan tâm nghiên cứu. Việc sử dụng kỹ thuật phun này, phụ thuộc trước hết vào khả năng đáp ứng của vòi phun (khả năng thực hiện được nhiều lần phun trong giai đoạn phun chính với thời gian dừng giữa các lần phun là nhỏ). Vòi phun Commonrail (CR) kiểu điện từ (CRI2.2) được dùng trên động cơ diesel Hyundai 2.5 TCI-A (4 kỳ, 4 xi-lanh, sử dụng hệ thống phun nhiên liệu kiểu CR, chưa áp dụng kỹ thuật PC2GĐ). Bài báo này nghiên cứu khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 khi sử dụng kỹ thuật PC2GĐ dựa vào kết quả đo thực nghiệm quy luật cung cấp nhiên liệu (QLCCNL) cho vòi phun này trên bệ thử UniPg STS tại Phòng thí nghiệm SprayLab, Khoa Kỹ thuật, Đại học Perugia, Italia. Kết quả nghiên cứu cho thấy, vòi phun CRI2.2 đủ điều kiện để áp dụng kỹ thuật PC2GĐ trong vùng tốc độ cao (3500 vg/ph) và tải cao (100% tải) của động cơ, với lượng phun cho một chu trình công tác (CTCT) là tương đương khi dùng trên động cơ nguyên thủy.

Từ khóa: *Vòi phun Commonrail kiểu điện từ; Phun chính hai giai đoạn; Thời gian dừng.*

ABSTRACT

The Two-stage Main Injection (MI-2) technique has garnered significant interest in recent years. Its application relies heavily on the nozzle's capability to perform two injections during the main injection phase, with very minimal dwell time between injections. The solenoid-type Commonrail (CR) injector (CRI2.2) is utilized in the Hyundai D4CB 2.5 TCI-A diesel engine, which is a 4-stroke, 4-cylinder engine employing a CR injection system but not yet incorporating the MI-2 technique. This study focuses on assessing the response capability of the CRI2.2 injector when employing the MI-2 technique, based on experimental data regarding fuel delivery characteristics on the UniPg STS test bench at the SprayLab, Faculty of Engineering, University of Perugia, Italy. The research findings demonstrate that the CRI2.2 injector can perform well when applying the MI-2 technique at high engine speeds and 100% load, with the amount of fuel injected per working cycle equivalent to that of the original engine setup.

Keywords: *Commonrail solenoid injector; Splits main-injection; Dwell time.*

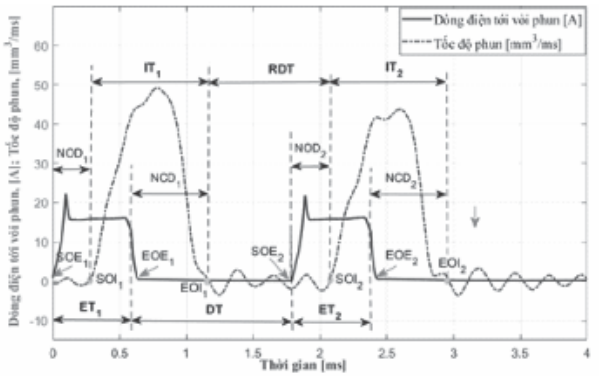
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) diesel kiểu CR, vòi phun cho phép cấp nhiên liệu vào xi-lanh với độ chính xác cao, linh hoạt theo chế độ vận hành mà không phụ thuộc vào tốc độ động cơ, [1], [2], [3], từ đó cho phép ứng dụng các kỹ thuật phun (KTP) tiên tiến. Hiện nay, KTP nhiều giai đoạn được áp dụng rộng rãi trên động cơ diesel hiện đại do có khả năng giảm ô nhiễm khí thải, giảm tiếng ồn, cải thiện hiệu suất làm việc của động cơ, [4], [5]. Ngoài kỹ thuật phun mồi (Pilot injection, 1 đến 2 lần) trước giai đoạn phun chính (Main Injection – MI), phun bổ sung sau giai đoạn phun chính (Post Injection, 1 đến 2 lần), đã khá phổ cập với HTPNL kiểu CR, một số nghiên cứu gần đây [4], [6], [7], [8] đã đánh giá khả năng, lợi ích của việc tách giai đoạn phun chính (Main Injection) thành hai lần phun sát nhau (PC2GĐ), với kết quả đạt được là khả quan xét về tiêu chí giảm ô nhiễm PM và tiếng ồn cháy, cải thiện mức tiêu thụ nhiên liệu.

Có hai loại vòi phun đang được sử dụng phổ biến trong HTPNL diesel kiểu CR là vòi phun kiểu áp điện (piezo) và vòi phun kiểu điện từ (solenoid), trong đó, vòi phun CR kiểu điện từ được sử dụng phổ biến trên các động cơ diesel điều khiển điện tử, [9], [10], [13]. Khi động cơ làm việc, ECU sẽ gửi tín hiệu xung điện để điều khiển sự đóng, mở vòi phun theo yêu cầu của KTP. Khoảng thời gian từ lúc bắt đầu cấp điện đến khi ngắt điện của ECU, được gọi là thời gian cấp điện ET (Energizing Time). Khoảng thời gian từ lúc nhiên liệu bắt đầu được phun ra đến khi kết thúc phun của lần phun tương ứng được gọi là thời gian phun IT (Injection time). Khi vòi phun nhận được tín hiệu điện, nhiên liệu chưa được phun ra ngay mà nó có một độ trễ nhất định, độ trễ này được gọi là độ trễ mở của vòi phun NOD (Nozzle opening delay), được tính từ khi ECU cấp điện cho vòi phun đến khi nhiên liệu bắt đầu được phun ra từ lỗ phun. Tương tự, khi ngắt dòng điện điều khiển vòi phun, nhiên liệu cũng không dừng phun ngay mà có một độ trễ nhất định, được gọi là độ trễ đóng của vòi phun NCD (Nozzle closing delay). NOD chịu ảnh hưởng bởi đặc tính điện từ của cuộn cảm, thông số kết cấu của vòi phun, trong khi NCD phụ thuộc vào đặc tính động lực của vòi phun, [3, 10, 11]. Do đó, NOD có giá trị không đổi trong các chế độ khảo sát còn NCD thay đổi phụ thuộc vào thời gian cấp điện ET (Energizing Time), áp suất phun (prail) và NCD thường lớn hơn NOD. Mối quan hệ giữa thời gian phun IT (Injection Time) và ET, NOD, NCD được xác định theo công thức: IT = ET + NCD – NOD.

Đối với vòi phun CR kiểu điện từ, khi áp dụng KTP nhiều giai đoạn cần phải quan tâm nhiều hơn đến NOD và NCD của vòi phun, [3], [11]. Khi tốc độ động cơ càng cao thì thời gian phun tính theo thời gian thực càng ngắn, do đó, việc áp dụng KTP nhiều giai đoạn sẽ khó khăn và phụ thuộc nhiều vào khả năng đáp ứng của vòi phun. Khi xét với kỹ thuật PC2GĐ, khả năng đáp ứng của vòi phun có thể hiểu là thời gian dừng nhỏ nhất giữa hai xung điện điều khiển có thể đạt được của vòi phun, sao cho hai đường diễn biến tốc độ phun không chồng lấn nhau [10]. Hiện tượng chồng lấn nhau xảy ra khi kim phun chưa hạ xuống hết trong lần phun thứ nhất thì đã tiếp tục bị nâng lên trong lần phun thứ hai. Hiện tượng này ảnh hưởng xấu đến QLCCNL (lượng phun và tổng thời gian phun). Đặc trưng về kỹ thuật PC2GĐ được thể hiện trên Hình 1, trong đó: SOE – Thời điểm bắt đầu cấp điện (Start Of Energizing); ET – Thời gian cấp điện; DT – Thời gian dừng giữa hai lần cấp điện (Dwell Time); SOI – Thời điểm bắt đầu phun (Start of injection); IT – Thời gian phun; RDT – Thời gian dừng giữa hai lần phun (Realized Dwell Time); Các chỉ số 1 tương ứng với lần phun chính thứ nhất, chỉ số 2 tương ứng với lần phun chính thứ hai.

☞

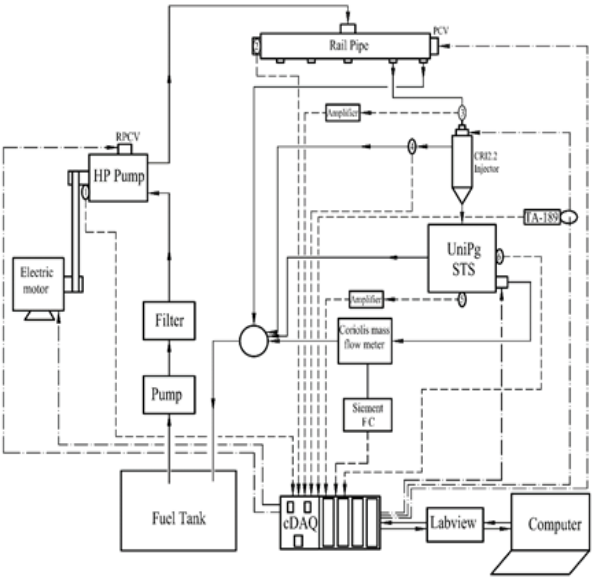


Hình 1. Đặc trưng của kỹ thuật phun chính hai giai đoạn, [12]

Vòi phun CRI2.2 sử dụng trên động cơ D4CB 2.5 TCI-A (xe Huyndai Starex 2018) là vòi phun kiểu điện từ, 8 lỗ phun, áp suất phun lớn nhất là 1600 bar, có khả năng thực hiện tối đa 5 lần phun trong một CTCT (bao gồm hai lần phun mồi, một lần phun chính, một lần phun muộn và một lần phun bổ sung) với thời gian dừng tối thiểu giữa hai lần cấp điện DT_{min} là 0,8 ms, [13]. Động cơ D4CB 2.5 TCI-A nguyên thủy chưa áp dụng kỹ thuật PC2GĐ, [13], do đó khi muốn chuyển sang áp dụng kỹ thuật PC2GĐ cần phải đánh giá khả năng đáp ứng của vòi phun. Bài báo trình bày kết quả đánh giá khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2, khi sử dụng kỹ thuật PC2GĐ dựa trên kết quả đo thực nghiệm trên bệ thử UniPg-STS, [3], tại Phòng thí nghiệm SprayLab, Khoa Kỹ thuật, Đại học Perugia, Italia; tại chế độ tải cao (100% tải) và tốc độ cao (n = 3500 vg/ph).

2. TRANG THIẾT BỊ VÀ CHẾ ĐỘ THỬ NGHIỆM

Thử nghiệm đánh giá khả năng đáp ứng kỹ thuật PC2GĐ của vòi phun CRI2.2 được tiến hành trên bệ thử UniPg-STS với sơ đồ bố trí trang thiết bị như trên Hình 2. Diễn biến tốc độ phun của vòi phun được xác định theo phương pháp Zeuch, [1], [3]. Trong đó, lưu lượng thể tích phun được đo thông qua việc xác định sự gia tăng áp suất gây ra bởi mỗi lần phun trong một thể tích kín. Sự gia tăng áp suất phun (Δp) trong buồng đo tỷ lệ thuận với thể tích phun nhiên liệu phun (ΔV) và chúng được dùng để tính toán xác định tốc độ phun IR (Injection Rate) theo thể tích. Nguyên lý hoạt động, thông số kỹ thuật của thiết bị thử nghiệm có thể tham khảo tại các công trình khoa học đã công bố, [1], [3], [10], [12], [14].



Hình 2. Trang thiết bị thực nghiệm đánh giá khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 khi áp dụng kỹ thuật PC2GĐ, [1, 3, 14]:
HP Pump – Bơm cao áp; Fuel Tank – Thùng nhiên liệu; CRI2.2 – Vòi phun CRI.2.2; UniPg-STS – Thiết bị nghiên cứu vòi phun CR theo phương pháp Zeuch; Coriolit Mass Flow Meter – Cảm biến lưu lượng khối lượng chất lỏng (nhiên liệu); Siement FC – Thiết bị chuyển đổi tín hiệu; cDAQ – Bộ thu thập, phân tích, xử lý tín hiệu và điều khiển; Labview – Phần mềm điều khiển được viết trong Labview; RPCV – Van điều chỉnh lưu lượng; PCV – Van điều chỉnh áp suất; Amplifier – Bộ khuếch đại tín hiệu; 1 – Encoder; 2,3,5 – Cảm biến áp suất; 4 – Cảm biến nhiệt độ và áp suất nhiên liệu hồi; 6 – Cảm biến nhiệt độ; TA189 – Ampe kìm.

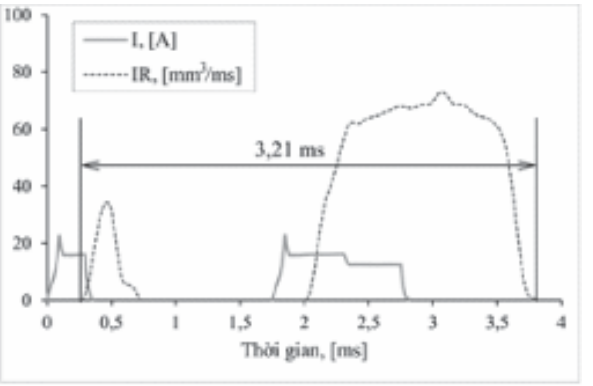
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Từ dữ liệu thực nghiệm đo quy luật xung điện điều khiển vòi phun của động cơ D4CB 2.5 TCI-A ở các chế độ vận hành theo góc quay trục khuỷu (GQTK), được xác định trên bệ thử động cơ, [13], [15], [16], khi chuyển đổi thành dữ liệu phun theo thời gian thực (ms), ta thu được kết quả như trong Bảng 1. Kết hợp với kết quả thực nghiệm đo đặc tính vòi phun CRI2.2 trên bệ thử UniPgSTS, ta xác định được thời gian cấp nhiên liệu lớn nhất có thể ở vùng tải cao, tốc độ cao của động cơ D4CB 2.5 TCI-A. Trên cơ sở đó, tiến hành khảo sát khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 ứng với bộ số liệu (về lượng phun, V_o, mm^3; áp suất phun, p_{Rail}, bar) của động cơ D4CB 2.5 TCI-A ở chế độ 100% tải và tốc độ n = 3500 vg/ph.

Bảng 1. Quy luật xung điện điều khiển vòi phun ở chế độ 100% tải và tốc độ cao, [13]

n, vg/ph	p_{rail}, bar	V_0, mm^3	SOI, (ET), °GQTK			SOI, (ET), ms		
			Pilot $_1$	Pilot $_1$	MI	Pilot $_1$	Pilot $_1$	MI
2500	1500	97,2	-52,0 (4,2)	-29,5 (4,2)	-7,0 (14,9)	0 (0,28)	1,5 (0,28)	3 (0,99)
3000	1600	93,3		-43,0 (5,3)	-11,5 (17,6)		0 (0,29)	1,75 (0,98)
3500	1600	83,8			-15,0 (20,0)			0 (0,95)

Kết quả đo thời gian cấp nhiên liệu của vòi phun CRI2.2, trên bệ thử UniPg STS, ứng với độ rộng xung điện điều khiển vòi phun khi động cơ vận hành ở chế độ 100% tải, n = 3000 vg/ph được trình bày trên Hình 3 (I là cường độ dòng điều khiển vòi phun, A). Ta thấy, thời gian cấp nhiên liệu (tính từ thời điểm bắt đầu phun mồi đến khi kết thúc giai đoạn phun chính) là 3,21 ms, tương ứng với 67,5°GQTK.



Hình 3. Thời gian cấp nhiên liệu (theo thời gian thực) ở 100% tải, n = 3000 vg/ph, [13]

Tổng hợp kết quả đã công bố về chế độ phun trong một số công trình nghiên cứu, [8], [17], [18], [19] về kỹ thuật PC2GĐ, ứng với các chế độ phun khác nhau (thể hiện qua tỷ lệ % thể tích nhiên liệu giữa hai lần phun chính: 50/50, 75/25, 70/30) được trình bày trong Bảng 2. ☞

Bảng 2. Tổng hợp kết quả đã công bố về chế độ phun khi dùng kỹ thuật PC2GĐ, [8], [17], [18], [19]

Công trình nghiên cứu	Tỷ lệ phun	Chế độ phun °GQTK				Thời gian cấp nhiên liệu, °GQTK
		Thể tích phun, mm^3	SOI_1, °GQTK	SOI_2, °GQTK	RDT, °GQTK	
Công trình [17]	50/50	-	-23	0; 3; 6	-	58 ÷ 64
Công trình [18]	50/50	12,5	-30 ÷ -51	-15	-	49 ÷ 70
Công trình [8]	75/25	-	-12	15 ÷40	5÷ 30	41 ÷ 66
Công trình [19]	50/50; 70/30	80	-9	12 ÷27	-	45 ÷ 60

Bảng 3. Chế độ thực nghiệm đánh giá khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 khi PC2GĐ

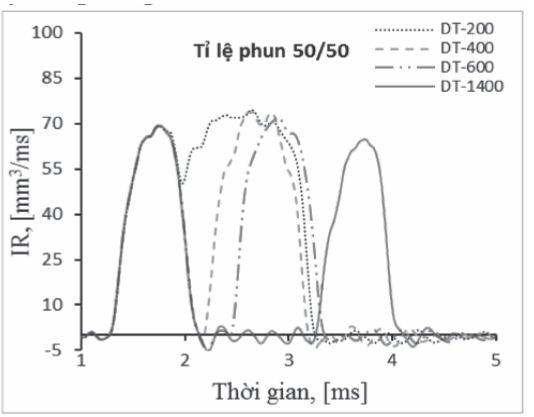
Chế độ khảo sát (tỷ lệ thể tích phun)	Thể tích phun V_0, mm^3	Thể tích phun tính toán V_1/V_2, mm^3	Theo thời gian cấp điện tính toán ET_1/ ET_2, ms	DT, [ms]
30/70	83,8	25,1 / 58,7	0,51 / 0,80	9 bước (0,2 ÷ 1,8)
50/50	83,8	41,9 / 41,9	0,66 / 0,66	
70/30	83,8	58,7 / 25,1	0,80 / 0,51	

Theo dữ liệu trong Bảng 2, các công trình nghiên cứu về PC2GĐ đều có thời gian cấp nhiên liệu lớn nhất trong khoảng từ 60 ÷ 70°GQTK, giá trị này cũng tương đồng với thời gian cấp nhiên liệu của động cơ D4CB 2.5 TCI-A khi phun hai giai đoạn (phun mồi và phun chính) là 67,5°GQTK. Do đó, trong bài báo, khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 được khảo sát trong thời gian cấp nhiên liệu là 67,5°GQTK, tại n = 3500 vg/ph, với tổng lượng phun V_0 = 83,8 mm^3, p_{rail} = 1600 bar (tương ứng với thời gian cấp nhiên liệu theo thời gian thực là 3,21 ms). Do ảnh hưởng của hiện tượng dao động và truyền sóng áp suất, diễn biến quá trình phun lần phun 2 sẽ chịu sự tác động của quá trình phun thứ nhất. Vì vậy, để đánh giá đầy đủ khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 khi PC2GĐ, ba chế độ khảo sát được lựa chọn, tương ứng với tỷ lệ thể tích phun V_1/V_2 (với $V_1 + V_2 = V_0$) lần lượt là 50/50; 70/30 và 30/70 (Bảng 3).

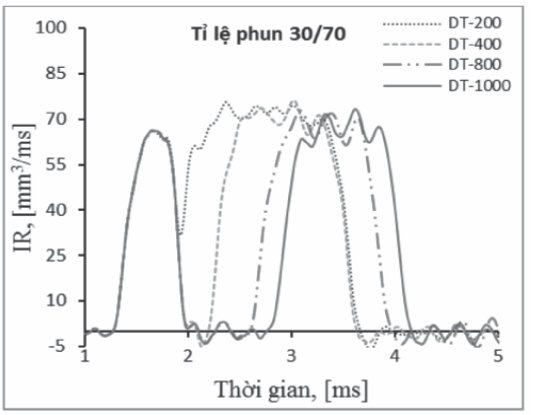
3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Kết quả so sánh, đánh giá ảnh hưởng của DT (ứng với các giá trị 200, 400, 600, 1200 ms) đến diễn biến tốc độ phun IR khi áp dụng PC2GĐ được thể hiện trên Hình 4. Hình 4 chỉ biểu diễn 04 đường diễn biến tốc độ phun IR, đại diện cho các trường hợp: khi IR chồng lấn, khi IR vừa tách biệt, khi IR trong khoảng và khi IR ở sát giới hạn phạm vi cung cấp nhiên liệu. Hình 4a cho thấy, với tỉ lệ phun 50/50, hai đường diễn biến tốc độ phun IR tách biệt hoàn toàn khi DT ≥ 0,4 ms và có sự chồng lấn lên nhau khi DT < 0,4 ms, do đó với chế độ này có thể coi DT_{min} = 0,4ms. Giãn cách lớn nhất giữa hai lần phun có thể đạt được là 3,21 ms ứng với DT = 1,4 ms, do đó với chế độ này có thể coi DT_{max} = 1,4 ms. Với tỉ lệ phun 30/70 (Hình 4b), tương tự ta có DT_{min} = 0,4 ms và DT_{max} =

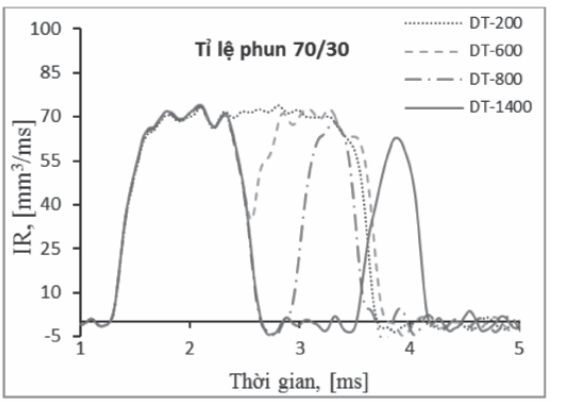
1,0 ms. Với tỉ lệ 70/30 (Hình 4c), các giá trị tương ứng là DT_{min} = 0,8 ms và DT_{max} = 1,4 ms. Kết quả khảo sát với ba chế độ cho thấy, trong giới hạn thời gian cấp nhiên liệu là 3,21 ms (so với giá trị DT tối thiểu của vòi phun CRI2.2 theo hãng sản xuất là 0,8 ms) thì giá trị DT_{min} (để đảm bảo hai đường IR không chồng lấn lên nhau) đều nhỏ hơn 0,8 ms và DT_{max} đạt được đều lớn hơn 0,8 ms. Điều này chứng tỏ vòi phun CRI2.2 có thể thực hiện được kỹ thuật PC2GĐ, với thời gian dừng nhất định, đối với vùng tải cao, tốc độ cao của động cơ D4CB 2.5 TCI-A. Tổng hợp kết quả so sánh thể tích phun tính toán (từ giá trị ET) và đo thực nghiệm (trên bệ thử UniPg-STS) khi áp dụng PC2GĐ với ba chế độ khảo sát được trình bày trong Bảng 4.



a)



b)



c)

Hình 4. Khả năng đáp ứng của vòi phun CRI2.2 với kỹ thuật PC2GĐ tại chế độ 100% tải, n = 3500 vg/ph, ứng với các tỷ lệ phun khảo sát là 50/50, 30/70 và 70/30

Theo dữ liệu trên Hình 4, trong phạm vi từ DT_{min} đến DT_{max}, đường diễn biến IR lần phun 2 có xu hướng dao động, vì vậy ảnh hưởng đến thể tích phun lần 2. Do đó, tổng thể tích phun thực nghiệm thu được khi dùng kỹ thuật PC2GĐ sẽ dao động xung quanh giá trị tổng thể tích phun tính toán ban đầu (V_0 = 83,8 mm^3). Do vậy, khi thực hiện kỹ thuật PC2GĐ, cần lựa chọn giá trị DT nằm trong phạm vi thời gian cấp nhiên liệu phù hợp của động cơ, sao cho các đường IR không chồng lấn lên nhau và đồng thời đảm bảo sai số về tổng thể tích phun giữa tính toán và thực nghiệm không quá lớn (< 5%) (Bảng 4). Kết quả khảo sát thực nghiệm cũng cho thấy, với tỉ lệ phun 30/70 có thể ứng dụng kỹ thuật PC2GĐ với DT thay đổi trong khoảng từ 0,4 ms đến 1,4 ms; còn với tỉ lệ phun 50/50 và 70/30, giá trị DT có thể thay đổi trong khoảng từ 0,8 ms đến 1,4 ms.

Bảng 4. So sánh thể tích phun tính toán và đo thực nghiệm khi áp dụng PC2GĐ với ba chế độ khảo sát

DT, ms	V_0 tính toán, mm^3	Tỷ lệ 30/70		Tỷ lệ 50/50		Tỷ lệ 70/30	
		V_0 đo thực nghiệm, mm^3	Sai số, %	V_0 đo thực nghiệm, mm^3	Sai số, %	V_0 đo thực nghiệm, mm^3	Sai số, %
0,2	83,8	93,6	11,7	124,8	48,9	102,2	22,0
0,4		84,5	0,8	100,5	19,9	102,3	22,1
0,6		86,1	2,7	92,7	10,6	97,8	16,7
0,8		82,1	-2,0	84,0	0,2	84,3	0,6
1,0		81,8	-2,4	80,1	-4,4	86,1	2,7
1,2		83,7	-0,1	83,2	-0,7	82,4	-1,7
1,4		80,9	-3,5	80.9	-3,5	83,3	-0,6
1,6		82,8	-1,2	82,4	-1,7	84,4	0,7
1,8		83,2	-0,7	84	0,2	83,2	-0,7

4. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm trên bệ thử UniPg-STS cho thấy vòi phun CR kiểu điện từ CRI2.2 hoàn toàn đáp ứng việc áp dụng kỹ thuật PC2GĐ, với các chế độ phun khác nhau, đảm bảo được tổng thể tích phun yêu cầu và giãn cách giữa hai lần phun phù hợp, tại chế độ 100% tải và tốc độ cao của động cơ D4CB 2.5 TCI-A.

Kết quả nghiên cứu thu được sẽ được sử dụng để lập chương trình điều khiển cho ECU [13] của động cơ D4CB 2.5 TCI-A khi áp dụng KTP tiên tiến và sử dụng biodiesel nhằm mục tiêu tăng tính kinh tế nhiên liệu và giảm phát thải ô nhiễm.❖

Ngày nhận bài: **02/5/2024**
Ngày phản biện: **8/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. L. Postrioti, G. Buitoni, F. C. Pesce, and C. Ciaravino, "*Zeuch method-based injection rate analysis of a Common-rail system operated with advanced injection strategies*", Fuel, vol. 128, pp. 188-198, 2014; doi: doi.org/10.1016/j.fuel.2014.03.006.

[2]. R. Payri, F. J. Salvador, J. Gimeno, and J. De la Morena, "*Influence of injector technology on injection and combustion development – Part 2: Combustion analysis,"Applied Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1130-1139, 2011; doi: doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.004.

[3]. V. H. Nguyen, A. Cavicchi, D. X. Nguyen, K. T. Nguyen, P. X. Pham, and L. Postrioti, "*Hydraulic characterization of a second-generation common rail injector operating under solo and split injection strategies*", Flow Measurement and Instrumentation, vol. 85, p. 102170, 2022; doi: org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102170.

[4]. S. Jafarmadar, "*The Effect of Split Injection on the Combustion and Emissions in DI and IDI Diesel Engines*", Diesel Engine – Combustion, Emissions and Condition Monitoring, S. Bari Ed. Rijeka: InTech, 2013.

[5]. Nguyễn Xuân Đạt, Nguyễn Hoàng Vũ, Phạm Xuân Phương; "*Kỹ thuật phun nhiên liệu dùng cho động cơ diesel điều khiển điện tử*", Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải lần IV, Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh, 5/2018.

[6]. J. Zhuang, X. Qiao, J. Bai, and Z. Hu, "*Effect of injection-strategy on combustion, performance and emission characteristics in a DI-diesel engine fueled with diesel from direct coal liquefaction*", Fuel, vol. 121, pp. 141-148, 2014; doi: doi.org/10.1016/j.fuel.2013.12.032.

[7]. M. Yoon Kim, S. Hyun Yoon, and C. Sik Lee, "*Impact of Split Injection Strategy on the Exhaust Emissions and Soot Particulates from a Compression Ignition Engine Fueled with Neat Biodiesel*", Energy & Fuels, vol. 22, pp. 1260-1265, 2008. doi: 10.1021/ef700537w.

[8]. S. Jafarmadar, "*The Effect of Split Injection on the Combustion and Emissions in DI and IDI Diesel Engines*", Diesel Engine - Combustion, Emissions and Condition Monitoring, 2013. doi: 10.5772/55232.

[9]. Mattes, Boecking and Kampmann, "*Piezo-Inline-Injektoren*". Haus der Technik Fachbuch. 93-100, 2004.

[10]. F. M. Andrea Piano, Lucio Postrioti, Andrea Cavicchi, Giulia Biscontini, Francesco C. Pesce, "*Modeling of a New Generation Solenoid Common Rail Injector*", European GT Conference 2016 - Frankfurt, 2016.

[11]. A. Ferrari, A. Mittica, F. Paolicelli, and P. Pizzo, "*Hydraulic Characterization of Solenoid-actuated Injectors for Diesel Engine Common Rail Systems*", Energy Procedia, vol. 101, pp. 878-885, 2016. doi: org/10.1016/j.egypro.2016.11.111.

[12]. Nguyễn Xuân Đạt; "*Nghiên cứu ảnh hưởng của phun chính nhiều giai đoạn đến các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật của động cơ diesel kiểu Commonrail khi sử dụng nhiên liệu diesel sinh học*" Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2022.

[13]. Nguyễn Hoàng Vũ, Báo cáo tổng kết nhiệm vụ NCKH&PTCN cấp Quốc gia; "*Nghiên cứu, chế tạo thử nghiệm ECU phù hợp cho việc sử dụng nhiên liệu sinh học biodiesel với các mức pha trộn khác nhau*", Mã số ĐT.08.14/NLSH (thuộc Đề án Phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025), 2017.

[14]. Nguyễn Xuân Đạt, Phạm Xuân Phương, Nguyễn Hoàng Vũ; "*Xác định diễn biến tốc độ phun của vòi phun Commonrail kiểu điện từ bằng phương pháp Zeuch khi phun chính một giai đoạn*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, tháng 10/2020.

[15]. Trần Trọng Tuấn và cộng sự; "*Xác định các thông số công tác và mức phát thải ô nhiễm của động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A bằng thực nghiệm*", Kỷ yếu Hội nghị KHCN toàn quốc về Cơ khí 2015, TP.Hồ Chí Minh, 2015.

[16]. Phùng Văn Được và cộng sự; "*Khảo sát ảnh hưởng của chế độ tải, tốc độ đến diễn biến quá trình phun nhiên liệu và áp suất trong xi-lanh động cơ diesel Hyundai D4CB 2.5 TCI-A bằng thực nghiệm*", Kỷ yếu Hội nghị KHCN toàn quốc về Cơ khí 2015, TP.Hồ Chí Minh, 2015.

[17]. K. B. Nguyen, T. Dan, and I. Asano, "*Effect of double injection on combustion, performance and emissions of Jatropha water emulsion fueled direct-injection diesel engine*", Energy, vol. 80, pp. 746-755, 2015, doi: org/10.1016/j.energy.2014.12.033.

[18]. A. Sarangi, C. Garner, G. McTaggart-Cowan, M. Davy, E. Wahab, and M. Peckham, "*The effects of split injections on high exhaust gas recirculation low-temperature diesel engine combustion*", International Journal of Engine Research, vol. 14, pp. 68-79, 2013, doi: 10.1177/1468087412450987.

[19]. G. Bower, and Foster, D, "*The Effect of Split Injection on Soot and NOx Production in an Engine-Fed Combustion Chamber*". SAE Technical Paper, vol. 932655, 1993, doi: doi.org/10.4271/932655.

PHÂN TÍCH HƯ HẠI CỦA ỐNG NHÔM CHỊU VA CHẠM DỌC TRỤC BẰNG LUẬT HƯ HẠI THEO CƠ CHẾ DẺO CỦA VẬT LIỆU

CRUSHING TEST SIMULATION OF ALUMINIUM TUBE
USING DAMAGE BEHAVIOR LAW OF DUCTILE MATERIAL

Lê Thị Tuyết Nhung
Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ba-đờ-sốc là một kết cấu được gắn vào phía trước hoặc phía sau của ô tô bằng các cơ cấu ống nhôm rỗng, nhằm mục đích hấp thụ những chấn động trong thí nghiệm va chạm (crash test). Về mặt kết cấu, các ống nhôm này khi chịu tải nghiền nén thể hiện khả năng hấp thụ động năng được sinh ra trong quá trình va chạm. Việc mô phỏng đúng ứng xử của các ống này khi chịu va chạm phụ thuộc vào luật ứng xử của vật liệu sử dụng. Trong nghiên cứu này, mô hình hư hại của vật liệu dẻo được ứng dụng trong mô phỏng phần tử hữu hạn của mẫu ống nhôm có vách ngăn nhằm nghiên cứu ứng xử của ống khi chịu tải va đập ở vận tốc 10m/s, đồng thời cũng nghiên cứu cũng chỉ ra ảnh hưởng của việc sử dụng luật dẻo thông thường và luật dẻo có tính đến hư hại trong việc dự đoán ứng xử va chạm hấp thụ sốc của ống nhôm.

Từ khóa: *Nghiền dọc trục; Hư hại dẻo; Thử nghiệm va chạm.*

ABSTRACT

The bumper is a structure attached to the front or rear of an automobile by hollow aluminum tube mechanisms, intended to absorb shocks in a crash test. Structurally, these aluminum tubes when subjected to compression crushing loads exhibit the ability to absorb kinetic energy generated during collisions. The correct simulation of the behavior of these pipes when subjected to impact depends on the rules of conduct of the materials used. In this study, damage modeling of plastic materials was applied in simulation.

Keywords: *Axial crushing; Ductile damage; Crash test.*

1. TỔNG QUAN

Các vật liệu mới như hợp kim nhôm, hợp kim ma-giê và thép có độ bền cao đang được sử dụng ngày càng nhiều trong các linh kiện ô tô, máy bay để giảm trọng lượng và để tăng hiệu suất tổng thể của các phương tiện. Những vật liệu này thường có độ dẻo thấp khi bị phá hủy so với vật liệu truyền thống và có thể bị hư hại, phá hủy trong điều kiện tải và va chạm. Thông thường, sự lựa chọn này đặt ra giới hạn để đơn giản hóa mô hình phá hủy dựa trên tiêu chuẩn biến dạng tối đa (biến dạng phá hủy không thay đổi cho tất cả trạng thái ứng suất). Với các mô hình này là chúng không phụ thuộc vào biến dạng phá hủy hoàn toàn trong trạng thái ứng suất của một thành phần. Các phương pháp đơn giản hóa này dự đoán sự phá hủy không chính xác [1]. Nghiên cứu của Jung Yun Won và cộng sự [2] khảo sát hiệu suất nghiền của bốn ống nhôm ép đùn được nghiên cứu thông qua phân tích dựa trên mô phỏng phần tử hữu hạn (FE) kết hợp mô hình kết hợp số thí nghiệm của mẫu uốn chịu biến dạng hư hại dẻo. Việc đánh giá hiệu suất nghiền được thực hiện dựa trên cả thử nghiệm nghiền trục và mô phỏng phần tử hữu hạn ba chiều tương ứng, có thể xác nhận các định luật về độ dẻo và gãy được sử dụng và dự đoán các chỉ số hiệu suất nghiền với độ chính xác đáng tin cậy. Nghiên cứu của Hossein Taghipoor và cộng sự [3] trình bày một khảo sát thực nghiệm về ảnh hưởng của lỗ đối với lực nghiền của các ống mỏng với tiết diện vuông dưới tác động dọc trục với tốc độ biến dạng cao. Trong đó, 24 mẫu hấp thụ sốc đã được nghiên cứu và tính chất nghiền (crushing) của chúng đã được chỉ ra và so sánh với một mô hình hấp thụ đơn giản. Ảnh hưởng của các thông số khác nhau, bao gồm đường kính lỗ, chiều dài mẫu, kích thước mặt cắt mẫu và tốc độ va đập cũng được đánh giá. Ứng xử va đập của kim loại ngày càng được nghiên cứu nhiều hơn trong những năm gần đây bằng các các phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số như các phương trình hư hại dẻo đều dựa theo công trình nghiên cứu của Hooputra [4]. Tác giả này đã xây dựng mô hình thực nghiệm và mô phỏng số mẫu thử hình lăng trụ được làm từ hợp kim nhôm. Công trình nghiên cứu đã xác định được các thông số hư hại của vật liệu, khi ứng dụng các thông số hư hại vào mô phỏng số IDS (Instability Ductile Shear failure criteria) đã cho kết quả hình dạng phá hủy của mô phỏng số bị phá hủy giống với thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, mô hình hư hại của vật liệu dẻo được ứng dụng trong mô phỏng phần tử hữu hạn của mẫu ống nhôm có vách ngăn nhằm nghiên cứu ứng xử của ống khi chịu tải va đập 10m/s, đồng thời cũng nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng luật dẻo thông thường và luật dẻo có tính đến hư hại.

2. MÔ HÌNH LUẬT ỨNG XỬ HƯ HẠI CỦA VẬT LIỆU DẺO

Tiêu chuẩn phá hủy do ứng suất dẻo là một mô hình hiện tượng học để dự đoán sự ứng xử khi bắt đầu hư hỏng của vật liệu bằng sự tạo ra lỗ rỗ bề mặt, sự phát triển của các lỗ rỗ và sự kết dính của các lỗ rỗ với nhau. Tiêu chuẩn sẽ được đáp ứng nếu biến dạng thực đạt đến giá trị cho trước (preset value), biến dạng dẻo tương đương tại sự can thiệp hư hại dẻo được ký hiệu là ε_D^{-pl}. Giá trị cho trước này phụ thuộc vào ứng suất ba phương (stress triaxiality) và tốc độ biến dạng (strain rate) [4].

$$\varepsilon_D^{-pl}(\eta,\ \dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}) \tag{1}$$

Trong đó, $\eta = -\frac{p}{q}$, p là ứng suất nén, η là ứng suất ba phương, q là ứng suất tương đương Mises, $\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}$ là độ biến dạng dẻo tương đương. ☞

Đối với tiêu chuẩn phá hủy do ứng suất kéo biến dạng dẻo tương đương được cho bởi phương trình của ứng suất ba phương η (Hooputra et al., 2004) [4].

$$\bar{\varepsilon}_D^{pl}(\eta,\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}) = \frac{\varepsilon_T^+ \sinh[k_0(\eta^- - \eta)] + \varepsilon_T^- \sinh[k_0(\eta - \eta^+)]}{\sinh[k_0(\eta^- - \eta^+)]} \quad (2)$$

Trong đó, ε_T^+ và ε_T^- tương ứng với biến dạng dẻo tương đương khi bắt đầu phá hủy do ứng suất kéo trong trường hợp kéo và nén hai phương tương ứng. Với vật liệu đẳng hướng ứng suất ba phương trong trạng thái kéo hai phương $\eta^+ = \frac{2}{3}$ và ở trạng thái nén hai phương $\eta^- = -\frac{2}{3}$.

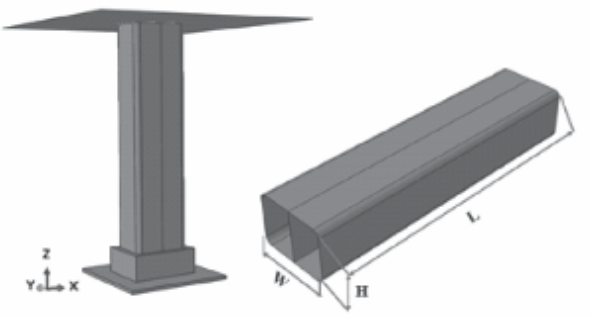
Bảng 1. Các thông số phá hủy do ứng suất kéo được xác định từ thực nghiệm của Hooputra [3].

Các tham số	Bán tĩnh	Chuyển động ($\dot{\varepsilon} = 250s^{-1}$)
ε_T^+	0,26	0,44
ε_T^-	193	1494
k_0	5,277	8,6304

3. MÔ HÌNH HÓA ỐNG NHÔM CHỊU TẢI NGHIỀN VA CHẠM

3.1. Hình học và vật liệu

Hình học đầu tiên được sử dụng mô phỏng số trong đồ án này là hình học đã xây dựng bởi Hooputra [4]. Mô hình được coi là kết cấu thành mỏng hình lăng trụ được làm từ hợp kim nhôm EN AW-7108 T6 với chiều dài L khoảng 396,5 mm, chiều rộng W = 95mm, chiều cao H = 68 mm và độ dày t = 2,5 mm. Tải dọc trục được đặt ở tấm phẳng để tác động vào kết cấu hình lăng trụ và coi tấm phẳng là mô hình cứng tuyệt đối (rigid) có khối lượng 500 kg và có vận tốc ban đầu là 10 m/s. Ống hình lăng trụ có đế để giữ khi tác động va chạm như hình:

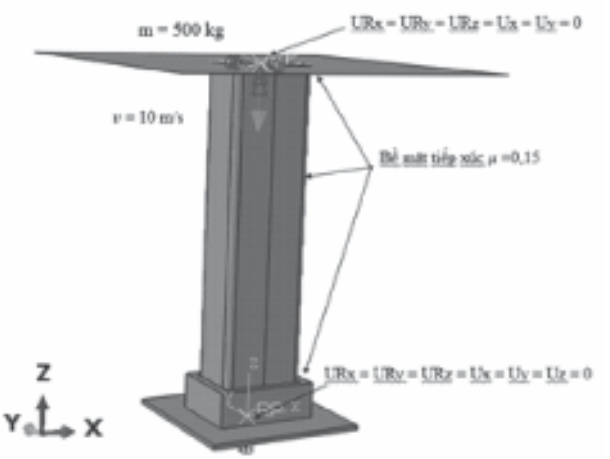


Hình 1. Mô hình va chạm trong Abaqus

Mô phỏng số được sử dụng các thông số vật liệu của hợp kim nhôm có các thông số khối lượng riêng 2700 kg/m^2, Mô-đun đàn hồi 70 GPa, hệ số Poisson 0.33. Đối với tiêu chuẩn phá hủy, mô hình kết hợp với các tiêu chuẩn phá hủy như phá hủy do ứng suất kéo, phá hủy do ứng suất cắt và tiêu chuẩn Müschenborn-Sonne cho sự mất ổn định của hiện tượng thắt cổ chai. Các thông số này sẽ lấy từ dữ liệu thực nghiệm như trong bảng 1, tham khảo từ tài liệu [4].

Tấm phẳng được tạo ra với 1444 phần tử R3D4 (có nghĩa là phần tử cứng hoàn toàn 4 nút trong không gian ba chiều), kích thước của các phần tử có diện tích là 5 mm như trong hình 2.

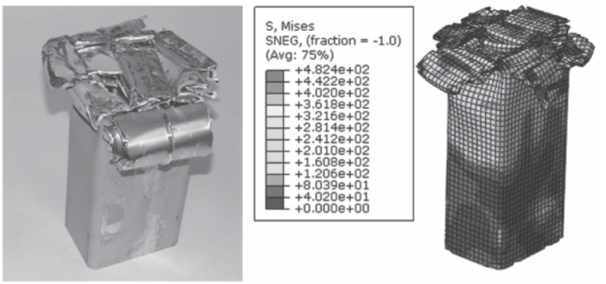
Đối với mô hình thành mỏng hình lăng trụ, kích thước tiết diện của phần tử là 5 mm. mô hình được tạo ra với 6162 phần tử S4R (phần tử vỏ 4 nút hoặc lưới vuông). Điều kiện tải và điều kiện biên được biểu thị trên hình 2.



Hình 2. Điều kiện biên và điều kiện tải

3.2. Kết quả mô phỏng ống nhôm chịu va chạm

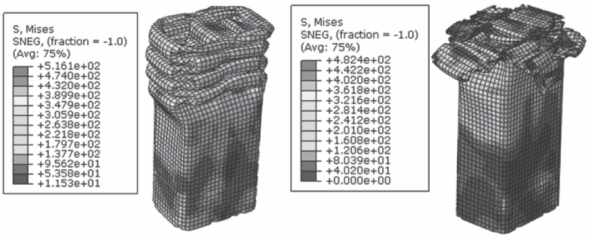
Mô hình được mô phỏng đầu tiên với vận tốc va chạm 10 m/s. Hai loại ứng xử của vật liệu được sử dụng để mô phỏng kết cấu ống nhôm: vật liệu dẻo có sử dụng luật hư hại, và vật liệu dẻo không sử dụng luật hư hại. Kết quả trên hình 3 cho thấy hình dạng phá hủy của mẫu ống nhôm khi sử dụng luật hư hại của vật liệu dẻo mô tả đúng trạng thái khi bị tải nghiền va đập của ống. Hình dạng và kích thước phần bị nghiền tương thích cao so với kết quả thực nghiệm của Hoopoutra [4]. Kết quả này cho thấy độ tin cậy của mô hình mô phỏng cũng như các thông số vật liệu thực nghiệm dự đoán chính xác ứng xử của kết cấu ống.



Hình 3. Ứng xử thực nghiệm của ống nhôm chịu va đập với vận tốc 10 m/s [4] (trái) và mô phỏng với luật hư hại (phải)

3.3. Phân tích ảnh hưởng của việc sử dụng luật hư hại và luật dẻo thông thường

Các thông số vật liệu được chọn để mô phỏng là trường hợp vật liệu dẻo thông thường, với trường hợp vật liệu dẻo có dùng mô hình hư hại của Hooputra [4]. Phân bố ứng suất trong chi tiết ứng với vận tốc va chạm 10 m/s được biểu thị trong Hình 4. Sự khác biệt rõ rệt về cả hình dạng của ống sau khi va chạm và trường phân bố ứng suất được thể hiện trong kết quả mô phỏng. Ứng suất lớn nhất khi sử dụng vật liệu dẻo thông thường là 516 MPa, trong khi với luật hư hại là 482 MPa.



Hình 4. Ứng xử của ống khi dùng luật dẻo (trái) và luật hư hại (phải)

Hình 4 cũng chỉ ra trong hai trường hợp mô phỏng không sử dụng luật hư hại, vật liệu bị nén sẽ xếp lớp và tạo thành dạng nếp gấp, ở đây gồm 4 nếp gấp nhưng bản thân vỏ không bị rách hay tách rời. Đối với ứng xử có sử dụng luật hư hại, các phần vật liệu va chạm phía đầu bị vi phạm luật và do đó bị rách theo các cạnh và nén từng phần. Hiện tượng này phù hợp với hình ảnh thực nghiệm và cho thấy khả năng dự đoán tốt ứng xử của ống bằng luật hư hại Hooputra [4].

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp sử dụng tiêu chuẩn hư hại thông qua biến dạng dẻo đã được ứng dụng trong dự đoán ứng xử chịu tải va đập của ống nhôm với vận tốc 10 m/s. ☞

Nghiên cứu chỉ ra phương pháp là đáng tin cậy khi được so sánh với kết quả thực nghiệm của Hooputra và đồng nghiệp [4] đối với trường hợp ống lăng trụ. Từ đó, mô hình tính toán này với các thông số cơ học của vật liệu nhôm đã thí nghiệm có thể dùng để đánh giá lực va chạm trong các thí nghiệm crash test ảo với mô hình ba-đờ-sốc có gắn ống nhôm để có được các kết quả đánh giá về ảnh hưởng của vận tốc hay các tham số khác.❖

Ngày nhận bài: **03/5/2024**
Ngày phản biện: **05/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. E. El-Magd, H. Gese, R. Tham, H. Hooputra, H. Werner, "*Fracture criteria for automobile crashworthiness simulation of wrought aluminium alloy components*". Materials science and Engineering Technology, p712-724. 2001.

[2]. Jung Yun Won et al., "*Evaluation of crush performance of extruded aluminum alloy tubes based on finite element analysis with ductile fracture modeling*", Thin-Walled Structures, Volume 200, 2024.

[3]. Hossein Taghipoor, Ahmad Ghiaskar, Aghil Shavalipour, "*Crashworthiness performance of thin-walled, square tubes with circular hole discontinuities under high-speed impact loadin*g", International Journal of Crashworthiness, Volume 27, 2022.

[4]. Hooputra, Gese H, Werner H. Dell H., "*A Compressive failure model for crashworthiness simulation of aluminium extrusions*", International Journal of Crashworthiness, p 449-464, 2010.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ MAY ĐẾN ĐỘ BỀN VÀ ĐỘ GIÃN ĐỨT ĐƯỜNG MAY 301 TRÊN VẢI DỆT KIM

STUDY ON THE EFFECTS OF SEWING PARAMETERS ON THE TENSILE STRENGTH AND ELONGATION AT BREAK OF SEAMS FOR 301 STITCHES ON KNITTED FABRICS

Đinh Mai Hương, Lê Thị Lành
Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Độ bền đứt và độ giãn đứt đường may là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm may từ vải dệt kim. Vải dệt kim có độ giãn lớn thường sử dụng các loại đường may tạo từ nhóm mũi 500 hay 600, các đường may này có độ co giãn nên hạn chế đứt chỉ trong quá trình sử dụng. Tuy nhiên, có những chi tiết vẫn phải sử dụng đường may mũi thoi 301 như may túi ốp, diễu miệng túi, các đường mí... Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng một số thông số công nghệ may gồm mật độ mũi may, tốc độ máy và sức căng chỉ kim đến độ bền đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may 301 trên vải dệt kim single. Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp 2 Box-Willson để thiết kế thí nghiệm, ứng dụng phần mềm Design Expert 11.0 để xử lý và phân tích số liệu. Kết quả xây dựng được phương trình hồi quy thực nghiệm ảnh hưởng đồng thời của các thông số công nghệ may đến độ bền đứt và độ giãn đứt tương đối đường may sử dụng mũi 301 trên vải dệt kim single với hệ số xác định R^2 từ 0,8 đến 0,87.

Từ khóa: *Độ giãn đứt; Độ bền đứt; Mũi may 301.*

ABSTRACT

The tensile strength and elongation at break of the seam are important factors affecting the quality of sewn products made from knitted fabrics. Knitted fabrics with high stretchability often use seams with stitch types 500 or 600, as these have elasticity which limits thread breakage during use. However, there are still details that must use 301 stitches such as sewing pocket facings, topstitch opening, edges, etc. This article presents research results on the influence of some sewing technological parameters, including stitch density, machine speed and needle thread tension, on the tensile strength and relative elongation at break of the 301 stitches on single jersey. The second-order orthogonal experimental planning method, Box-Wilson, was used to design the experiments, and Design Expert 11.0 software was applied to process and analyze the data. The results establish the regression equation for the simultaneous influence of sewing technological parameters on the tensile strength and relative elongation at break of the seam using 301 stitches on single jersey, with R^2 ranging from 0.8 to 0.87.

Keywords: *Seam breaking strength; Breaking elongation; 301 titches.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Độ giãn đứt và độ bền kéo đứt đường may là một trong những chỉ tiêu chất lượng quan trọng của sản phẩm may. Vải dệt kim có nhiều đặc tính kỹ thuật riêng mà vải dệt thoi không có như tính đàn hồi lớn, vải mềm khi mặc sẽ dễ cử động do đó được sử dụng phổ biến. Trong quá trình sản xuất thường gặp một số yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng đường may vải dệt kim bao gồm: Cấu trúc và thành phần chỉ, vận tốc máy, lực nén chân vịt, mật độ mũi may, loại kim, cỡ kim…

Đã có nhiều công trình nghiên cứu giải pháp nhằm nâng cao chất lượng đường may, nghiên cứu của tác giả Bùi Thị Loan [1] chỉ ra rằng khi tăng mật độ mũi may và giảm độ mảnh của chỉ thì độ giãn đứt tương đối và độ bền kéo đứt đường may 406 trên vải dệt kim TC tăng lên. Nghiên cứu của tác giả Tăng Thị Như Hà [2] cho thấy, độ bền đường may 301 trên vải dệt thoi giảm theo tốc độ máy và sức căng của chỉ kim, độ bền đường may tăng theo mật độ mũi may nhưng đến 5 mũi/cm thì mức độ bền giảm. Tác giả Trần Thị Phương Minh [3] đã nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên liệu và cấu trúc của chỉ đến độ bền đường may trên vải dệt thoi vân điểm PET. Tác giả Ninh Thị Thắm [4] đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ may đến độ bền và độ giãn đứt đường may 301 trên vải dệt thoi, các thí nghiệm xác định độ bền kéo đứt và độ giãn đứt theo hướng vuông góc với đường may. Tác giả Nguyễn Hoàng Thi Phụng [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của mật độ mũi may và chi số chỉ đến độ bền đường may trên vải Satin và Chiffons. Theo nghiên cứu, tùy vào đặc tính của vật liệu để lựa chọn mật độ mũi may và cỡ chỉ phù hợp nhằm tăng độ bền đường may, đối với vải Satin nên sử dụng chỉ có chi số 50/2 và mật độ mũi may là 5 mũi/cm, còn đối với vải Chifons nên sử dụng chỉ có chi số 60/2 và mật độ mũi may là 5 mũi/cm. Tác giả Nguyễn Thanh Bình [3] đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố chính như mật độ mũi may, chi số chỉ may đến độ bền đường may 301, từ đó tác giả đã đánh giá mức độ ảnh hưởng của chỉ may, mật độ mũi may đến độ bền đường may vải dệt thoi.

Vải có độ giãn lớn như vải dệt kim thường sử dụng các loại đường may tạo từ nhóm mũi 500 hay 600, các đường may này có độ co giãn nên hạn chế đứt chỉ trong quá trình sử dụng sản phẩm may. Tuy nhiên, có những chi tiết vẫn phải sử dụng đường may tạo từ mũi 301 như may túi ốp, diễu miệng túi, các đường mí… do đó cần phải xác định các thông số công nghệ may tối ưu để tăng độ bền và độ giãn đứt đường may trong quá trình sử dụng. Các nghiên cứu chủ yếu xác định độ bền kéo đứt theo hướng vuông góc với đường may mà chưa quan tâm đến độ bền đứt và độ giãn đứt dọc đường may cho vải dệt kim.

Nghiên cứu này nhằm xác định ảnh hưởng của ba thông số công nghệ may là mật độ mũi may, vận tốc máy và sức căng chỉ kim đến độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may sử dụng mũi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single.

2. ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

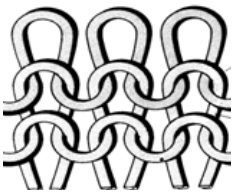
- Vải dệt kim single, thành phần 65% polyeste, 35% cotton, khối lượng 215g/m^2, mật độ cột vòng là 160 cột vòng/10cm, mật độ hàng vòng là 230 hàng vòng/10cm.

- Chỉ may Coat Astra có chi số tex 27, thành phần 100% polyeste.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

- Đường may sử dụng mũi thoi 301.

Hình 1. Đường may sử dụng mũi thoi 301 [6]



Hình 2. Vải dệt kim single [7]

2.2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thực nghiệm xác định độ giãn đứt tương đối và bền kéo đứt đường may sử dụng mũi 301 trên vải dệt kim single

Độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 5795 - 1994. Mẫu thử có kích thước 50x200mm, kích thước phần làm việc 50x100mm, tốc độ kéo là 60 mm/giây [8].

Độ bền kéo đứt được xác định là lực lớn nhất mà mẫu thử chịu được khi bị kéo đứt đường may, đơn vị tính là cN. Độ giãn đứt tương đối được xác định là tỷ số của độ giãn đứt tuyệt đối so với độ dài làm việc của mẫu thử, đơn vị tính là %.

Các đường may sử dụng mũi thoi 301 được thực hiện trên máy 1 kim DDL-8700B-7 của hãng Juki. Sức căng chỉ kim được đo bằng dụng cụ đo cầm tay của hãng TAJMA. Thí nghiệm xác định độ bền kéo đứt và độ giãn đứt đường may 301 thực hiện trên máy kéo vạn năng KEJIANHK, KJ-1066B tại phòng thí nghiệm của Viện Nghiên cứu Quân nhu, Cục Quân nhu, Tổng cục Hậu cần.

Hình 3. Máy kéo vạn năng KEJIANH

Hình 4. Dụng cụ đo sức căng chỉ kim TAJIMA

2.2.2. Quy hoạch thực nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố công nghệ may gồm mật độ mũi may, tốc độ máy và sức căng chỉ kim đến hai biến đầu ra là độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối đường may 301 trên vải dệt kim single. Các phương án thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao bậc 2 Box-Willson. Ứng dụng phần mềm Design Expert 11.0 để thiết kế thí nghiệm và xử lý số liệu thực nghiệm.

Số thí nghiệm: $N = 2^k + n_0 + 2k = 2^3 + 6 + 2.3 = 20$, trong đó có 8 thí nghiệm cơ bản, 6 thí nghiệm tại tâm và 6 thí nghiệm xung quanh tâm, mỗi phương án thí nghiệm lặp lại 5 lần và lấy giá trị trung bình. Khoảng biến thiên và mức mã hóa được thể hiện trong bảng 1, các phương án thí nghiệm trình bày trong bảng 2. ☞

Bảng 1. Khoảng biến thiên (biến thực và biến mã hoá) của các yếu tố nghiên cứu

TT	Thông số	Ký hiệu	Mức mã hóa				
			-1,52	-1	0	+1	+1,52
1	Mật độ (mũi/cm)	X1	3	3.5	4.5	5.5	6
2	Vận tốc (v/ph)	X2	3240	3500	4000	4500	4760
3	Sức căng chỉ kim (cN)	X3	50	60	80	100	110

Phương trình hồi quy thực nghiệm có dạng tổng quát:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$$

Trong đó:
- Y: Hàm mục tiêu;
- x_1, x_2, x_3: Biến mã hóa của các thông số công nghệ may;
- b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}: Các hệ số hồi quy.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả xác định độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may sử dụng mũi 301

Kết quả thực nghiệm xác định độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may sử dụng mũi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single được trình bày trong bảng 2, trong đó: Y_{3bd} và Y_{3gd} lần lượt là độ bền kéo đứt và độ giãn đứt.

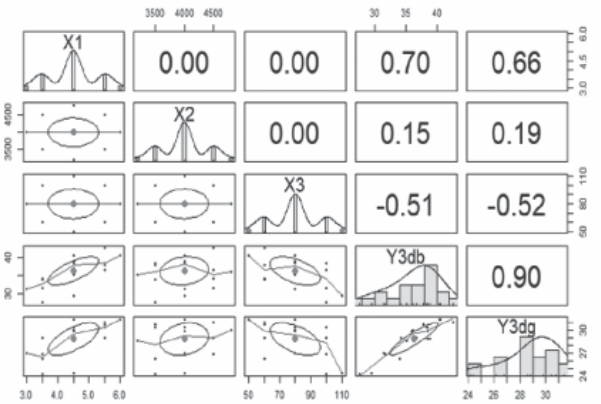
Bảng 2. Kết quả thí nghiệm

Thí nghiệm	Biến mã hóa			Biến thực			Y_{3bd} (N)	Y_{3gd} (%)
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3		
1	-1	-1	-1	3,5	3500	60	34,0	26,2
2	+1	-1	-1	5,5	3500	60	37,9	30,8
3	-1	+1	-1	3,5	4500	60	34,3	29,0
4	+1	+1	-1	5,5	4500	60	42,6	31,0
5	-1	-1	+1	3,5	3500	100	27,6	24,2
6	+1	-1	+1	5,5	3500	100	38,5	30,4
7	-1	+1	+1	3,5	4500	100	31,7	26,8
8	+1	+1	+1	5,5	4500	100	36,7	29,0
9	-1,52	0	0	3	4000	80	31,5	27,0
10	1,52	0	0	6	4000	80	40,6	31,4
11	0	-1,52	0	4,5	3240	80	35,2	28,6

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

12	0	1,52	0	4,5	4760	80	36,2	30,0
13	0	0	-1,52	4,5	4000	50	40,4	31,4
14	0	0	1,52	4,5	4000	110	29,5	24,4
15	0	0	0	4,5	4000	80	38,5	29,8
16	0	0	0	4,5	4000	80	38,4	30,4
17	0	0	0	4,5	4000	80	38,9	28,8
18	0	0	0	4,5	4000	80	36,0	29,8
19	0	0	0	4,5	4000	80	38,5	28,8
20	0	0	0	4,5	4000	80	38,9	28,8

3.2. Kết quả xác định mối tương quan giữa các yếu tố nghiên cứu



Hình 5. Biểu đồ tương quan từng đôi một giữa các yếu tố

Biểu đồ hình 5 được trình bày dưới dạng một ma trận biểu thị mối tương quan từng đôi một giữa các yếu tố công nghệ may và độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối. Độ bền kéo đứt và độ giãn đứt có mối quan hệ tương quan cao nhất với r = 0,9, tiếp theo là mật độ mũi may với r = 0,7, sau đó đến sức căng chỉ kim với r = -0,52. Như vậy, ta có thể sử dụng các biến đầu vào để tìm mô hình tương quan giữa biến đầu vào và đầu ra.

3.3. Kết quả xác định ảnh hưởng của một số thông số công nghệ may đến độ bền kéo đứt và độ giãn đứt dọc đường may sử dụng mũi 301

Sử dụng phần mềm Design Expert 11.0 xử lý kết quả thực nghiệm đã xây dựng được phương trình hồi quy thực nghiệm ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố công nghệ may: mật độ mũi may, vận tốc máy và sức căng chỉ kim đến độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may sử dụng mũi 301. Trên cơ sở phân tích mức ý nghĩa của các hệ số trong phương trình hồi quy kiểm định bởi chuẩn Student, các hệ số trong phương trình có trị số $p < 0,05$ là có ý nghĩa thống kê, biến xj có ảnh hưởng tới Y. Ngược lại là các hệ số không có nghĩa, biến x không ảnh hưởng tới Y, ta loại bỏ các hệ số vô nghĩa trong phương trình hồi quy. Kết quả phân tích ANOVA đã thu được phương trình hồi quy thực nghiệm.

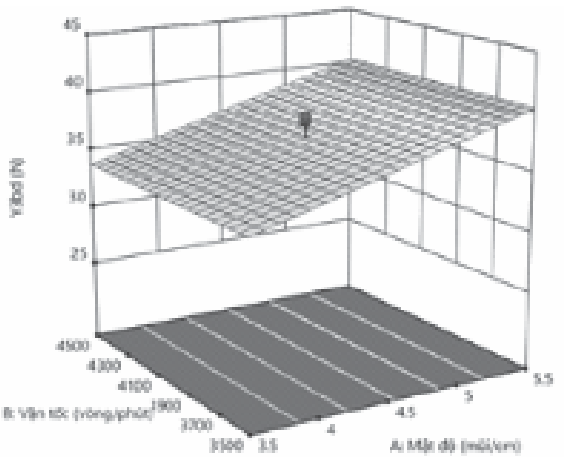
* Phương trình hồi quy thực nghiệm độ bền kéo đứt đường may:

- Phương trình với biến mã hóa:

$$Y_{3bd} = 37,07 + 3,32X_1 - 2,44X_3 - 1,23X_3^2;\ R^2 = 0,8$$

- Phương trình với biến thực:

$$Y_{3bd} = 12,20 + 3,31X_1 + 0,37X_3 - 0,003X_3^2; R^2 = 0,8$$



Hình 6. Biểu đồ ảnh hưởng của thông số công nghệ may đến độ bền kéo đứt đường may

Phương trình hồi quy có hệ số xác định R^2 là 0,8 thể hiện sự thay đổi mật độ mũi may và sức căng chỉ kim giải thích 80% sự thay đổi của độ bền kéo đứt dọc đường may sử dụng mũi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single. Độ bền kéo đứt đường may có quan hệ đồng biến với mật độ mũi may (hệ số b_1 mang dấu +) và nghịch biến với sức căng chỉ (hệ số b_3 mang dấu -). Độ bền đường may tăng khi tăng mật độ mũi may và giảm sức căng của chỉ.

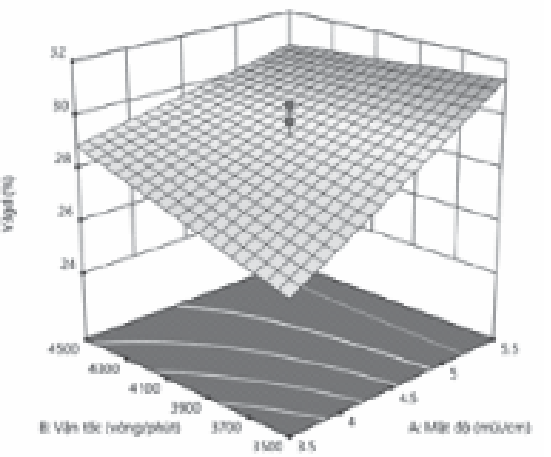
* Phương trình hồi quy thực nghiệm độ giãn đứt tương đối:

- Phương trình với biến mã hóa:

$$Y_{3gd} = 29,27 + 1,72X_1 + 0,5X_2 - 1,37X_3 - 0,82X_1X_2 - 0,69X_3^2; R^2 = 0,87$$

- Phương trình với biến thực:

$$Y_{3gd} = -17,89 + 8,31X_1 + 0,008X_2 - 0,21X_3 - 0,001X_1X_2 - 0,001X_3^2; R^2 = 0,87$$



Hình 7. Biểu đồ ảnh hưởng của thông số công nghệ may đến độ giãn đứt đường tương đối

Phương trình hồi quy có hệ số xác định R^2 là 0,87 thể hiện sự thay đổi mật độ mũi may, tốc độ máy và sức căng chỉ kim giải thích 87% sự thay đổi của độ giãn đứt tương đối dọc đường may sử dụng mũi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single. Độ giãn đứt tương đối của đường may có quan hệ đồng biến với mật độ mũi may (hệ số b_1 mang dấu +) và nghịch biến với sức căng chỉ kim (hệ số b_3 mang dấu -). Khi tăng mật độ mũi may và giảm sức căng của chỉ thì độ giãn đứt tương đối tăng, vận tốc máy ảnh hưởng không nhiều đến độ giãn đứt tương đối của đường may. Giải các phương trình hồi quy với biến thực xác định được độ giãn đứt tương đối tối ưu là 31,87% khi mật độ mũi may là 5,5 mũi/cm, vận tốc máy 3659 vòng/phút và sức căng chỉ kim là 60,18cN.

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả thực nghiệm cho thấy, mật độ mũi may và sức căng chỉ kim có ảnh hưởng lớn đến độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối dọc đường may mũi thoi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single. Độ bền kéo đứt và độ giãn đứt tương đối tăng khi tăng mật độ mũi may, giảm sức căng chỉ kim. Vận tốc máy ảnh

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

hưởng không nhiều đến độ giãn đứt tương đối của đường may 301 trên vải dệt kim single.

Độ bền kéo đứt và độ giãn đứt dọc đường may mũi thoi 301 theo hướng cột vòng trên vải dệt kim single may bằng chỉ polyeste, chi số tex 27 đạt giá trị tối ưu khi mật độ mũi may là 5,5 mũi/cm, vận tốc máy 3659 vòng/phút và sức căng chỉ kim là 60,18cN.❖

Ngày nhận bài: **05/4/2024**
Ngày phản biện: **24/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Bùi Thị Loan, Nguyễn Thị Hồi, Đỗ Thị Tần; *Nghiên cứu ảnh hưởng của chi số chỉ và mật độ mũi may đến độ giãn đứt, độ bền đường may 406 trên vải TC*, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, tập 1(72), trang 56-61, 2021.

[2]. Tăng Thị Như Hà; *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ may đến độ bền đường may vải dệt thoi đàn tính*, Luận văn Cao học, ĐH Bách Khoa Hà Nội, 2007.

[3]. Trần Thị Phương Minh; *Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên liệu và cấu trúc của chỉ đến độ bền đường may và độ đứt chỉ trong quá trình may*, Luận văn Cao học, ĐH Bách Khoa Hà Nội, 2007.

[4]. Ninh Thị Thắm; *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ tới độ bền đường may 301,* Luận văn Cao học, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 2021.

[5]. Nguyễn Hoàng Thị Phụng; *Nghiên cứu ảnh hưởng của mật độ mũi chỉ và kích cỡ chỉ đến độ bền đường may trên vải lụa tơ tằm*, Luận văn Cao học, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2022.

[6]. T. Karthik, P. Ganesan, and D. Gopalakrishnan, *Apparel Manufacturing Technology*, Taylor & Francis Group, LLC, 2017.

[7]. David J Spencer, *Knitting Technology,* Woodhead Publishing Limited, 2001.

[8]. TCVN 5795:1994, *Phương pháp xác định độ bền kéo đứt và độ giãn đứt vải dệt kim.*

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ DỆT KIM TRONG SẢN XUẤT SẢN PHẨM KHÔNG ĐƯỜNG MAY

APPLICATION OF KNITTING TECHNOLOGY FOR SEAMLESS GARMENT PRODUCTS

Đào Thị Chinh Thùy
Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Sản phẩm không đường may hiện là xu hướng được nhiều nhãn hàng và người tiêu dùng quan tâm trên thị trường hiện nay. Không chỉ mang tính thẩm mỹ và tiện nghi cao cho người sử dụng, sản phẩm không đường may còn có ưu điểm giúp tiết kiệm nguyên liệu và thời gian sản xuất. Ứng dụng công nghệ dệt kim là một trong các phương pháp hiệu quả trong sản xuất sản phẩm không đường may. Nghiên cứu này nhằm giới thiệu tổng quan về ứng dụng công nghệ dệt kim trong sản xuất các sản phẩm không đường may, gồm ứng dụng công nghệ dệt kim đan ngang phẳng, công nghệ dệt kim đan ngang tròn, công nghệ dệt kim đan dọc. Thông tin tổng quan tập trung vào bản chất công nghệ để tạo ra sản phẩm dạng ống, thay đổi chu vi ống vải và liên kết các ống vải với nhau trên máy dệt kim.

Từ khóa: *Sản phẩm không đường may; Công nghệ dệt kim; Máy dệt kim phẳng; Máy dệt kim tròn; Máy dệt kim đan dọc.*

ABSTRACT

Seamless garments are currently of interest to many brands and customers. They not only bring aesthetics and comfort, but also help reduce material waste and production time. Applying knitting technology is an effective way to make seamless garments. This article presents an overview of the application of knitting technology in the production of seamless garments, including flat knitting technology, circular knitting technology and warp knitting technology. The overview is mainly about technological principle to make tubular products, changing fabric tube circumference and linking fabric tubes together on knitting machines.

Keywords: *Seamless garment; Knitting technology; Flat knitting machine; Circular knitting machine; Warp knitting machine.*

1. GIỚI THIỆU SẢN PHẨM KHÔNG ĐƯỜNG MAY

Kỹ thuật không đường may ra đời từ khoảng thế kỷ IV-V sau Công nguyên, chủ yếu được áp dụng trong quá trình dệt tất ở Ai Cập. Từ đầu những năm 1990, kỹ thuật không đường may không còn chỉ giới hạn trong lĩnh vực sản xuất tất hay găng tay mà đã bắt đầu được ứng dụng trong nhiều sản phẩm thời trang khác, tạo ra cơn sốt mới trong giới thời trang toàn cầu. Công nghệ không đường may giúp sản xuất ra sản phẩm gần như hoàn thiện mà không cần tới đường may ở sườn và giảm thiểu công đoạn may ráp truyền thống [1]. Năm 1997, sản phẩm không đường may mới chiếm khoảng 1% tổng sản lượng sản phẩm dệt kim toàn cầu, tuy nhiên tỷ lệ này đã tăng lên tới 11% vào năm 2015 [2]. So với các sản phẩm may mặc thông thường, sản phẩm không đường may có một số ưu điểm chính như sau [1-2]: Nâng cao tính thẩm mỹ và sự tiện nghi của trang phục; Tiết kiệm chi phí sản xuất; Giảm thiểu phát thải; Sự linh hoạt; Chất lượng và độ bền.

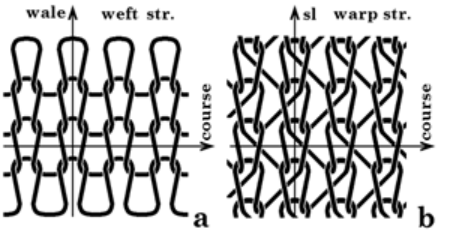
Với những ưu điểm như trên, công nghệ không đường may được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của đời sống như lĩnh vực gia dụng, vận tải và công nghiệp, lĩnh vực y dược, lĩnh vực thời trang thể thao và hàng mặc lót [1-2].

(a) (b) (c) (d)

Hình 1. Một số ứng dụng của sản phẩm không đường may:
(a): Bọc gối; (b): Bọc ghế xe ô tô;
(c): Găng tay tạo áp lực để chữa bệnh;
(d): Trang phục thể thao [3-6]

2. GIỚI THIỆU VỀ CÔNG NGHỆ DỆT KIM

Trong công nghệ dệt kim, sợi dệt được uốn thành các vòng sợi và các vòng sợi được liên kết với nhau để tạo thành vải. Theo hướng liên kết các vòng sợi trong vải, công nghệ dệt kim được phân thành hai nhóm chính là công nghệ dệt kim đan ngang và công nghệ dệt kim đan dọc. Trong công nghệ dệt kim đan ngang, các vòng sợi của cùng một sợi liên kết với nhau theo hướng ngang. Trong công nghệ dệt kim đan dọc, các vòng sợi của cùng một sợi liên kết với nhau theo hướng dọc hoặc hướng chéo.



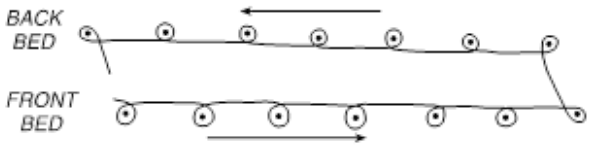
Hình 2. Vải dệt kim đan ngang (a) và vải dệt kim đan dọc (b) [7]

Vải dệt kim đan ngang được tạo ra trên các máy dệt kim đan ngang và vải dệt kim đan dọc được tạo ra trên các máy dệt kim đan dọc. Theo hình dạng giường kim, máy dệt kim đan ngang được phân thành hai nhóm chính là máy dệt kim đan ngang phẳng (giường kim dạng phẳng) và máy dệt kim đan ngang tròn (giường kim dạng hình trụ).

3. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ DỆT KIM ĐAN NGANG PHẲNG TRONG SẢN XUẤT SẢN PHẨM KHÔNG ĐƯỜNG MAY

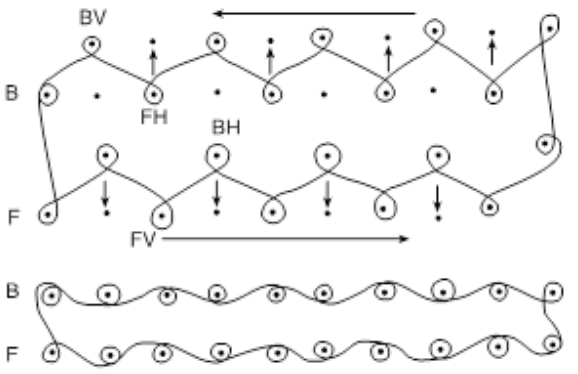
Nền tảng cơ bản để tạo sản phẩm không đường may trên máy dệt kim đan ngang phẳng là khả năng dệt sản phẩm dạng ống của máy. Từ những năm 1800, các kiểu dệt đơn giản dạng ống đã được sản xuất trên máy phẳng, với sản phẩm phổ biến là những chiếc găng tay. ☞

Trường hợp đơn giản nhất là dệt sản phẩm dạng ống với kiểu dệt single. Bàn cam chạy từ trái sang phải thì dệt giường kim trước, khi bàn cam quay lại thì dệt giường kim sau, cứ luân phiên như vậy sẽ tạo thành một ống vải single [8].



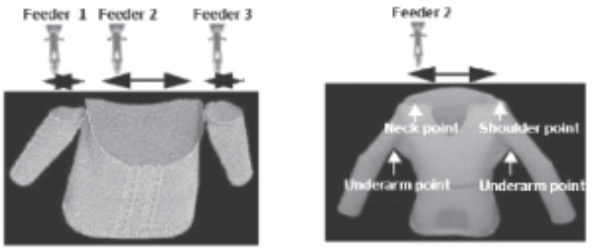
Hình 3. Dệt ống vải single trên máy dệt kim đan ngang phẳng [8]

Trường hợp dệt ống vải có kiểu dệt rib, khi giường kim di chuyển từ trái sang phải dệt rib bình thường, ngay sau đó chuyển vòng sợi từ giường kim sau sang giường kim trước. Bàn cam di chuyển từ phải sang trái cũng dệt rib bình thường, ngay sau khi dệt hàng rib đó sẽ chuyển vòng sợi từ giường kim trước về giường kim sau, thu được ống vải rib hoàn chỉnh.



Hình 4. Dệt ống vải rib trên máy dệt kim đan ngang phẳng [8]

Để tạo thành các sản phẩm phức tạp hơn như một chiếc áo len không đường may (công nghệ Wholegarment), công nghệ dệt ống cần được cải tiến để có thể thay đổi bề rộng sản phẩm và liên kết các ống vải với nhau [9]. Trên máy dệt kim đan ngang phẳng, ba ống vải được dệt trên cả giường kim trước và giường kim sau tương ứng với ba mỏ cấp sợi. Mỏ cấp sợi thứ hai cấp sợi dệt ống thân áo, mỏ cấp sợi thứ nhất và thứ ba cấp sợi dệt hai ống tay áo. Ba mỏ cấp sợi làm việc độc lập dệt ba ống cho tới điểm dưới cánh tay. Ở điểm dưới cánh tay, mỏ cấp sợi thứ nhất và thứ ba được đưa ra khỏi phạm vi hoạt động của máy, lúc này chỉ còn mỏ cấp sợi thứ hai hoạt động dệt ba ống (ống thân và hai ống tay) thành một ống. Ba ống này được nối với nhau ở các điểm dưới cánh tay, điểm vai và điểm cổ.



Hình 5. Nguyên tắc dệt Wholegarment trên máy dệt kim đan ngang phẳng [9]

Để thay đổi bề rộng sản phẩm dạng ống, cần có sự dịch chuyển vòng sợi từ giường kim nọ sang giường kim kia. Công nghệ dệt truyền thống trên các máy dệt kim đan ngang phẳng có thể thực hiện kỹ thuật này với việc sử dụng các kim trống trên hai giường kim để thuận lợi trao, nhận vòng sợi.

Tuy nhiên, với việc bố trí các kim trống trên máy, sản phẩm sẽ thô và thưa, không dệt được những sản phẩm mảnh mịn, độ co giãn đàn hồi không tốt so với các sản phẩm dệt hết trên tất cả các kim. Để giải quyết vấn đề này, hãng Shima Seiki đã thiết kế riêng một số dòng máy dệt kim đan ngang phẳng chuyên dụng cho sản phẩm không đường may (Wholegarment) [9]. Máy SWG-X® cấu hình sử dụng 4 giường kim, trong đó có 2 giường kim chính và 2 giường kim phụ. Hai giường kim phụ có tác dụng hỗ trợ quá trình dịch chuyển vòng sợi để liên kết

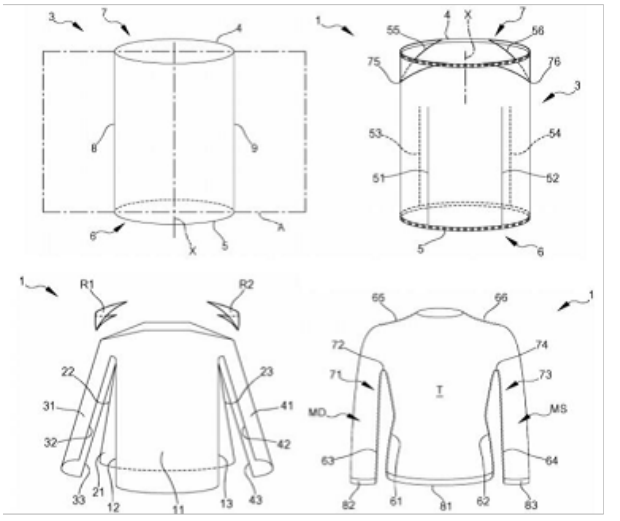
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

các ống vải và thay đổi bề rộng sản phẩm. Máy SWG-V sử dụng hai giường kim theo cách sắp xếp giường chữ V thông thường. Tuy nhiên, các kim trên hai giường kim sử dụng công nghệ kim đôi. Trong mỗi khe rãnh của giường kim thay vì lắp một kim, sẽ lắp hai kim cạnh nhau, một kim dệt chính và kim còn lại sẽ hỗ trợ trao nhận vòng sợi.

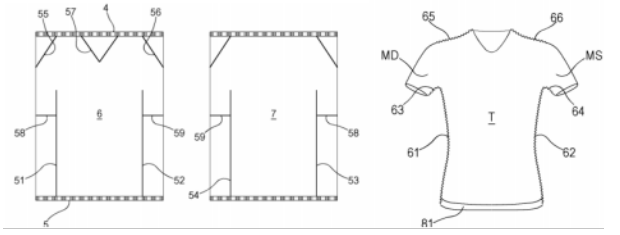
4. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ DỆT KIM ĐAN NGANG TRÒN TRONG SẢN XUẤT SẢN PHẨM KHÔNG ĐƯỜNG MAY

Công nghệ dệt kim trên máy tròn cho năng suất cao hơn và thuận lợi hơn trong sản xuất các sản phẩm dạng ống so với máy phẳng. Các máy ứng dụng công nghệ chọn kim điện tử, chọn kim 3 vị trí, chuyển vòng giữa hai giường, công nghệ lắc giường kim và hệ thống cam chuyển động lắc, giúp tạo nhiều loại họa tiết vải phong phú. Tuy nhiên, công nghệ Seamless trên máy tròn không hoàn toàn là không cần đường may, và vẫn có một lượng vải cắt thừa nhất định [10].

Hình vẽ dưới đây mô tả nguyên tắc thiết kế tạo ra những áo len mỏng hoặc áo T-shirt [11]. Trên máy dệt kim đan ngang tròn 2 giường kim, thường dệt trên giường kim trụ và vải được dệt ra là vải dạng ống. Người ta sẽ thiết kế những đường gân dọc 51, 53 và 52, 54 là đường cắt bên dưới, bên trên là các đường cong 75, 55 và 76, 56, sử dụng mũi kim đặc biệt thô hơn, căng hơn để có thể nhìn thấy dễ dàng trên bề mặt vải. Sau khi ống vải ra khỏi máy, ống vải được cắt sửa theo các đường cắt, bỏ đi hai phần thân vải bên trên, phía dưới tách ra được phần thân trước thân sau, tay bị tách rời ra khi mà cắt các đường 51, 52, 53, 54 sẽ tạo thành một thân áo với hai chiếc tay áo ở hai bên, sau đó may ráp nối những phần vừa cắt lại thu được một chiếc áo hoàn chỉnh. Bản chất vẫn có một đường may giấu ở phía trong, phía dưới phần nách, một ít đường may ở trên bờ vai, bỏ đi đường may các khu vực nối giữa cánh tay với thân.



Hình 6. Nguyên tắc thiết kế áo thun dài tay không đường may trên máy dệt kim đan ngang tròn [11]



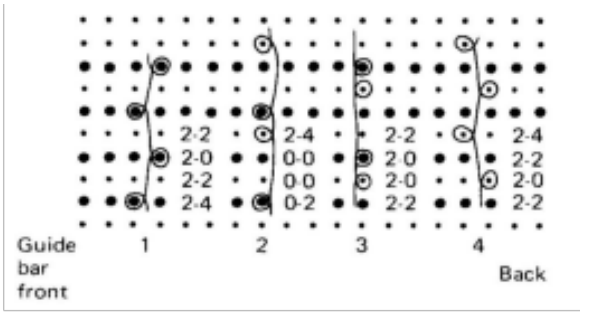
Hình 7. Nguyên tắc thiết kế áo thun cộc tay không đường may trên máy dệt kim đan ngang tròn [11]

Nói tới các dòng máy dệt kim đan ngang tròn sản xuất sản phẩm không đường may, hãng máy dệt Santoni có lịch sử lâu đời và được xem là có uy tín nhất hiện nay trên thế giới [12].

5. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ DỆT KIM ĐAN DỌC TRONG SẢN XUẤT SẢN PHẨM KHÔNG ĐƯỜNG MAY

Bản chất công nghệ tạo vải dạng ống trên máy đan dọc là sử dụng máy có 2 giường kim, một nhóm các kim lỗ dệt trên giường kim ☞

trước, một nhóm kim lỗ khác dệt trên giường kim sau, một nhóm kim lỗ phụ trách khu vực liên kết giữa hai giường kim để tạo ống vải. Hình dưới đây mô tả nguyên lý cơ bản để dệt vải đan dọc dạng ống có kiểu dệt Trico và sử dụng 4 thanh kim lỗ [8].



Hình 8. Nguyên tắc dệt ống vải dệt kim đan dọc, kiểu dệt Trico với bốn thanh kim lỗ [8]

- Thanh kim lỗ số 1 phụ trách dệt trên các kim ở giường kim trước, tạo ra nửa ống vải tương ứng với giường kim trước.

- Thanh kim lỗ số 4 phụ trách dệt trên các kim ở giường kim sau, tạo ra nửa ống vải tương ứng với giường kim sau.

- Thanh kim lỗ số 2 dệt kiểu dệt xích, mũi xích giường kim sau luân phiên mũi xích giường kim trước, tạo ra đường liên kết khép kín nửa bên trái ống vải.

- Thanh kim lỗ số 3 dệt kiểu dệt xích, mũi xích giường kim sau luân phiên mũi xích giường kim trước, tạo ra đường liên kết khép kín nửa bên phải ống vải.

Tập đoàn Karl Mayer Group được thành lập năm 1937 là hãng máy dệt lớn chuyên sản xuất các loại máy dệt kim đan dọc, điển hình là máy 2 giường kim Raschel để sản xuất sản phẩm không đường may. Máy Raschel sản xuất sản phẩm không đường may của Karl Mayer được đặt tên thương mại chung là dòng máy Smart Tronic [6]. Dòng máy Smart Tronic gồm hai nhóm nhỏ: nhóm máy RDPJ cho sản phẩm dạng ống trơn và nhóm máy DJ với công nghệ Jacquard cho sản phẩm dạng ống có hoa văn. Công nghệ này được thiết kế để sản xuất các loại sản phẩm từ trung bình đến rất mịn.

6. KẾT LUẬN

Sản phẩm không đường may là những sản phẩm không sử dụng đường may, do đó có rất nhiều ưu điểm: tiện nghi, giúp tiết kiệm nguyên liệu, thời gian sản xuất... Các sản phẩm không đường may được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực như gia dụng, vận tải và công nghiệp, lĩnh vực y dược, lĩnh vực thời trang thể thao và hàng mặc lót. Công nghệ dệt kim có rất nhiều thế mạnh trong sản xuất sản phẩm không đường may, có thể được sản xuất trên các máy đan ngang phẳng, máy đan ngang tròn, máy đan dọc. Trong lĩnh vực dệt kim đan ngang phẳng, để tạo ra các sản phẩm không đường may, bản chất là trong thiết kế phải bố trí các kim trống để có thể dễ dàng tạo ra các sản phẩm dạng ống với cấu trúc phức tạp, có khả năng chuyển vòng sợi, tăng giảm bề rộng sản phẩm và có thể liên kết các ống với nhau. Phổ biến trong máy dệt kim đan ngang phẳng là dòng máy Shima Seiki và Stoll. Shima Seiki có một số công nghệ như máy SWG-X sử dụng 4 giường kim thay vì sử dụng các kim trống, dòng máy V sử dụng công nghệ kim đôi. Trong các dòng máy dệt kim đan ngang tròn, Santoni có thể nói có thế mạnh nhất trong lĩnh vực này. Bản chất quá trình tạo sản phẩm không đường may trên may trên máy tròn không hoàn toàn là Seamless, vẫn có tỷ lệ tiêu hao cắt nhưng nhỏ hơn rất nhiều so với cắt may cơ bản, có những đường may ngắn để liên kết các khu vực với nhau. Trong công nghệ dệt kim đan dọc, các sản phẩm không đường may sẽ dệt trên máy dệt kim đan dọc Raschel có hai

giường kim. Một giường kim trước phụ trách một mặt của ống vải, giường kim sau sẽ phụ trách mặt còn lại và có thanh kim lỗ liên kết hai nửa ống vải với nhau.❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**
Ngày phản biện: **15/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. I. Ansari and M. Mehadi, "*An Aesthetic Approach of Seamless Garments: A Revie*w". Journal of Textile Engineering, vol. 1, pp. 66-72, Jan. 2021.
[2]. N. Nawaz and R. Nayak, "*14 – Seamless garments*". In Garment Manufacturing Technology, R. Nayak and R. Padhye, Eds., Woodhead Publishing, 2015, pp. 373-383. doi: https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-232-7.00014-X.
[3]. LTD. ©2024 SHIMA SEIKI MFG., "*Home furnishings samples*", https://www.shimaseiki.com/product/category/furniture/sample/.
[4]. LTD. ©2024 SHIMA SEIKI MFG., "*Healthcare samples*", https://www.shimaseiki.com/product/category/medical/sample/.
[5]. LTD. ©2024 SHIMA SEIKI MFG., "*Automative samples*", https://www.shimaseiki.com/product/category/automotive/sample/.
[6]. Karl Mayer, "*Sports Textiles – Seamless*", https://www.karlmayer.com/en/applications/sports-textiles/seamless/.
[7]. CSc. Prof. Ing. Radko Kováí, "*Knitting technology*". Textile Faculty, Technical University Liberec, Czech Republic, 2002.
[8]. David J Spencer, "*Knitting technology – a comprehensive handbook and practical guide, 3rd edition*". Woodhead Publishing Limited, 2001.
[9]. W. Choi and N. Powell, "*Three dimensional seamless garment knitting on V-bed flat knitting machines*". Vol. 4, Mar. 2005.
[10]. Cretu Viorica, "*Seamless technology on circular knitting machines*". Annals of the University of Oradea: Fascicle of Textiles, Leatherwork, Editura Universităţii din Oradea, 2014.
[11]. Lonati Andrea and Spada Lionello, "*Process for making a garment*". WO 2021/191785 A1, 2021.
[12]. Santoni, "*Electronic seamlesswear knitting machines*", https://www.santoni.com/en/products/seamless.

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA VAN GIA TỐC TRONG HỆ THỐNG PHANH KHÍ NÉN

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE RELAY VALVE IN PNEUMATIC BRAKE SYSTEM

Trần Trọng Đạt
Viện Cơ khí Động lực, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Phanh khí nén là một trong những hệ thống phanh phổ biến trên các dòng xe tải cỡ lớn. Ưu điểm của nó là lực phanh lớn và lực điều khiển nhẹ nhàng. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của phanh khí là độ chậm tác dụng và khó kiểm soát thời gian gia tăng áp suất đồng nhất trong các bầu phanh. Một trong các giải pháp cho vấn đề này là sử dụng van gia tốc. Các phương pháp truyền thống thường dùng các phương trình toán học để miêu tả sự di chuyển của dòng khí khi đi qua các cụm. Phương pháp này có nhược điểm là không mô tả được chính xác ở tất cả các trạng thái. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng một phần mềm chuyên dụng để mô phỏng hệ thống nhằm đánh giá hiệu quả của van gia tốc trong hệ thống phanh khí có thông số đường kính ống dẫn khí khác nhau. Các kết quả chỉ ra rằng thông số kích thước của đường ống khí và van gia tốc ảnh hưởng lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Nghiên cứu đã cho thấy sử dụng van gia tốc và lựa chọn đường kính ống dẫn khí hợp lý có thể giảm 50% thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh khí.

Từ khóa: *Phanh khí nén; Tổng phanh khí nén; Van gia tốc; Thời gian chậm tác dụng.*

ABSTRACT

Pneumatic brake systems are among the most common braking systems in large trucks. Their advantages include strong braking force and small control force. However, the biggest drawback of pneumatic brakes is the slow response and difficulty in controlling the uniform pressure increase time in the brake chambers. One solution to this issue is the use of an relay valve. Traditional methods often employ mathematical equations to describe the airflow displacement as it passes through the assemblies. However, this method has the disadvantage of not accurately describing all states. In this study, we utilized specialized software to simulate the system to evaluate the effectiveness of the relay valve in pneumatic brake systems with different diameter specifications for air ducts. The results indicate that the dimensions of the air ducts and the relay valve significantly affect the response time of the pneumatic brake system. The research demonstrated that utilizing an relay valve and selecting appropriate air duct diameters can reduce the response time of the pneumatic brake system by up to 50%.

Keywords: *Pneumatic brake system; Dual brake valve; Relay valve; Response time.*

1. TỔNG QUAN

Phanh khí nén là một trong các đối tượng được nghiên cứu khá nhiều trong lĩnh vực ô tô hiện nay do đây là hệ thống phổ biến trong các dòng xe tải [1-7]. Phanh khí nén cho thấy được các ưu điểm không thể thay thế như lực phanh lớn trong khi lực điều khiển nhẹ nhàng, độ chậm tác dụng cao nhưng giá thành lại rẻ hơn hệ thống phanh thủy khí. Do vậy, hệ thống này vẫn được sử dụng nhiều trong các dòng xe tải hiện nay. Ngoài ra, tổng phanh khí là một cụm chi tiết được sử dụng trong cả phanh khí nén và phanh thủy khí. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của phanh khí là sự chậm tác dụng [1, 6, 8, 9] từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả phanh cũng như động lực học của xe khi sự gia tăng áp suất đầu ra khác nhau giữa các nhánh. Sự gia tăng áp suất của hệ thống cũng đã được quy định trong tiêu chuẩn ECE R13. Từ những thực tế trên, nghiên cứu hoạt động của tổng phanh và sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến sự gia tăng áp suất đầu ra là cần thiết.

Trong các nghiên cứu về phản ứng của hệ thống phanh khí, nhiều nghiên cứu thường coi các van là các tiết lưu và một khoang thể tích [10]. Các nghiên cứu này giúp đơn giản hóa hệ thống và phù hợp cho các hệ thống phức tạp, tuy nhiên khó xem xét các tác động của các kết cấu cũng như hoạt động cụ thể của các cụm van. Nghiên cứu của tác giả Zhe Wang và các đồng tác giả công bố năm 2017 kết luận rằng, tổng phanh và đường ống chiếm tới 80% tổng độ trễ của toàn hệ thống. Trong đó, độ trễ gây ra bởi đường ống và các đầu nối có thể lên đến 30% [1, 8]. Từ nghiên cứu của các tác giả có thể thấy để giảm độ trễ của hệ thống thì quá trình giảm độ trễ trên tổng phanh và đường ống là một trong những giải pháp quan trọng.

Nghiên cứu nhằm giảm thời gian phản ứng của hệ thống, Ren He và Zhecheng Jing đã sử dụng buồng phanh tích năng của hệ thống phanh tay như một biện pháp hỗ trợ cho buồng phanh chính nhằm giảm thời gian chậm tác dụng. Các kết quả cho thấy phương pháp mới có thể giảm 0,19s trong thời gian phản ứng của hệ thống [11]. Ngoài ra, thuật toán điều khiển cũng sẽ ảnh hưởng đến thời gian phản ứng. Tác giả Devika đã kết luận rằng bộ điều khiển PID tốt có thể giảm 40% thời gian trễ trong hệ thống phanh ABS khí nén [6].

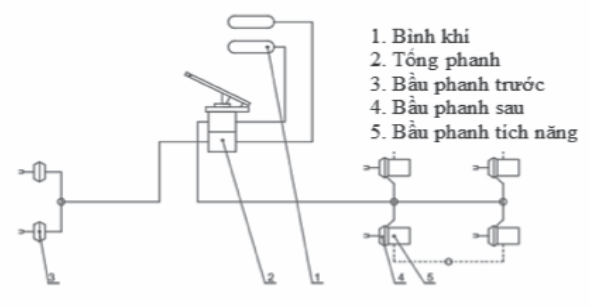
Van gia tốc là một thành phần quan trọng trong việc giảm thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Palanivelu và đồng tác giả [12] chỉ ra rằng loại van và số lượng van gia tốc có ảnh hưởng đáng kể đến thời gian tăng áp và xả áp ở các buồng phanh trong hệ thống, đặc biệt là ở cầu sau. Sự chênh lệch tổng thời gian phản ứng có thể đạt được khoảng 0,23s.

Nghiên cứu của chúng tôi tập trung vào mô phỏng các cụm van của hệ thống phanh khí, từ đó khảo sát hiệu quả của van gia tốc với các hệ thống phanh có thông số kết cấu khác nhau như sự khác nhau về đường kính ống dẫn, chiều dài ống dẫn nhằm đưa ra các khuyến cáo khi thiết kế hệ thống phanh khí có van gia tốc.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, bài báo chỉ sử dụng sơ đồ rút gọn của hệ thống phanh với các thành phần và kết cấu như trong hình 1 để nghiên cứu. Do trên hệ thống phanh khí nén, van gia tốc thường được bố trí trên đường ra cầu sau hoặc các cầu có chiều dài đường ống lớn. Đồng thời, tổng phanh sử dụng là loại dẫn động độc lập hai dòng, do đó hoạt động của nhánh cầu trước không ảnh hưởng đến nhánh cầu sau.

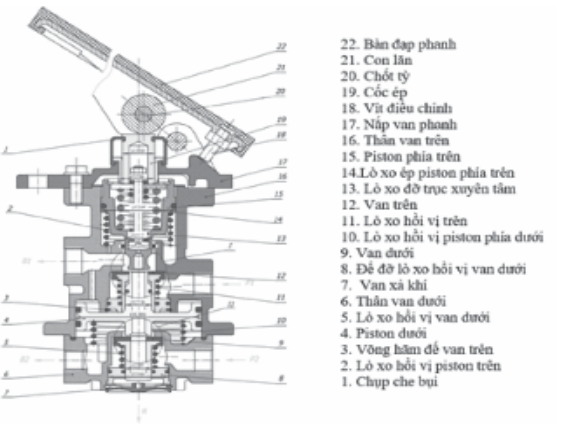
☞



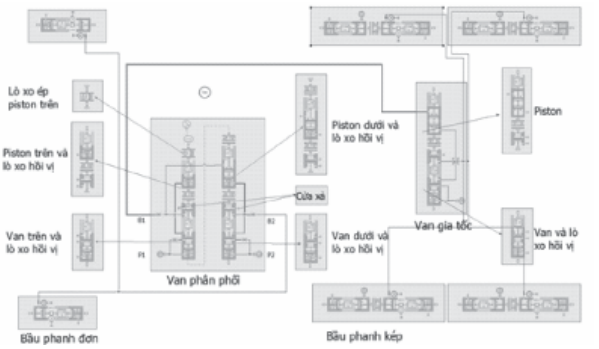
Hình 1. Sơ đồ hệ thống

2.1. Mô hình hóa tổng phanh

Khi mô phỏng hoạt động của tổng phanh có thể tập trung vào các kết cấu chính tạo ra hai khoang: khoang trên và khoang dưới. Khoang trên gồm piston phía trên (15), van trên (12), lò xo ép piston phía trên (14) và các lò xo hồi vị; khoang dưới gồm piston dưới (4), van dưới (9) và các lò xo hồi vị. Khi đạp phanh, bàn đạp phanh đẩy con lăn đè cốc ép xuống, cốc ép này nén lò xo ép (14), lò xo này có độ cứng rất lớn so với các lò xo hồi vị còn lại, lò xo (14) đẩy piston phía trên (15) chạm vào van trên (12), lúc này khoang trên đóng đường xả ra khí trời, sau đó cả hai cùng đi xuống mở tiếp van 2, lúc này nguồn cấp khí vào P1 thông với B1. Đối với khoang dưới có hoạt động tương tự khoang trên: van trên (12) đẩy piston dưới (4) đi xuống chạm vào van dưới (9) đóng đường xả ra khí trời, sau đó tất cả cùng đi xuống mở van dưới (9), lúc này nguồn cấp khí P2 thông với B2. Còn đối với hoạt động khi giữ bàn đạp, áp suất khí ở hai khoang sẽ tăng dần tạo thành áp lực đẩy ngược lên các pít-tông trên và dưới làm các pít-tông này di chuyển ngược lên bằng cách nén lò xo 14 đến khi các van 12 và 9 đóng lại áp suất ra các bầu phanh không tăng lên nữa. Áp suất ra các bầu phanh phụ thuộc vào lượng dịch chuyển của các pít-tông trên và dưới. Khi nhả bàn đạp, van trên và van dưới giữ nguyên vị trí đóng còn hai piston bị đẩy lên bởi lò xo hồi vị tách khỏi hai van mở cửa xả, xả hết khí ra khí trời. Với các hoạt động đó khi mô phỏng tổng phanh, bài báo đã tập trung vào mô phỏng cho các cụm kết cấu bao gồm: tổng phanh, bầu phanh đơn cho cầu trước và bầu phanh kép cho cầu sau.

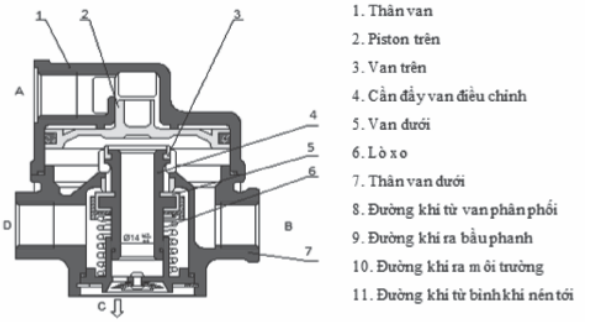


Hình 2. Cấu tạo của tổng phanh



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng hệ thống trong phần mềm mô phỏng.

2.2. Mô hình hóa van gia tốc



Hình 4. Cấu tạo van gia tốc

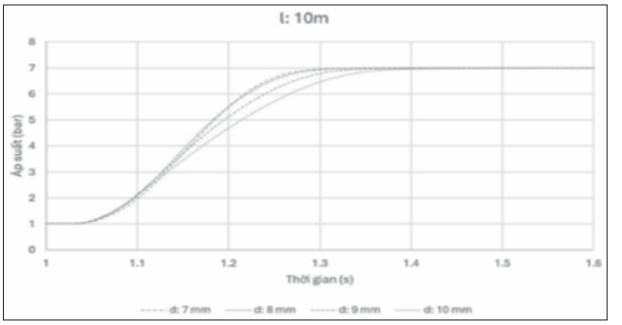
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Van gia tốc có công dụng giảm quãng đường đi của khí nén, làm giảm thời gian chậm tác dụng của phanh. Khi không có khí nén vào đường A (không đạp bàn đạp phanh), van dưới 6 đóng, van trên 3 mở. Đường B thông ra khí quyển, không có khí nén đến bầu phanh. Khi có khí nén từ van phân phối đến đường A (đạp bàn đạp phanh), khí nén đẩy piston trên đi xuống, đóng van trên (đường B ngăn không thông ra môi trường), piston trên tiếp tục đi xuống, van dưới mở ra thông đường D và đường B cấp khí nén từ bình tới bầu phanh.

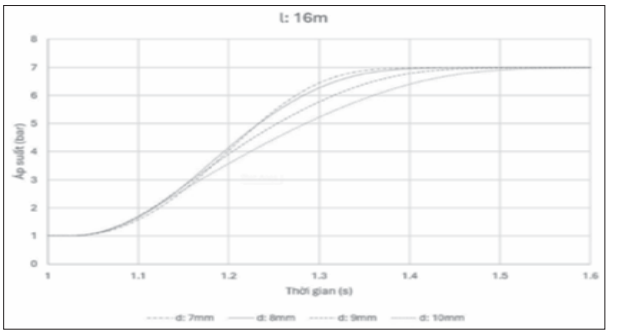
Khi dừng đạp bàn đạp phanh tại một vị trí, áp suất tại A không tăng, tuy nhiên khí từ khoang D tiếp tục cấp vào khoang B, áp suất phía dưới piston trên tiếp tục tăng trong khi áp suất phía trên piston không tăng, sự chênh lệch này làm cho piston trên di chuyển lên trên cho đến khi lực tác dụng phía trên và phía dưới piston trên cân bằng, cả hai van lúc này đóng ổn định áp suất trong bầu phanh. Khi thôi cấp khí từ van phân phối đến A, dưới tác dụng của lò xo hồi vị, cần đẩy 4 và piston đi lên, đóng đường thông từ B sang D và mở đường thông từ B ra môi trường, xả khí ở bầu phanh ra môi trường.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các kết quả trong hình 5 và 6 đã chỉ ra rằng, chiều dài đường ống quyết định lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống. Khi chiều dài đường ống tăng 6m hay 60% có thể gia tăng thời gian tăng áp của bầu phanh thêm 0.2s tương ứng với gần 50%. Điều này cũng chỉ ra ảnh hưởng của tổng phanh là không đáng kể khi chiều dài đường ống lớn. Trong trường hợp không có van gia tốc, đường kính ống tăng lên sẽ làm tăng thời gian phản ứng của hệ thống khoảng 0.05s, khoảng 16% tổng thời gian tăng áp, trong khi đường kính ống 7 và 8 mm có sự sai khác không đáng kể.

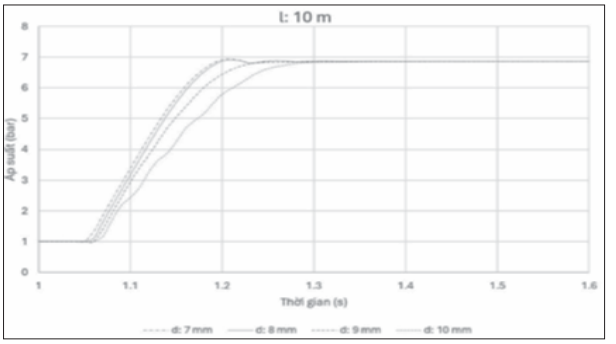


Hình 5. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 10m và không có van gia tốc

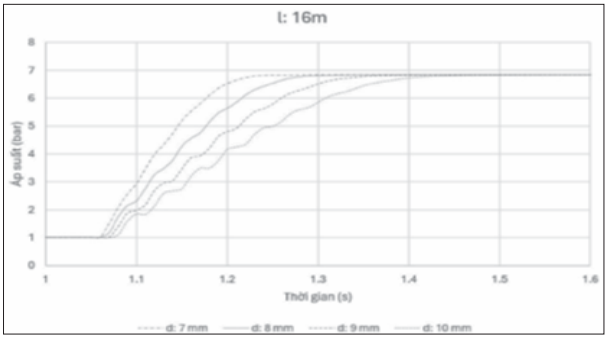


Hình 6. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 16m và không có van gia tốc

Van gia tốc cho thấy vai trò rõ rệt trong giảm thời gian phản ứng của hệ thống. Van gia tốc có thể giảm 28% đến 50% thời gian phản ứng tương ứng với đường kính ống thay đổi từ 10 đến 7mm với hệ thống có chiều dài 10m. Giá trị này khá tương đồng ở hệ thống có chiều dài đường ống 16m. Các kết quả trong hình 7 và 8 cũng cho thấy đường kính ống khí cấp cho van gia tốc tỷ lệ nghịch với thời gian phản ứng. Đường kính ống khi giảm từ 10 mm xuống 7 mm có thể giảm thời gian phản ứng của hệ thống khoảng 70% khi chiều dài đường ống là 16m và 40% tương ứng với chiều dài đường ống là 10m. Đây là con số rất lớn cho thấy ảnh hưởng lớn của đường kính ống đến hoạt động của hệ thống. Điều này được lý giải bởi vì thể tích của van gia tốc nhỏ nên lượng khí đi vào rất ít. Khi tăng đường kính ống có thể giảm cản, tuy nhiên lại tăng lượng khí cần cung cấp cho thể tích ống. ☞



Hình 7. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 10m và có van gia tốc



Hình 8. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 16m và có van gia tốc

4. KẾT LUẬN

Các kết quả trong bài báo đã chỉ ra thông số đường ống dẫn khí và van gia tốc ảnh hưởng rất lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Chiều dài đường ống gia tăng sẽ làm gia tăng đáng kể thời gian phản ứng, trong khi đường kính trong của đường ống lại cho thấy xu hướng ngược lại. Đường ống có đường kính 7 mm là đường kính tối ưu cho hệ thống trong các trường hợp khảo sát, đặc biệt là trong hệ thống có van gia tốc. Van gia tốc có thể giảm từ khoảng 20 đến 50% thời gian phản ứng trong hệ thống ở tất cả các chiều dài đường ống. Từ các kết quả có thể kết luận rằng, đối với các hệ thống có chiều dài đường ống từ 10 đến 16 m sử dụng van gia tốc và đường ống khí có đường kính khoảng 7mm sẽ đem lại hiệu quả cao trong việc giảm thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh khí nén.❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**
Ngày phản biện: **26/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Yang, F., et al., *A new method for analysing the pressure response delay in a pneumatic brake system caused by the influence of transmission pipes*. Applied Sciences, 2017. 7(9): p. 941.

[2]. Bu, F. and H.-S. Tan, *Pneumatic brake control for precision stopping of heavy-duty vehicles*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006. 15(1): p. 53-64.

[3]. Miller, J.I. and D. Cebon, *A high performance pneumatic braking system for heavy vehicles*. Vehicle System Dynamics, 2010. 48(S1): p. 373-392.

[4]. Miller, J.I., L.M. Henderson, and D. Cebon, *Designing and testing an advanced pneumatic braking system for heavy vehicles.* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of mechanical engineering science, 2013. 227(8): p. 1715-1729.

[5]. Pi, D., et al., *A novel pneumatic brake pressure control algorithm for regenerative braking system of electric commercial trucks.* IEEE Access, 2019. 7: p. 83372-83383.

[6]. Devika, K., N. Sridhar, H. Patil, and S.C. Subramanian, *Delay compensated pneumatic brake controller for heavy road vehicle active safety systems*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021. 235(13): p. 2333-2346.

[7]. Chen, Z., et al., *Fault injection strategies for air brake system of high-speed train with AMESim/Simulink co-simulation. IFAC-PapersOnLine,* 2022. 55(6): p. 803-808.

[8]. Wang, Z., et al., *An experimental study on hysteresis characteristics of a pneumatic braking system for a multi-axle heavy vehicle in emergency braking situations*. Applied Sciences, 2017. 7(8): p. 799.

[9]. Acarman, T., U. Ozguner, C. Hatipoglu, and A.-M. Igusky, *Pneumatic brake system modeling for systems analysis*. 2000, SAE Technical Paper.

[10]. Kulesza, Z. and F. Siemieniako, *Modeling the air brake system equipped with the brake and relay valves.* Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2010(24 (96): p. 5-11.

[11]. He, R. and Z. Jing, *Study on braking stability of commercial vehicles: An optimized air brake system.* Advances in Mechanical Engineering, 2019. 11(5): p. 1687814019848593.

[12]. Palanivelu, S., J. Patil, and A.K. Jindal, *Modeling and optimization of pneumatic brake system for commercial vehicles by model based design approach*. 2017, SAE Technical Paper.

NGHIÊN CỨU GIẢ LẬP HIỆN TƯỢNG RUN CỦA CÁNH TAY BỆNH NHÂN PARKINSON

STUDY ON SIMULATION TREMOR BEHAVIOR OF PARKINSON PATIENT ARM

Đặng Trung Kiên[1], Huỳnh Minh Triết[1], Trịnh Hoài Ân[4], Nguyễn Tấn Tiến[1, 2, 3]
[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[2]DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[4]Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Với những ảnh hưởng từ bệnh lý run tay, các bệnh nhân mắc phải đã gặp phải rất nhiều khó khăn trong các hoạt động hàng ngày, ngoài ra còn ảnh hưởng đến tinh thần và chất lượng cuộc sống của người bệnh. Việc giả lập những hành vi của triệu chứng run tay, đặc biệt là bệnh lý run tay ở bệnh nhân Parkinson, sẽ hỗ trợ trong việc nghiên cứu và phát triển các thiết bị y tế, các dụng cụ tập luyện vật lý trị liệu giúp người bệnh giảm nhẹ hoặc có thể khắc phục được những khó khăn hàng ngày từ bệnh lý run tay.

Từ khóa: *Giả lập run; Triệu chứng run tay; Bệnh nhân Parkinson; Vật lý trị liệu.*

ABSTRACT

With the effects of hand tremor, patients have encountered many difficulties in daily activities, in addition to affecting the patient's spirit and quality of life. By simulating the behavior of hand tremor symptoms, especially hand tremor in Parkinson's patients, it will support the research and development of medical equipment and physical therapy training tools which will help patients alleviate or overcome daily difficulties from hand tremor.

Keywords: *Tremor simulation; Arm tremor; Parkinson patients; Rehabilitation.*

1. TỔNG QUAN

Ngày nay, các thiết bị hỗ trợ, tập luyện vật lý trị liệu đóng vai trò quan trọng trong việc điều trị cho các bệnh nhân, đặc biệt là các bệnh lý liên quan đến tay như triệu chứng run của người mắc bệnh Parkinson. Để phát triển được những thiết bị y tế, thiết bị vật lý trị liệu với độ tin cậy và hiệu quả cao, thì các thiết bị thử nghiệm mô phỏng chuyển động của các triệu chứng bệnh lý góp phần rất lớn trong việc nghiên cứu và thử nghiệm. Trong nghiên cứu trước [1], nhóm đã thực hiện nghiên cứu, đề xuất thiết kế cho mô hình cánh tay robot bốn bậc tự do mô phỏng chuyển động và hành vi run ở cánh tay người. Với nghiên cứu này, nhóm tiến hành thực nghiệm mô phỏng chuyển động run của sáu bậc tự do khớp cầu vai và cơ thể con người nhằm mục đích kích thích chuyển động run cho cánh tay robot bốn bậc tự do [1] ☞

và thử nghiệm hệ mô phỏng run cánh tay người trong tương lai.

1.1. Ảnh hưởng của triệu chứng run ở bệnh nhân Parkinson đến khớp vai

Theo thử nghiệm trong báo cáo về tần số run của chi trên cánh tay của bệnh nhân Parkinson [2], tần số thu được trong khi cánh tay ở trạng thái thả lỏng và trạng thái cố định tư thế được mô tả trong Bảng 1.

Bảng 1. Tần số run của khớp vai bệnh nhân Parkinson theo trạng thái của cơ thể

Trạng thái cơ thể	Tần số run, Hz
Thả lỏng	8.043 ± 2.227
Cố định tư thế	5.829 ± 1.321

Biên độ run của khớp cầu vai trong hai quá trình thả lỏng và di chuyển của cơ thể con người là khác nhau. Khi cơ thể ở trạng thái thả lỏng, các nơ-ron thần kinh hoạt động ít hơn và sự kích thích thần kinh hay các tác nhân không nhiều như khi phải vận động, chuyển động đi lại của con người [3], [4]. Biên độ rung của khớp vai trong hai trạng thái của cơ thể được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Biên độ run của khớp vai

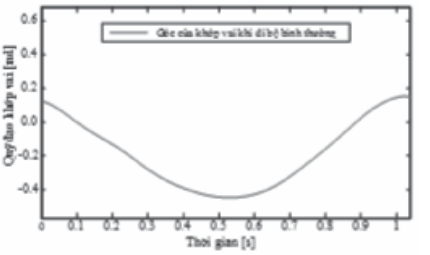
Trạng thái cơ thể	Biên độ run, °
Khi thả lỏng	0.2 ÷ 0.24
Khi di chuyển (đi bộ)	1.9 ÷ 2.4

1.2. Quỹ đạo khớp vai trong chuyển động của cơ thể người

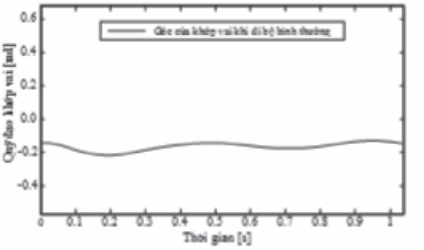
Để thuận tiện trong việc quan sát quá trình chuyển động của khớp vai khi cơ thể người di chuyển với hành động đi bộ bình thường, các mặt phẳng dựa trên cơ thể người được chia thành: mặt phẳng dọc, mặt phẳng trước và mặt phẳng ngang để phục vụ quá trình nghiên cứu.

Hình 1. Mặt phẳng tham chiếu

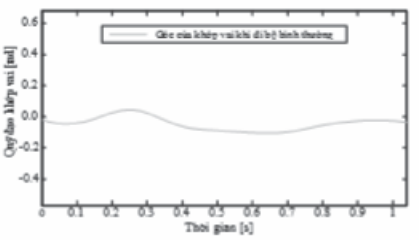
Với việc theo dõi, biểu thị các đường quỹ đạo của khớp vai trong chuyển động đi lại của con người, dựa trên thông tin có sẵn trong một chu kỳ đi bộ bình thường của con người, các thông số được xử lý qua hình ảnh trong suốt quá trình chuyển động [5]. Đường cong quỹ đạo của khớp vai theo mặt phẳng dọc, mặt phẳng trước và mặt phẳng ngang trong quá trình di chuyển của con người được thể hiện trong các Hình 2, 3 và 4.



Hình 2. Khớp vai đo ở mặt phẳng dọc trong quá trình đi bộ



Hình 3. Khớp vai đo ở mặt phẳng trước trong quá trình đi bộ



Hình 4. Khớp vai đo ở mặt phẳng ngang trong quá trình đi bộ

Từ các đường quỹ đạo góc của khớp vai, các dữ liệu đo thu được lớn nhất trong mặt phẳng dọc với góc vung lên phía trước của khớp vai là 21.07° và vung về phía sau của khớp vai là 10.70°.

Kết hợp các nghiên cứu [5], [6], thông số cho quá trình đi bộ của người bình thường được thiết lập trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số của một chu kỳ bước của một người bình thường

Thông số	Giá trị
Độ dài bước, m	0.58 ± 0.03
Thời gian bước, s	0.56 ± 0.04
Nhịp độ bước, bước/phút	109.36 ± 7.02
Tốc độ, m/s	1.05

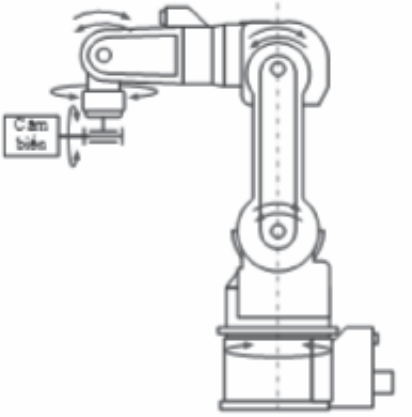
Nhưng với nghiên cứu dựa trên tốc độ thực của các bệnh nhân Parkinson [7], các thông số khớp vai khi đi bộ của bệnh nhân Parkinson được mô tả trong Bảng 4.

Bảng 4. Thông số của khớp vai bệnh nhân Parkinson khi đi bộ bình thường

Thông số	Giá trị
Biên độ khớp vai, °	8.5
Vận tốc góc khớp vai, °/s	60
Tần số bước, Hz	0.9
Tốc độ, m/s	0.42

1.3. Hệ mô phỏng kích thích run 6 bậc tự do khớp vai

Phục vụ cho quá trình mô phỏng thực nghiệm dao động kích thích run của sáu bậc tự do khớp vai và cơ thể người, nhóm nghiên cứu sử dụng cánh tay robot DENSO VC 5353E với cấu trúc mô hình như mô tả trong Hình 5.



Hình 5. Hệ thực nghiệm tay máy và cảm biến

Để kiểm tra, quan sát hệ khớp vai và cơ thể người kích thích dao động run, nhóm nghiên cứu sử dụng cảm biến gia tốc GY-521 6-D.O.F IMU MPU6050 để tiến hành lấy số liệu trong quá trình thực nghiệm.

Hình 6. Cảm biến gia tốc GY-521 6DOF IMU MPU6050

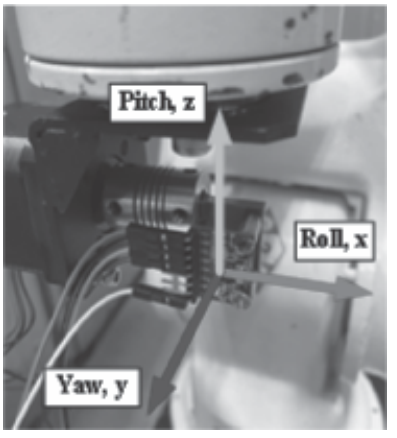
Hệ thực nghiệm sau khi thiết lập được mô tả trong Hình 7. ☞

Hình 7. Hệ thực nghiệm kích thích run khớp vai và cơ thể con người

2. CHUẨN BỊ THÍ NGHIỆM

2.1. Hiệu chỉnh sensor

Tiến hành thử nghiệm gá đặt cảm biến trên tay máy và xác định các góc xoay Roll-Pitch-Yaw (RPY) như mô tả trong Hình 8.

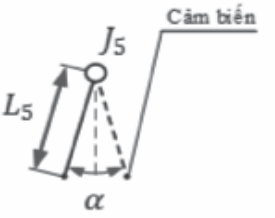


Hình 8. Góc RPY của hệ thực nghiệm

Trong các trường hợp thực nghiệm dưới đây sẽ thực hiện giả lập run trong mặt phẳng dọc để dễ thấy được mối liên hệ giữa chuyển động cơ thể và khớp vai trong quá trình đi bộ. Vì vậy, việc mô phỏng triệu chứng run sẽ dựa trên góc Roll, quay quanh trục X với tần số và biên độ như xác định ở trên.

2.2. Mô phỏng run với 1 bậc tự do quay khớp vai

Nội dung thực nghiệm được thiết kế dựa trên quỹ đạo chuyển động như Hình 9.



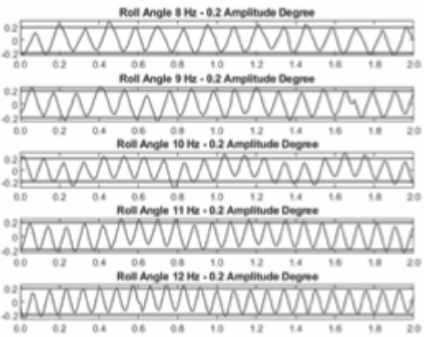
Hình 9. Nguyên lý thử run khớp quay một bậc tự do

Trong trường hợp này, nhóm nghiên cứu thực hiện dao động góc của khớp J5 với số liệu mô tả như Bảng 5.

Bảng 5. Thông số thực nghiệm run một bậc tự do ở khớp vai

Thông số	Giá trị
Biên độ run α, °	0.2
Tần số run f, Hz	8÷12

Kết quả thu được từ thực nghiệm khi cho tay máy run với biên độ 0.2 độ trong thời gian 2 giây với các tần số 8, 9, 10, 11 và 12 Hz mô tả trong Hình 10.



Hình 10. Thông số đo được từ IMU về thay đổi góc Roll trong thử nghiệm run

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

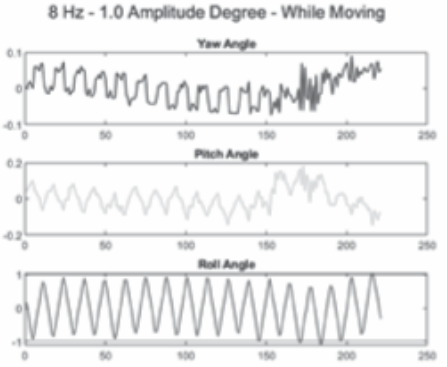
Dữ liệu thu được từ cảm biến IMU MPU6050 về biên độ run trung bình của từng tần số và tần số thực tế được biểu diễn trong Bảng 6.

Bảng 6. Thông số biên độ trung bình và tần số thực thu được cho từng tần số thực nghiệm

Thông số		Giá trị
8Hz	Biên độ trung bình, °	0.19
	Tần số thực, Hz	7.78
9Hz	Biên độ trung bình, °	0.18
	Tần số thực, Hz	9.09
10Hz	Biên độ trung bình, °	0.18
	Tần số thực, Hz	10.0
11Hz	Biên độ trung bình, °	0.21
	Tần số thực, Hz	11.1
12Hz	Biên độ trung bình, °	0.2
	Tần số thực, Hz	11.2

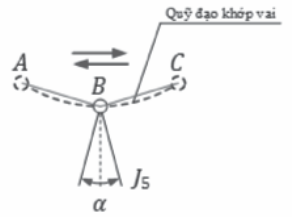
2.3. Mô phỏng run với 2 bậc tự do tương đối của khớp vai với chuyển động của cơ thể người

Trong quá trình chuyển động đi lại của con người nói chung hay bệnh nhân Parkinson nói riêng thì các chuyển động của khớp vai trong mặt phẳng trước và mặt phẳng ngang tương đối nhỏ. Dao động lớn nhất của khớp vai trong khi đi bộ được ghi nhận trong mặt phẳng dọc [4] như mô tả Hình 11.



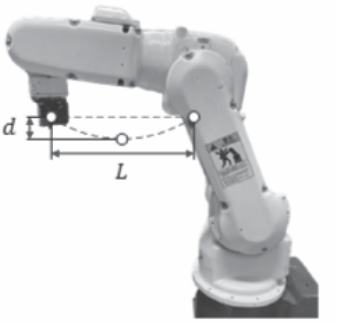
Hình 11. Ảnh hưởng của chuyển động cơ thể và khớp vai đến các góc đo cảm biến

Trong trường hợp thực nghiệm này, nhóm tiến hành dao động của khớp vai trong suốt quá trình chuyển động đi bình thường của con người bằng phương pháp được mô tả trong Hình 12.



Hình 12. Nguyên lý thực nghiệm ảnh hưởng của vận động (đi bộ) cơ thể đến run khớp vai hai bậc tự do

Để đáp ứng quỹ đạo chuyển động như mô tả trên, mô hình thực nghiệm được thiết lập như trong Hình 13.



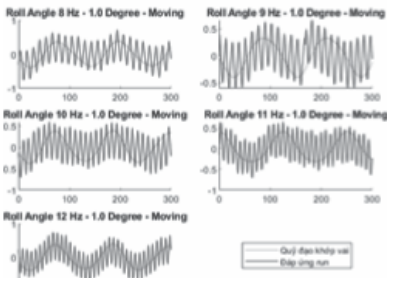
Hình 13. Mô phỏng quỹ đạo của khớp vai trong hoạt động đi bộ

Bằng cách quan sát và thí nghiệm về quỹ đạo khớp vai trong hoạt động đi bộ của các thành viên trong nhóm nghiên cứu, các thông số trong Hình 13 được xác định để lập trình tay máy với d = 6mm, L = 380mm và nội suy hàm quỹ đạo khớp vai theo nghiên cứu [8], [9]:

$$S(t) = s_F[0.4\cos(t) + 0.1\cos(2t + 0.6) \quad (1)$$

Trong đó: s_F là hệ số tỉ lệ dựa theo biên độ vung của góc khớp vai.

Tiến hành thực nghiệm với biên độ run nhỏ hơn và tần số run lớn hơn so với nghiên cứu [5] với biên độ 0.5° và tần số từ 8 ÷ 12 Hz, vận hành tay máy với tần số 0.9 Hz với quãng đường d, L như trên, ta có được kết quả thực nghiệm như Hình 14.



Hình 14. Kết quả thử nghiệm run khớp vai trong quá trình di chuyển (đi bộ) của cơ thể

3. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày về kết quả thực nghiệm kiểm tra hệ tay máy mô phỏng khớp vai kích thích quá trình run của cánh tay con người trong trạng thái thả lỏng và hoạt động đi lại của bệnh nhân Parkinson. Theo kết quả thực nghiệm, với hệ thử nghiệm đã đề xuất sẽ đáp ứng kích thích được hầu như các tần số và biên độ run của bệnh nhân Parkinson với tần số từ 8 ÷ 12 Hz của khớp vai người bệnh trong cả trạng thái thả lỏng và vận động.

Trong tương lai, nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành tích hợp cánh tay 4 bậc tự do đã đề xuất thiết kế [1] lên hệ kích thích trong bài báo này, để tiến hành mô phỏng hành vi run của bệnh nhân Parkinson trên toàn bộ cánh tay và thử nghiệm các thiết bị y tế hỗ trợ người bệnh.

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: **05/4/2024**
Ngày phản biện: **12/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. D.T. Kien, T.H. An, N.T. Tien; *Nghiên cứu thiết kế thiết bị mô phỏng chuyển động và hành vi triệu chứng run ở cánh tay người,* Tạp chí Cơ khí, To appear soon.

[2]. Scanlon, B. K., Levin, B. E., Nation, D. A., Katzen, H. L., Guevara-Salcedo, A., Singer, C., & Papapetropoulos, S. (2013). *An accelerometry-based study of lower and upper limb tremor in Parkinson's disease*. Journal of Clinical Neuroscience, 20(6), 827-830.

[3]. Rahimi, F., Samotus, O., Lee, J., & Jog, M. (2015). *Effective management of upper limb parkinsonian tremor by incobotulinumtoxin A injections using sensor-based biomechanical patterns.* Tremor and Other Hyperkinetic Movements, 5.

[4]. Costanzo, M., Cutrona, C., Leodori, G., De Bartolo, M. I., Fabbrini, A., Vivacqua, G. & Belvisi, D. (2023). *Distal Upper Limb Tremor during Walking in Parkinson's Disease.* Movement Disorders Clinical Practice, 10(8), 1198-1202.

[5]. T. Masato, S. Kazuyoshi. (2001). *Physiological tremor of the upper limb segments*, Eur J Appl Physiol, 85(3-4), pp: 214-225. doi:10.1007/s004210100476.

[6]. Yang, J., Mo, Z., Zhang, Y., Ji, R., Tao, C., & Fan, Y. (2023). *The effects of walking aids on shoulder joint kinematics in older persons: an initial study.* BMC geriatrics, 23(1), 743.

[7]. Warmerdam, E., Romijnders, R., Welzel, J., Hansen, C., Schmidt, G., & Maetzler, W. (2020). *Quantification of arm swing during walking in healthy adults and parkinson's disease patients: Wearable sensor-based algorithm development and validation,* Sensors, 20(20), 5963, doi:10.3390/s20205963.

[8]. Wang, Y., Sheng, Y., Wang, J., & Zhang, W. (2017). *Optimal collision-free robot trajectory generation based on time series prediction of human motion.* IEEE Robotics and Automation Letters, 3(1), 226-233.

[9]. Choi, J. (2021). *Multi-phase joint-angle trajectory generation inspired by dog motion for control of quadruped robot.* Sensors, 21(19), 636.

NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN MÔ HÌNH QUÁ TRÌNH CHÁY VÀ HÌNH THÀNH PHÁT THẢI TRONG ĐỘNG CƠ NHIÊN LIỆU KÉP LPG/DIESEL

STUDY ON SELECTION OF COMBUSTION PROCESS MODELS AND EMISSIONS FORMATION IN LPG/DIESEL DUAL FUEL ENGINE

Nguyễn Văn Du*
Khoa Kỹ thuật Ô tô và Năng lượng, Trường Đại học Phenikaa

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả lựa chọn các mô hình nhiệt động và các mô hình động học phản ứng cháy để mô phỏng quá trình cháy và phát thải của động cơ nhiên liệu kép PLPG/diesel. Sau khi lựa chọn được các mô hình, tác giả thực hiện chạy mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost để kiểm chứng. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các mô hình được lựa chọn phù hợp cho động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG/diesel. Phát thải HC, NO_x, CO và Soot thay đổi phù hợp với các nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước.

Từ khóa: *Nhiên liệu kép LPG/diesel; Phát thải.*

ABSTRACT

This article presents the results of selecting thermodynamic models and combustion reaction kinetic models to simulate the combustion and emissions process of a PLPG/diesel dual fuel engine. After selecting the models, the author ran simulations on AVL-Boost software to verify. Research results show that the selected models are suitable for engines using dual fuel LPG/diesel. HC, NO_x, CO and Soot emissions change in accordance with studies by domestic and foreign authors.

Keywords: *Dual-fuel LPG/diesel; Emissions.*

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Sử dụng nhiên liệu LPG (Liquefied Petroleum Gas – Khí dầu mỏ hóa lỏng) trên động cơ diesel được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu [1]. LPG là loại nhiên liệu ít gây ô nhiễm, đã được nghiên cứu và sử dụng nhiều trên động cơ xăng ở các nước trên thế giới cũng như ở Việt Nam.

Trên động cơ nhiên liệu kép LPG/diesel, với cách thức cung cấp và tạo hỗn hợp đồng nhất của nhiên liệu khí-không khí từ bên ngoài vào xy-lanh còn nhiên liệu diesel được sử dụng làm nhiên liệu phun mồi, LPG có thể thay thế đến 30% diesel mà chưa gây kích nổ, phát thải HC tăng mạnh, NO_x tăng đến 50%, CO và Soot giảm mạnh [2, 3]. ☞

Để đạt được mục đích này, khi sử dụng nhiên liệu LPG trong động cơ diesel cần phải hiểu rõ sự hình thành hỗn hợp và cháy của lưỡng nhiên liệu này trong động cơ, vì quá trình cháy trong động cơ lưỡng nhiên liệu khí/diesel rất phức tạp do có sự kết hợp quá trình tự cháy của nhiên liệu diesel với quá trình cháy lan tràn màng lửa của nhiên liệu khí [4].

Việc nghiên cứu phát triển các mô hình mô phỏng toàn diện về hoạt động của động cơ lưỡng nhiên liệu cho đến nay vẫn còn rất hạn chế, chủ yếu do đặc điểm quá trình cháy của lưỡng nhiên liệu khí/diesel quá phức tạp. Đến nay, cũng đã có một số nghiên cứu về chủ đề này nhưng thường giới hạn ở một số chế độ làm việc nhất định của động cơ [5, 6, 7].

Trong đề tài này, tác giả sẽ xây dựng và phát triển các mô hình nhiệt động với các mô hình toán về động học phản ứng cháy để mô phỏng quá trình cháy của động cơ lưỡng nhiên liệu LPG/diesel với việc tạo hỗn hợp đồng nhất LPG-không khí từ bên ngoài và phun mồi diesel, sau đó với các mô hình đã nghiên cứu, lựa chọn áp dụng trên động cơ nghiên cứu AVL 5402 trang bị hệ thống phun nhiên liệu kiểu tích áp điều khiển bằng điện tử (common rail).

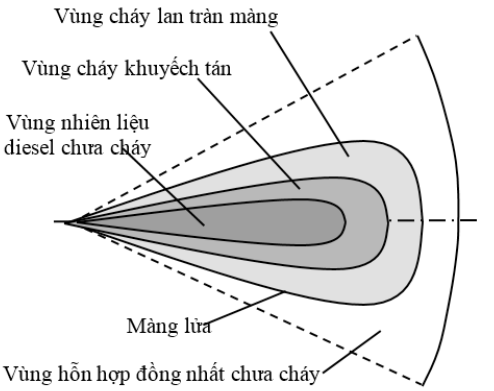
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu các mô hình của các tác giả trên thế giới, tác giả lựa chọn và thực hiện mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost với động cơ AVL 5402 trang bị hệ thống phun nhiên liệu diesel kiểu tích áp (common rail) điều khiển điện tử [2].

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đặc điểm cháy trong động cơ LPG/diesel

Quá trình cháy diễn ra thực sự rất phức tạp, có thể tồn tại đồng thời các quá trình khác nhau như cháy khuếch tán của nhiên liệu diesel với hỗn hợp LPG-không khí, sự lan tràn màng lửa trong vùng hỗn hợp đồng nhất LPG-không khí, sự chuyển động rối và khuếch tán của không khí và LPG vào vùng cháy [2, 8]. Tuy nhiên, để đơn giản cho việc tính toán quá trình cháy trong khi vẫn phản ánh được các hiện tượng cơ bản diễn ra trong quá trình tạo hỗn hợp và cháy, môi chất trong xy-lanh ứng với mỗi tia phun trong quá trình cháy được giả thiết chia thành bốn vùng như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ phân vùng xy-lanh ứng với một tia phun trong quá trình cháy

3.2. Các mô hình toán

3.2.1. Mô hình cháy và tỏa nhiệt [10]

a) Tốc độ cháy của nhiên liệu trong vùng tia phun:

$$\frac{dP}{dt} = \alpha_1 \frac{Q_P}{\Theta_P}(M_P+1).\left(\frac{\theta}{\theta_P}\right)^{M_P} exp\left[-a_1\left(\frac{\theta}{\theta_P}\right)^{M_P+1}\right] + a_2\left(\frac{Q_d}{\Theta_d}\right)\ (M_d+1).\left(\frac{\theta}{\Theta_d}\right)^{M_d} \exp\left[-a_2\left(\frac{\theta}{\theta_P}\right)^{M_d+1}\right]$$

Trong đó, các chỉ số p và d lần lượt chỉ các phần cháy hỗn hợp chuẩn bị trước và cháy khuếch tán; a_1, a_2, M_p và M_d là các hệ số; Q_p và Q_d lần lượt là tổng nhiệt cháy của phần nhiên liệu chuẩn bị trước và tổng nhiệt cháy của phần

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

nhiên liệu cháy khuếch tán; θ là góc quay trục khuỷu tính từ thời điểm cháy; θ_p, θ_d lần lượt là khoảng thời gian cháy tính theo góc quay trục khuỷu của phần hỗn hợp chuẩn bị trước và phần nhiên liệu cháy khuếch tán.

b) Tốc độ cháy của hỗn hợp LPG-không khí bên ngoài tia phun:

Mô hình cháy lan tràn màng lửa kiểu rối được áp dụng để tính toán tốc độ cháy và tỏa nhiệt trong giai đoạn này.

$$\frac{dm_b}{d_t} = \rho_u A_T S_L; \quad S_L = S_{uo}\left[\frac{T_u}{T_o}\right]^{\alpha}\left[\frac{P}{P_o}\right]^{\beta}\left(1-2.06 f_D^{0,733}\right)$$

Trong đó:

T_u – Nhiệt độ hỗn hợp chưa cháy (K);

P – Áp suất hỗn hợp (atm);

T_o, P_o – Nhiệt độ và áp suất môi trường;

f_D – Hệ số khí sót (có thể chọn trong khoảng 0,05-0,06);

ϕ– Tỷ lệ nhiên liệu-không khí tương đối ($\phi = 1/\lambda$).

+ Thành phần sản vật cháy ở trạng thái cân bằng:

Theo Ferguson và Rakopoulos, phương trình phản ứng cháy của nhiên liệu khi xét đến 11 thành phần sản vật cháy là:

$$\varepsilon\phi C_\alpha H_\beta O_\gamma N_\delta + 0.21O_2 + 0.79N_2 \rightarrow v_1CO_2 + v_2H_2O + v_3N_2 + v_4O_2 + v_5CO + v_6H_2 + v_7H + v_8O + v_9OH + v_{10}NO + v_{11}N$$

Trong đó, ε là số mol nhiên liệu cháy với 1 mol không khí; $\phi = \frac{1}{\lambda}$ là nghịch đảo của hệ số dư lượng không khí λ; v_i (i = 1 – 11) là số mol của các thành phần sản vật cháy; $N = \sum_{i=1}^{1} v_i$ là tổng số mol sản vật cháy.

3.2.2. Mô hình hình thành phát thải độc hại

a) Mô hình hình thành phát thải HC [9]:

+ Nguồn HC ban đầu:

- Nguồn HC từ các khe hẹp được tính toán như sau:

Lượng HC không cháy trong khe hẹp:

$$m_{gas-crevice} = \frac{P_{cre}V_{cre}M_{gas}}{RT_{cre}} = \frac{PV_{cre}M_{gas}}{QT_w} = \frac{V_{cre}}{v_{gas}(P,T_w)}$$

Trong đó: P là áp suất trong xy-lanh; V_{cre} là thể tích khe hẹp, M_{gas} là khối lượng mol của hỗn hợp khí cháy; R là hằng số khí; T_w là nhiệt độ xy-lanh; v_{gas} là thể tích riêng của khí không cháy trong khe hẹp tại áp suất p và nhiệt độ T_w.

- Nguồn HC từ nhiên liệu:

Cơ chế hình thành HC từ nguồn này là trong quá trình nén, một phần nhiên liệu bay hơi trong hỗn hợp được màng dầu bôi trơn hấp thụ theo định luật Henry.

$$\frac{\partial Y_f}{\partial t} = D\frac{\partial^2 Y_f}{\partial z^2}$$

Trong đó, Y_f là thành phần khối lượng của nhiên liệu trong lớp dầu, phụ thuộc vào Z và t tức $Y_f = Y_f(Z,t)$. Tại bề mặt thành xy-lanh tiếp xúc với lớp dầu thì Z = 0, và tại bề mặt lớp dầu tiếp xúc với môi chất thì Z =δ (bằng bề dày màng dầu); D là hệ số khuếch tán.

+ Sự ô-xy hoá HC phía sau màng lửa:

$$\frac{d[HC]}{dt} = -C_R A[HC]^a[O_2]^b \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$ ☞

b) Mô hình hình thành phát thải NO_x:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2(1-\alpha^2)\left[\frac{R_1}{1+\alpha K_1} + \frac{R_4}{1+K_4}\right]$$

Trong đó: $\alpha = [NO]/[NO]_e$; $K_1 = R_1/(R_2 + R_3)$; $K_4 = R_4/(R_5 + R_6)$; R_i (với i = 1-6) là các tốc độ phản ứng hóa học của các chuỗi phản ứng.

+ Mô hình hình thành phát thải rắn [10]:

Khối lượng bồ hóng Soot:

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_{s,f}}{dt} - \frac{dm_{s,ox}}{dt}$$

$$\frac{dm_{s,f}}{dt} = A_f \cdot m_{f,v} \cdot p^{0,5} exp\left[\frac{-E_{s,f}}{RT}\right]$$

$$\frac{dm_{s,ox}}{dt} = A_{ox} \cdot m_s \frac{P_{O2}}{P} \cdot p^{1,8} exp\left[\frac{-E_{s,ox}}{RT}\right]$$

Tốc độ ô-xy hoá bồ hóng:

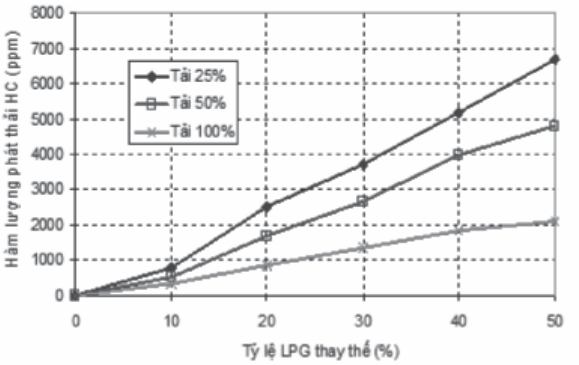
$$\frac{dm_{s,ox}}{dt} = A_{ox} \frac{1}{\tau_{trb}} m_s \left(\frac{P_{O2}}{P_{O2,ref}}\right)^{1,3} \exp\left[-\frac{15,000K}{T}\right]$$

Trong đó: m_s là khối lượng bồ hóng; $m_{f,v}$ là khối lượng nhiên liệu bốc hơi; P_{O2} là áp suất riêng của O_2; $E_{s,f}$ = 52,335 kJ/kmol là năng lượng hoạt hoá; $E_{s,ox}$ = 58,615 kJ/kmol là năng lượng ô-xy hoá; A_f, A_{ox} là các hằng số kinh nghiệm phụ thuộc vào loại động cơ cụ thể.

3.2.3. Kết quả tính toán mô phỏng

Việc tính toán mô phỏng để xác định các thông số đánh giá các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ được thực hiện mô phỏng trên phần mềm AVL Boost, là phần mềm tiên tiến, hiện đại chuyên dùng cho mô phỏng chu trình động cơ đốt trong cho phép xác định các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ với độ tin cậy cao [3].

Phát thải HC (hình 2): Mô hình tạo thành HC được tính toán mô phỏng ở tốc độ định mức n = 3000 v/p với các chế độ tải 25%, 50%, và 100% tải định mức, với các tỷ lệ LPG thay thế thay đổi từ 0% đến 10%, 20%, 30%, 40% và 50% ở mỗi chế độ tải. Khi tăng tỷ lệ LPG thay thế ở các chế độ tải, hàm lượng phát thải HC đều tăng. Ở chế độ tải càng nhỏ thì hàm lượng HC càng tăng mạnh khi tăng tỷ lệ LPG thay thế.

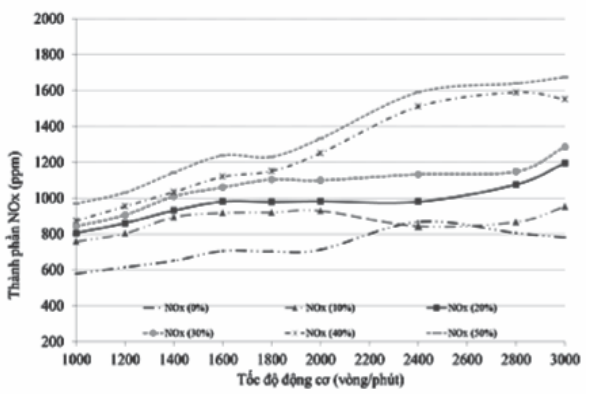


Hình 2. Kết quả mô phỏng phát thải HC ở các chế độ tải và tỷ lệ LPG thay thế khác nhau

Kết quả phát thải HC là phù hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trước đó [3, 7, 8, 9].

Phát thải NO_x (hình 3): Khi càng tăng tỷ lệ LPG thay thế thì nồng độ phát thải NO_x càng có hướng tăng so với trường hợp đơn nhiên liệu, với tỷ lệ LPG 10% thì nồng độ NO_x trung bình tăng 24,08%, khi tỷ lệ LPG là 20%, 30%, 40% và 50% thì nồng độ trung bình của NO_x tăng tương ứng là 37,52%, 49,67%, 70,27% và 83,21%.

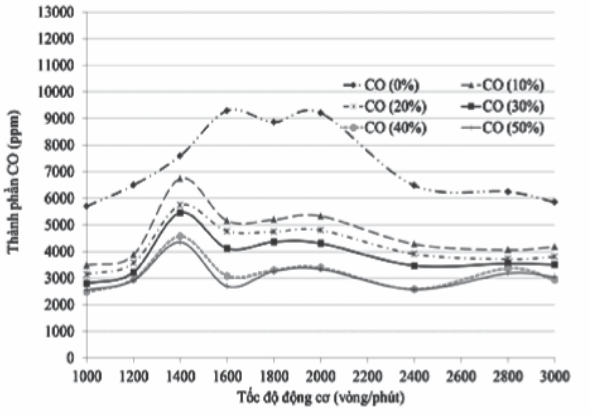
Phát thải NO_x ở toàn tải tăng lên khi tăng tỷ lệ LPG có thể do tốc độ quá trình cháy cao hơn, nhiệt độ cháy cục bộ tăng dẫn tới khả năng hình thành NO_x tăng lên so với trường hợp sử dụng đơn nhiên liệu diesel.



Hình 3. Kết quả mô phỏng phát thải NO_x theo tốc độ động cơ ở các tỷ lệ LPG

Kết quả phát thải NO_x là phù hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trước đó [3, 7, 8].

Phát thải CO (hình 4): Khi tăng tỷ lệ LPG thì nồng độ phát thải CO giảm so với trường hợp đơn nhiên liệu ở mọi chế độ thử nghiệm. Xét trung bình, với tỷ lệ LPG thay thế 10%, 20%, 30%, 40%, 50% thì nồng độ CO trung bình giảm tương ứng là 35,13%; 41,41%; 46,54%; 55,53% và 56,48%. CO lại được tạo ra trong vùng cháy của nhiên liệu diesel; ở chế độ toàn tải, nhiệt độ của khí cháy cao nên khi tăng tỷ lệ LPG thì quá trình cháy càng thêm mãnh liệt, nhiệt độ tăng cao giúp ô-xy hóa nhanh CO làm cho hàm lượng CO giảm.

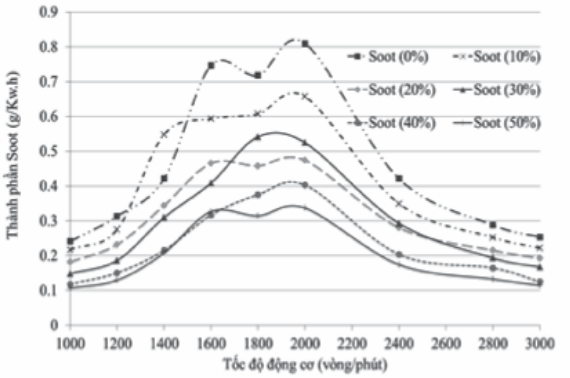


Hình 4. Kết quả mô phỏng phát thải CO theo tốc độ động cơ ở các tỷ lệ LPG

Kết quả phát thải CO là phù hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trước đó [3, 7, 10].

Phát thải Soot (hình 5): Có thể thấy khi tăng tỷ lệ LPG thì phát thải Soot giảm so với trường hợp đơn nhiên liệu ở mọi chế độ thử nghiệm, với tỷ lệ LPG 10%, 20%, 30%, 40%, 50% thì Soot trung bình giảm tương ứng là 9,86%, 32,53%, 34,23%, 50,84% và 56,27%.

Do LPG được hòa trộn với không khí trên đường ống nạp nên hỗn hợp khí nạp vào xy-lanh đồng nhất hơn so với khi chỉ sử dụng nhiên liệu diesel, Soot của khí thải do đó giảm. Kết quả phát thải Soot là phù hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trước đó [3, 7].



Hình 5. Kết quả mô phỏng phát thải Soot theo tốc độ động cơ ở các tỷ lệ LPG

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu trên đã lựa chọn được các mô hình hình thành hỗn hợp và cháy trong động cơ LPG/diesel phù hợp.

Kết quả nghiên cứu có thể định hướng cho việc nghiên cứu thực nghiệm sử dụng nhiên liệu LPG trên các động cơ diesel khác nhau để đưa ra các điều kiện cụ thể khi chuyển đổi động cơ diesel cụ thể sang sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG/diesel.❖

Ngày nhận bài: **02/4/2024**
Ngày phản biện: **02/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Phạm Minh Tuấn, 2008; *Khí thải động cơ và ô nhiễm môi trường*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[2]. Nguyễn Tường Vi; *Nghiên cứu sử dụng LPG làm nhiên liệu thay thế trên các động cơ diesel hiện hành,* Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, 2014.

[3]. Hakan Bayraktar. *Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance*. Energy Conversion and Management 46, 2005.

[4]. D.B. Lata, Ashok Misra. *Theoretical and experimental investigations on the performance of dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuels*. International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) p11918-11931.

[5]. Thyagarajian and Babu. *A combustion model for a dual fuel direct injection diesel engine. Proceedings of COMODIA Symposium on Diagnostics and Modeling of combustion in Reciprocating Engines,* Tokyo 1985, p607.

[6]. Cheikh Mansour, Abdelhamid Bounif, Abdelkader Aris, Françoise Gaillard. *Gas-Diesel (dual-fuel) modeling in diesel engine environment*. International Journal of Thermal Sciences, 40 (2001) P409-424.

[8]. Karim, G. A. and Liu, Z. *A prediction model for knock in dual fuel engine.* SAE transaction 921550, 1992.

[9]. Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals.* McGraw Hill, New York.

[10]. Noboru Miyamoto, et. al. *Description and Analysis of Diesel Engine Rate of Combustion and Performance Using Wiebe's Functions*. SAE paper 850107 (1985).

NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CỦA LIÊN KẾT HÀN KHE HỞ HẸP THÉP CÁC-BON THẤP BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÀN TỰ ĐỘNG DƯỚI LỚP THUỐC

STUDY ON THE QUALITY OF NARROW GAP WELDING JOINTS BETWEEN LOW-CARBON STEELS USING SUBMERGED ARC WELDING METHOD

Nguyễn Văn Nhất*, Nguyễn Minh Tân, Bùi Khắc Khánh
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

TÓM TẮT

Thép tấm có chiều dày lớn được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp như đóng tàu, xây dựng, bình áp lực cao… Thông thường, các tấm thép có chiều dày lớn sẽ được liên kết lại với nhau bằng các phương pháp hàn khác nhau như hàn hồ quang tay, hàn trong môi trường khí bảo vệ hàn MAG, hàn MIG. Tuy nhiên, các phương pháp hàn này khi hàn cho các chi tiết có chiều dày lớn vẫn gặp nhiều khó khăn. Phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc với nguồn nhiệt tập trung, tốc độ hàn lớn đã trở thành một phương pháp hàn hợp lý nhất cho việc hàn dạng liên kết này. Phương pháp hàn này giảm được ứng suất và biến dạng xảy ra trong quá trình hàn, bên cạnh đó còn nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm. Vì vậy, nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc để hàn khe hở hẹp cho thép SS400 có chiều dày 20 mm. Tổ chức tế vi và tính chất cơ học của liên kết hàn đã được khảo sát. Kết quả cho thấy rằng liên kết hàn đạt chất lượng cao, không tồn tại khuyết tật giữa các lớp hàn. Độ bền kéo và độ dai va đập cao hơn so với kim loại cơ bản. Độ cứng thô đại của kim loại mối hàn cũng lớn hơn độ cứng của kim loại cơ bản.

Từ khóa: *Hàn tự động dưới lớp thuốc; Thép các-bon thấp; Độ bền kéo; Độ cứng.*

ABSTRACT

The paper proposes a hydraulic drive system that can be used on a crankshaft press to create a high-pressure vessels. Normally, steel plates with large thicknesses will be bonded together using many different welding methods such as Shielded Metal Arc Welding, welding in MIG and MAG protective gas environments. However, these welding methods still face many difficulties when welding parts with large thickness. The submerged Arc welding method with a concentrated heat source and fast welding speed has become the most reasonable welding method for this connection. This welding method reduces the stress and deformation that occurs during the welding process and is highly productive. Therefore, this study used the submerged arc welding method to weld narrow gaps for SS400 steel with a thickness of 20mm. The microstructure and mechanical properties of the welded joint were investigated. The results show that the weld joint achieves high quality without any defects between the weld layers. Tensile strength and impact toughness are higher than the base metal. The rough hardness of the weld metal is also greater than the hardness of the base metal.

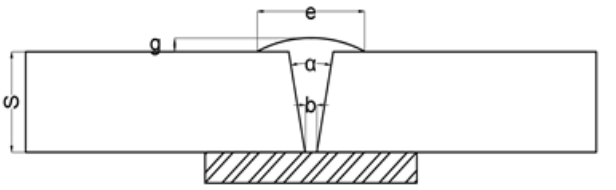
Keywords: *Resistance spot welding; Aluminum alloys; Hardness.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

So với các công nghệ hàn truyền thống thì hàn khe hở hẹp có nhiều ưu điểm hơn như: Giảm tiết diện đường hàn nên tiết kiệm được rất nhiều vật liệu hàn và năng lượng. Ứng suất, biến dạng dạng giảm và đạt độ đồng đều xuyên suốt chiều dày vật hàn. Khe hở sâu và hẹp có lợi cho quá trình luyện kim ở vùng hàn. Tốc độ tản nhiệt cao hơn và lượng nhiệt đầu vào mối hàn thấp hơn dẫn đến các tổ chức tế vi nhỏ hơn nhiều. Ngoài ra, độ bền và độ dẻo của vùng ảnh hưởng nhiệt được cải thiện đáng kể và độ dai va đập cũng tăng lên. Tuy nhiên, việc hàn khe hở hẹp cũng gặp phải những khó khăn đó là khó làm ngấu chảy phần thành chi tiết cơ bản, lượng kim loại bắn tóe cũng sẽ ảnh hưởng tới chất lượng của liên kết hàn. Để giải quyết những vấn đề này thì các nhà nghiên cứu trên thế giới đã áp dụng rất nhiều phương pháp hàn khác nhau vào hàn khe hở hẹp, cụ thể: Zhao và các đồng nghiệp [1] đã ứng dụng phương pháp hàn laser để hàn liên kết giáp mối khe hở hẹp thép Q345D; Nhóm tác giả Li và các đồng nghiệp của mình [2] đã nghiên cứu sử dụng kết hợp giữa hàn laser, hàn laser có dây bù và phương pháp hàn kết hợp giữa laser và GMAW để hàn cho liên kết hàn chữ Y nhiều đường, nhiều lớp; Phương pháp hàn GMAW đã được nhóm Ni và các đồng nghiệp [3] sử dụng để hàn cho thép có độ bền cao. Nhóm đã tiến hành kiểm tra về tổ chức tế vi và tính chất cơ học của liên kết hàn. Kết quả chỉ ra rằng, nhiệt đầu vào ảnh hưởng đến tổ chức tế vi và tính chất cơ học của mối hàn; Nhóm Jian và các đồng nghiệp [4] đã nghiên cứu ảnh hưởng của từ trường dọc đến sự hình thành hạt trong hàn TIG khe hở hẹp. Kết quả cho thấy dưới tác dụng của từ trường dọc, toàn bộ hồ quang hàn bị lệch và dao động giữa hai thành bên. Mặc dù đã có khá nhiều các công bố về hàn khe hở hẹp với những phương pháp hàn khác nhau, tuy nhiên các nghiên cứu về hàn khe hở hẹp bằng phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc vẫn còn hạn chế. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu chất lượng của liên kết hàn khe hở hẹp giữa các tấm thép các-bon thấp bằng phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc. Trong công bố này, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu về sự hình thành liên kết hàn, độ bền kéo tối thiểu, độ cứng và độ dai va đập của liên kết hàn.

2. QUÁ TRÌNH HÀN

Việc chọn vật liệu cơ bản làm mẫu hàn phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, tính công nghệ và tính ứng dụng trong thực tế sản xuất. Trong hầu hết các kết cấu được chế tạo bằng phương pháp hàn thì thường sử dụng thép các-bon thấp với nhiều loại chiều dày khác nhau. Các thông số và kích thước liên hàn thép SS400 như hình 1, với góc vát α = 6°, khe hở b = 10 mm, chiều rộng mối hàn e = 20 mm, chiều dày vật liệu S = 20 mm, chiều cao mối hàn g = 2 mm. Thành phần hóa học của kim loại cơ bản được chỉ ra như trên bảng 1. Để hình thành liên kết hàn và giữ cho thuốc hàn không chảy qua khe hở hàn, ta dùng tấm lót đáy có kích thước 12 x 120 x 400 mm.



Hình 1. Liên kết hàn thực nghiệm

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép SS400 (Wt%) [5]

Tên vật liệu	Fe	C	Si	Mn	P	S
SS400	Bal.	0.16	0.16	0.67	0.014	0.006

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

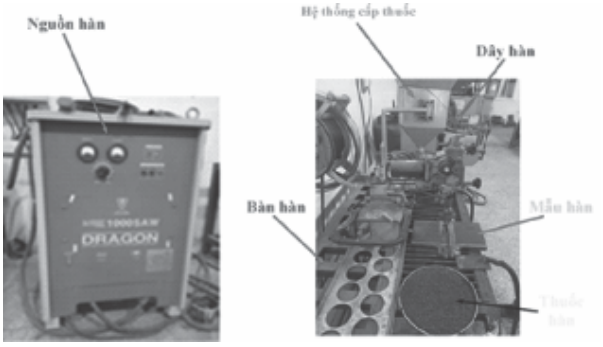
Để thu được một liên kết hàn có chất lượng tốt, dây hàn cần được lựa chọn phù hợp với thành phần hóa học với kim loại cơ bản, do đó nghiên cứu này đã dùng dây hàn AWS.17. EL12 với đường kính dây hàn d = 3.2 mm. Thành phần hóa học của dây hàn được chỉ ra trong bảng 2. HJ431-GB/T5293-1999 là loại thuốc hàn sử dụng trong quá trình hàn và thành phần hóa học của nó được chỉ ra trong bảng số 3. Quá trình hàn được thực hiện bằng máy hàn tự động dưới lớp thuốc DC Dragon 1000SAW với bộ thông số hàn là I_h = 500 (A), V_h = 16 (m/h) và U_h = 34 (V). Việc hàn thí nghiệm được thực hiện lặp lại ba lần và dùng ba mẫu đó để tiến hành kiểm tra. Bộ thông số hàn ở trên có được thông qua tính toán bằng công thức thực nghiệm, dựa trên các nghiên cứu đã được công bố trước đó và dựa trên quá trình hàn thực nghiệm mà có. Thiết bị và quá trình hàn được chỉ ra như trong hình 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học của dây hàn AWS.17.EL12 (Wt%) [6]

Tên vật liệu	C	Si	Mn	Cu	P	S
AWS.17.EL12	0,04-0,14	< 0,1	0,25-0,06	< 0,35	< 0,03	< 0,03

Bảng 3. Thành phần hóa học của thuốc hàn HJ431 (Wt%) [7]

Tên vật liệu	$Si0_2$	Fe0 + Mn0	Ca0 + Mg0	CaF_2	$Al_20_3 + Ti0_2$
HJ431	40-50	30-40	5-15	3-10	< 1,8



Hình 2. Thiết bị và quá trình hàn tự động dưới lớp thuốc

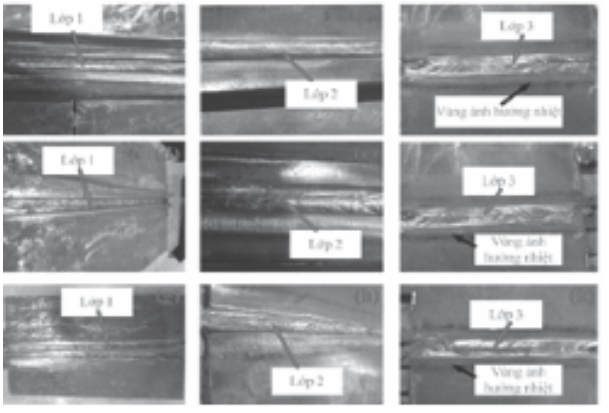
Liên kết hàn cũng được chuẩn bị đúng yêu cầu kỹ thuật, các tấm kim loại cơ bản được ghim chặt xuống mặt bàn gá phôi để tránh sai lệch vị trí trong quá trình hàn và cũng nhằm mục đích làm giảm biến dạng sinh ra khi hàn. Để đánh giá chất lượng của liên kết hàn thì tổ chức tế vi và tính chất cơ học gồm có độ bền kéo, độ dai va đập và độ cứng đã được lựa chọn để khảo sát. Các mẫu kiểm tra tổ chức tế vi được cắt vuông góc với đường hàn. Các mẫu kiểm tra độ bền kéo và độ dai va đập cũng đã được chuẩn bị theo mẫu tiêu chuẩn.

3. KẾT QUẢ KIỂM TRA VÀ THẢO LUẬN

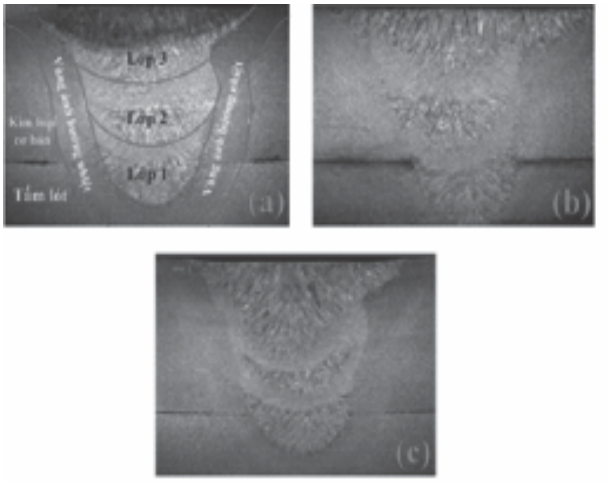
3.1. Sự hình thành đường hàn

Quá trình hàn được thực hiện lặp lại ba lần và mỗi mẫu sẽ được hàn ba lớp. Hình ảnh của các lớp hàn được chỉ ra trong hình 3. Hình 3a, 3b, 3c chỉ ra hình ảnh ba lớp hàn của mẫu thứ nhất; hình 3d, 3e, 3f là hình ảnh của ba lớp hàn trong mẫu hàn 2; hình 3g, 3h, 3k là hình ảnh của các lớp hàn cho mẫu hàn thứ ba. Thông qua hình ảnh ở trên có thể thấy rằng lớp 1 và lớp 2 của tất cả ba mẫu đều đạt được độ ngấu, ☞

không tồn tại các khuyết tật như cháy cạnh, rỗ xỉ hay rỗ khí. Với lớp 3 thì kim loại mối hàn đã phủ được toàn bộ phần cạnh hai bên của liên kết hàn. Bề mặt của các mẫu hàn cũng không tồn tại các khuyết tật, điều này có thể khẳng định rằng chế độ hàn sử dụng cho nghiên cứu này đã được lựa chọn chính xác. Với một chế độ hàn hợp lý sẽ cho một liên kết hàn có chất lượng cao. Vùng ảnh hưởng nhiệt đã được chỉ rõ trên các hình 3c, 3f, 3k, vùng ảnh hưởng nhiệt nhỏ nên các mẫu hàn có sự co ngang không nhiều dẫn đến mẫu không bị cong vênh lớn. Hình ảnh của các lớp hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt được chỉ rõ hơn qua ảnh marcro mặt cắt ngang mối hàn trên hình 4. Qua ảnh marcro, ta thấy độ ngấu tốt giữa kim loại mối hàn với kim loại cơ bản cũng như kim loại mối hàn với kim loại lót đáy. Các lớp hàn được phân biệt rõ qua các viền chảy, tất cả các mẫu không có xuất hiện các khuyết tật như nứt, cháy cạnh hoặc không ngấu mép, rỗ khí, lẫn xỉ.



Hình 3. Hình ảnh các lớp hàn



Hình 4. Tổ chức tế vi mặt cắt ngang mối hàn

3.2. Phân tích về cơ tính của liên kết hàn

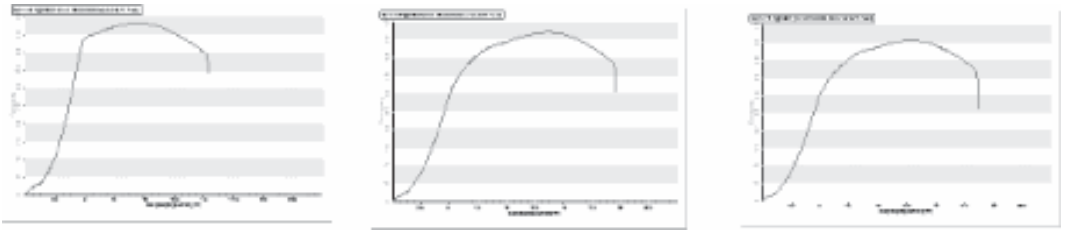
3.2.1. Độ bền kéo của kim loại mối hàn

Độ bền kéo của kim loại mối hàn được kiểm tra trên thiết bị UNITEST-E-20, theo tiêu chuẩn TCVN 8311:2020. Kết quả của độ bền kéo được chỉ ra trong bảng 4 và đồ thị thể hiện kết quả độ bền kéo cũng được chỉ ra trên hình 5. Từ kết quả cho thấy cả ba mẫu hàn có độ bền kéo xấp xỉ nhau. Độ dãn dài cũng như độ thắt tỷ đối của các mẫu hàn có sự chênh lệch nhau không lớn. Độ bền kéo đạt được của các mẫu là lớn hơn so với độ bền kéo tối thiểu của vật liệu cơ bản SS400. Điều này cho thấy rằng chất lượng của liên kết hàn đạt được là rất tốt và phù hợp với các khảo sát về tổ chức marcro, sự hình thành các lớp hàn trong các mẫu. Trong khảo sát tổ chức marcro không cho tìm thấy các khuyết tật của liên kết hàn.

Bảng 4. Kết quả kiểm tra độ bền kéo

STT	I_h (A)	V_h (m/h)	U_h (V)	σ_b (Mpa)	Độ dãn dài	Độ thắt tỷ đối
1	500	16	34	558	12.6	60
2	500	16	34	555	12.5	60
3	500	16	34	550	12.0	55

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 5. Đồ thị thể kiện kết quả kiểm tra độ bền kéo

3.2.2. Độ dai va đập

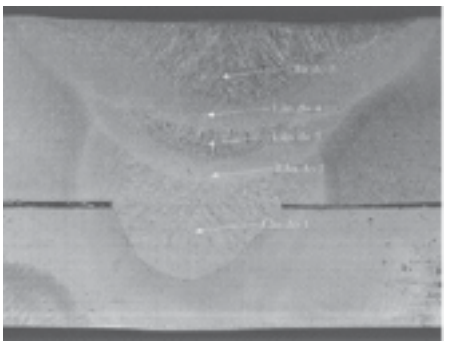
Độ dai va đập mối hàn các mẫu thực nghiệm được kiểm tra đánh giá tại Trung tâm Đánh giá hư hỏng Vật liệu (COMFA) thuộc Viện Khoa học Vật liệu, theo phương pháp ASTM 123-02 bằng thiết bị RKP 450/Zwich. Độ dai va đập của ba mẫu hàn cũng có kết quả xấp xỉ nhau và kết quả của độ dai va đập được chỉ ra như trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả kiểm tra độ dai va đập

STT	Tên mẫu	Nhiệt độ thử nghiệm	Năng lượng hấp thụ	Độ dai va đập	Ghi chú
		°C	J	J/Cm^2	
1	M01	0	95	111.1	Các mẫu đều đứt
2	M02	0	103	110.4	
3	M03	0	100	116.6	

3.2.3. Độ cứng của kim loại mối hàn

Độ cứng mối hàn các mẫu thực nghiệm được đánh giá tại Trung tâm Đánh giá hư hỏng Vật liệu (COMFA), theo phương pháp TCVN 258-1: 2007, bằng thiết bị AVK-C0/ Mitutoyo. Các mẫu kiểm tra độ cứng được cắt vuông góc với đường hàn, trên mỗi mẫu sẽ có 5 vị trí đo như hình 6. Kết quả đo độ cứng của mẫu hàn được chỉ ra trong bảng 6.



Hình 6. Vị trí đo độ cứng

Bảng 6. Bảng kết quả kiểm tra độ cứng của mẫu hàn

STT	Tên mẫu	Kết quả đo độ cứng, HV10					Độ cứng trung bình HV10
		Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	Điểm 5	
1	M01	159	150	151	148	158	153.2
2	M02	173	151	147	145	165	156.2
3	M03	151	154	162	145	163	155.0

4. KẾT LUẬN

Từ quá trình phân tích về sự hình thành mối hàn và đặc tính cơ học của liên kết hàn khe hở hẹp của thép SS400 bằng phương pháp hàn tự động dưới lớp thuốc, bài báo này có thể chỉ ra một số kết luận chính như sau:

Chế độ hàn lựa chọn để thực hiện quá trình hàn là phù hợp với dạng liên kết, các mẫu hàn đảm bảo độ ngấu chân và vách của mối hàn. Mẫu hàn không có sự tồn tại của các khuyết tật như không ngấu, cháy cạnh, nứt, rỗ khí và lẫn xỉ.

Độ bền kéo của kim loại mối hàn lớn hơn so với độ bền kéo của kim loại cơ bản phù hợp với những khảo sát từ sự hình thành mối hàn và tổ chức marcro.

Lời cảm ơn:

Bài báo này không nhận được sự hỗ trợ về tài chính của một đề tài nghiên cứu nào.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2024**
Ngày phản biện: **25/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Zhao, Yong, et al. "*Narrow-gap laser welding using filler wire of thick steel plates*". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 93 (2017): 2955-2962.

[2]. Li, Ruoyang, et al. "*A study of narrow gap laser welding for thick plates using the multi-layer and multi-pass method*". Optics & Laser Technology 64 (2014): 172-183.

[3]. Ni, Zhida, et al. "*Microstructure and mechanical properties of the ternary gas shielded narrow-gap GMA welded joint of high-strength steel*". Crystals 12.11 (2022): 1566.

[4]. Jian, Xiaoxia, and Hebao Wu. "*Influence of the longitudinal magnetic field on the formation of the bead in narrow gap gas tungsten arc welding*". Metals 10.10 (2020): 1351.

[5]. Nguyen, Van Nhat, et al. "*An investigated of butt joint between aluminum alloy A5052 and stainless steel SS400 by using MIG welding method*". 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI). IEEE, 2017.

[6]. Van Thoai Le, Van Nhat Nguyen B. "*Optimizing technological parameters of submerged Arc welding method with additional metal powder for the weld size*". Proceedings of the International Conference on Advanced Mechanical Engineering, Automation, and Sustainable Development 2021 (AMAS2021). Springer Nature, 2022.

[7]. Y. Han, C. Jia, C. He, M. Zhang, S. Maksymov, and C. J. M. Wu, "*Investigation on the Metal Transfer and Cavity Evolution during Submerged Arc Welding with X-ray Imaging Technology*". Vol. 13, no. 11, p. 1865, 2023.

GIAO THOA KẾ HETERODYNE SỬA ĐỔI VỚI HAI TẦN SỐ TÁCH BIỆT TRONG KHÔNG GIAN CHO PHÉP ĐO DỊCH CHUYỂN NHỎ

HETERODYNE INTERFEROMETER WITH SEPARATED FREQUENCIES IN SPACE FOR SMALL DISPLACEMENT MEASUREMENT

Nguyễn Thành Đông*
Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một giao thoa kế Michelson sửa đổi để nâng cao độ phân giải trong phép đo. Trong hệ này, tia laze tới từ nguồn He-Ne được ổn định tần số theo nguyên lý Zeeman được tách riêng các tần số f_1 và f_2 trước khi gửi tới giao thoa kế để tránh hiện tượng lỗi phi tuyến theo chu kỳ trong phép đo. Phương pháp khuếch đại khóa tần (LIA) với tần số cắt phù hợp và độ nhạy cao xác định sự thay đổi pha liên quan đến dịch chuyển. So sánh hai phép đo từ giao thoa kế và cảm biến điện dung cho thấy các kết quả tương đồng. Sai số giữa hai kết quả đo là ~70 nm trên vùng đo 2 µm. Kết quả từ LIA có thể lọc nhiễu tốt hơn so với cảm biến điện dung do dùng bộ lọc thông thấp phù hợp.

Từ khóa: *Giao thoa kế heterodyne; Đo dịch chuyển nhỏ; Khuếch đại khóa tần; Độ phi tuyến theo chu kỳ.*

ABSTRACT

This paper shows a modified Michelson interferometer for enhancing resolution in displacement measurement. In this system, the ingoing laser beam from a commercial He-Ne source, which is frequency-stabilized using the Zeeman effect, is spatially separated by frequencies f_1 and f_2 before sending to the interferometer. This approach reduces periodic nonlinearity during measurement. The phase variation related to displacement is determined by a lock-in amplifier (LIA) with an appropriate cutoff frequency and a high sensitivity. A comparison between measurements obtained from the interferometer and a capacitive sensor reveals that the results are in good agreement, with a deviation of approximately 70 nm over a measurement range of 2 µm. The LIA results exhibit superior noise filtering compared to the capacitive sensor, owing to suitable low-pass filters.

Keywords: *Heterodyne interferometry; Displacement measurement; Small displacement measurement; Lock-in amplifier; Periodic nonlinearity.*

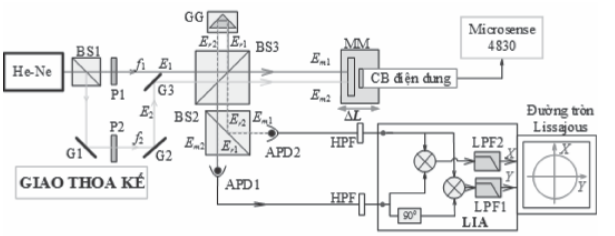
1. GIỚI THIỆU

Đo lường dịch chuyển chính xác đóng vai trò rất quan trọng trong công nghệ nano, công nghệ sinh học, ngành công nghệ bán dẫn, chế tạo chính xác và đo lường chính xác, đặc biệt là trong việc tạo ra các vi mạch và bề mặt nhỏ hơn với hiệu suất năng lượng hoặc phản ứng vượt trội [1-4]. Việc chế tạo chính xác cao đòi hỏi các phép đo chính xác cao mà không có sự trễ, sai số hay các yếu tố giao thoa nào trong phép đo là điều cần thiết. Khi độ chính xác trong gia công và chế tạo tiệm cận với tỷ lệ na-nô-mét, các phép đo sử dụng các kỹ thuật đo quang học trở nên ngày càng phổ biến, do chúng là phương pháp đo không tiếp xúc và kết quả có thể được thu được nhanh chóng.

Giao thoa kế hai tần số (heterodyne) phát hiện dịch chuyển từ việc lấy thông tin được mã hóa trong pha và/hoặc tần số của sóng ánh sáng hoặc hồng ngoại. Giao thoa kế heterodyne nhạy kém với các nhiễu tần số thấp (thường ảnh hưởng mạnh mẽ trong giao thoa kế homodyne truyền thống), đồng thời phát hiện hướng dịch chuyển của đối tượng đo. Các phép đo dịch chuyển độ phân giải dưới 1 nm sử dụng giao thoa kế heterodyne là giải pháp hữu hiệu phù hợp với nhu cầu ứng dụng trong công nghiệp. Sự phức tạp về cấu trúc và toán học của các hệ giao thoa heterodyne đòi hỏi việc sử dụng một yếu tố mô-đun điện tử, như laze với hiệu ứng Zeeman [5], bộ điều chế quang-điện (EOM) [6, 7] hoặc bộ điều chế quang âm (AOM) [8, 9] để kết hợp với một bộ khuếch đại khóa tần (LIA) và/hoặc chương trình cho phân tích tín hiệu.

Trong bài báo này, một giao thoa kế Michelson sửa đổi được đề xuất để nâng cao độ phân giải phép đo gấp đôi. Tia laze tới được tách riêng thành các tần số f_1 và f_2 với tính phân vuông góc với nhau từ nguồn laze He-Ne thương mại trước khi tới giao thoa kế để ngăn lỗi phi tuyến theo chu kỳ xảy ra. Thuật toán khuếch đại khóa tần (lock-in amplifier, LIA) được sử dụng để thực hiện phát hiện dịch chuyển nhỏ. Một cảm biến điện dung thương mại được sử dụng để quan sát phép đo dịch chuyển giao thoa kế. Một thí nghiệm tạo dịch chuyển gương MM tuyến tính trong một khoảng 2 μm từ 0 đến 10 s. Giao thoa kế và cảm biến điện dung sẽ đo dịch chuyển này. Kết quả đo cho thấy cả hai phương pháp đo có kết quả tương đồng nhau. Với giao thoa kế, kết quả đo có ít nhiễu hơn với kết quả từ cảm biến điện dung. Đây là ưu điểm của giao thoa kế độ phân giải cao với khả năng miễn các nhiễu/lỗi thông thường cao nhưng vẫn đảm bảo khả năng đo chính xác. Phép đo LIA có khả năng lọc nhiễu ngẫu nhiên và nhiễu thông thường tốt giúp hệ đo cải thiện các phép đo dịch chuyển nhỏ tốt nhất. Để cải thiện việc này, khả năng điều chỉnh tần số cắt mềm dẻo trong các bộ lọc thông thấp tương tự trong thiết bị LIA là yếu tố then chốt nhưng vẫn đảm bảo bộ nhạy cao để xác định sự thay đổi pha/dịch chuyển nhỏ của giao thoa kế. Cơ sở lý thuyết giao thoa kế, thuật toán khuếch đại khóa tần LIA, thực nghiệm đo với các lựa chọn thông số của LIA và kết quả đo sẽ được thảo luận sau đây.

2. NGUYÊN LÝ GIAO THOA KẾ HAI TẦN SỐ



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý giao thoa kế sửa đổi hai tần số (heterodyne).
BS – Bộ tách chùm; P – Tấm phân cực;
GG – Gương góc; MM – Gương dịch chuyển;
APD – Cảm biến quang điện; HPF – Bộ lọc thông cao; LPF – Bộ lọc thông thấp

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Hình 1 mô tả nguyên lý hoạt động của giao thoa kế heterodyne sửa đổi đo dịch chuyển nhỏ. Tia sáng từ nguồn laze He-Ne có cặp tần số f_1 và f_2 chênh lệch rất nhỏ ($\Delta_f = f_2 - f_1 \approx 3.6$ MHz với giả sử $f_2 > f_1$) và phương phân cực của chúng vuông góc với nhau. Bộ tách chùm BS1 tách tia laze tới thành hai phần. Phần 1 gửi tới tấm phân cực P1 để chặn tia phân cực f_2 và cho qua tia phân cực f_1 với cường độ điện trường E_1. Phần 2 phản xạ qua gương G1, gửi tới tấm phân cực P_2 để chặn tia phân cực f_1 và cho qua tia phân cực f_2 với cường độ tia E_2, phản xạ qua G_2 và G_3 để tới giao thoa kế. Trong giao thoa kế, tia f_1 tới BS3 tách thành hai phần. Phần 1 với cường độ điện trường E_{r1} tới gương góc GG, phản xạ quay trở lại BS3. Phần 2 với cường độ điện trường E_{m1} tới gương dịch chuyển MM, phản xạ quay trở lại BS3. Tia f_2 tới BS3 chia thành hai phần. Phần 1 với cường độ điện trường E_{r2} tới GG, phản xạ quay lại BS3. Phần 2 với cường độ điện trường E_{m2} tới MM, phản xạ quay lại BS3.

Cường độ điện trường các tia f_1 và f_2 tới GG có thể được biểu diễn như sau:

$$E_{r1}(t) = E_{r01}e^{i\omega_1 t}; E_{r2}(t) = E_{r02}e^{i\omega_2 t} \quad (1)$$

Trong đó: E_{r01} và E_{r02} lần lượt là biên độ cường độ điện trường của E_{r1} và E_{r2}. Ở đây, $\omega_1 = 2\pi f_1$ và $\omega_2 = 2\pi f_2$. Cường độ điện trường của các tia f_1 và f_2 tới gương MM có thể được biểu diễn như sau:

$$E_{m1}(t) = E_{m01}e^{i\omega_1(t-\tau)}; E_{m2}(t) = E_{m02}e^{i\omega_2(t-\tau)} \quad (2)$$

Trong đó, τ là thời gian trễ do MM chuyển động quãng đường ΔL và biểu diễn:

$$\tau = \frac{2n\Delta L}{c} \quad (3)$$

Trong đó, n và c lần lượt là chiết suất và vận tốc ánh sáng trong chân không. Tại BS3, tia f_1 với E_{r1} giao thoa với tia f_2 với E_{m2} và tia f_2 với E_{r2} giao thoa với tia f_1 với E_{m1}. Ở đây, hai vị trí giao thoa được tách riêng biệt trong không gian. Sau đó, các tia giao thoa qua BS2 tới các cảm biến quang điện APD1 và APD2. Tại APD1, tín hiệu giao thoa $I_1(t)$ là:

$$I_1(t) = |E_{r1} + E_{m2}|^2 = \left(E_{r01}e^{i\omega_1 t} + E_{m02}e^{i\omega_2(t-\tau)}\right)\left(E_{r01}e^{-i\omega_1 t} + E_{m02}e^{-i\omega_2(t-\tau)}\right)$$
$$\rightarrow I_1(t) = E^2_{r01} + E^2_{m02} + 2E_{r01}E_{m02}\cos\{\Delta\omega t - \omega_2\tau\} \quad (4)$$

Ở đây, $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$. Tại APD2, tín hiệu giao thoa $I_2(t)$ là:

$$I_2(t) = |E_{m1} + E_{r2}|^2 = \left(E_{m01}e^{i\omega_1(t-\tau)} + E_{r02}e^{i\omega_2 t}\right)\left(E_{m01}e^{-i\omega_1(t-\tau)} + E_{r02}e^{-i\omega_2 t}\right)$$
$$\rightarrow I_2(t) = E^2_{m01} + E^2_{r02} + 2E_{m01}E_{r02}\cos\{\Delta\omega t + \omega_1\tau\} \quad (5)$$

3. PHƯƠNG PHÁP KHUẾCH ĐẠI KHÓA TẦN (LIA)

Hai tín hiệu $I_1(t)$ và $I_2(t)$ được gửi qua bộ lọc thông cao (HPF) để loại bỏ các thành phần tần số thấp, giữ lại thành phần $\Delta\omega$. Phương trình (4) và (5) có thể viết:

$$I_1(t) = A\cos(\Delta\omega t - \omega_2\tau),$$
$$I_2(t) = B\cos(\Delta\omega t + \omega_1\tau), \quad (6)$$

Trong đó, $A = 2E_{r01}E_{m02}$ và $B = 2E_{r02}E_{m01}$. Hai tín hiệu giao thoa sẽ được gửi đến máy đo pha LIA (NF Corporation, LI 5660 băng thông DC – 11 MHz). $I_2(t)$ được chọn là tín hiệu tham chiếu và $I_1(t)$ là tín hiệu đo. $I_2(t)$ được chia thành hai phần, phần 1 giữ nguyên và phần 2 có pha được dịch 90 độ so với phần 1: $I_2'(t) = B_{\sin(\Delta\omega t + \omega 1\pi)}$. Cho $I_1(t)$ nhân với $I_2(t)$ và $I'_2(t)$ được các tích:

$$I_1(t) \times I_2(t) = \frac{AB}{2}\left[\cos\left(2\Delta\omega t + (\omega_1 - \omega_2)\tau\right) + \cos\left((\omega_1 + \omega_2)\tau\right)\right], \quad (7)$$

$$I_1(t)\times I_2(t)=\frac{AB}{2}\left[\sin\left(2\Delta\omega t+(\omega_1-\omega_2)\tau\right)+\sin\left((\omega_1+\omega_2)\tau\right)\right] \quad (8)$$

Các tích sau đó qua các bộ lọc thông thấp (LPF) để loại bỏ các thành phần 2Δω và giữ lại thành phần $(\omega_1+\omega_2)\tau$. Tín hiệu ra của các LPF là:

$$X=\frac{AB}{2}\cos\left((\omega_1+\omega_2)\tau\right), \quad (9)$$

$$Y=\frac{AB}{2}\sin\left((\omega_1+\omega_2)\tau\right). \quad (10)$$

Hai tín hiệu X và Y ra của LIA sẽ được ghi bởi bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC) ở tốc độ 1 kS/s vào máy tính (PC). Đường tròn Lissajous và thuật toán $\tan^{-1}$ sẽ được thực hiện trong PC ở tốc độ 100 kS/s để tìm ΔΦ.

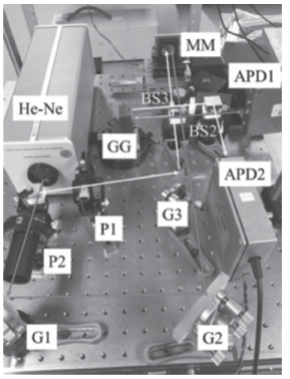
$$\Delta\Phi=\tan^{-1}\left[\frac{\sin\left((\omega_1+\omega_2)\tau\right)}{\cos\left((\omega_1+\omega_2)\tau\right)}\right]=(\omega_1+\omega_2)\tau. \quad (11)$$

Thế (3) vào (11) sẽ được:

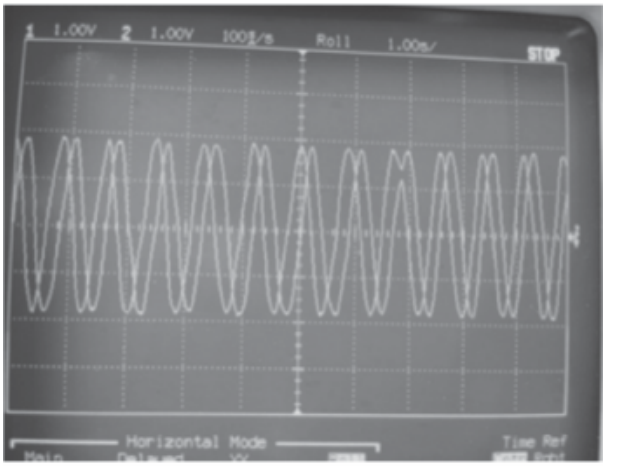
$$\Delta\Phi=(\omega_1+\omega_2)\frac{2n\Delta L}{c}=2\omega_0\frac{2n\Delta L}{c}=2\pi f\frac{2n\Delta L}{c}=\frac{8\pi n\Delta L}{\lambda} \quad (12)$$

Ở đây, đặt $\omega_1+\omega_2=2\omega_0$ có ω_0 là tần số góc trung tâm, trong đó λ (≈ 633 nm) là bước sóng trung tâm của ánh sáng từ nguồn He – Ne trong chân không.

4. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ ĐO

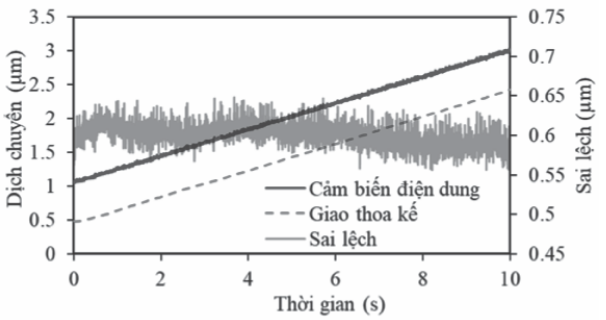


Hình 2. Ảnh thực nghiệm giao thoa kế.



Hình 3. Tín hiệu ra X và Y của LIA

Hình 2 đưa ra ảnh hệ thực nghiệm giao thoa kế heterodyne sửa đổi. Một đầu laze He-Ne (Agilent 5517C) được ổn định tần số theo hiệu ứng Zeeman có cặp tần số sai lệch nhỏ f_1 và f_2 được sử dụng như nguồn sáng. Gương MM được gắn chặt trên bàn dịch chuyển áp điện PZT (Chuo Precision Industrial, tần số cộng hưởng cơ ~100 Hz). Để tạo dịch chuyển của gương MM, bàn PZT được cấp với các tín hiệu điện áp tạo từ một máy phát sóng (FG) được khuếch đại nhờ bộ điều khiển có độ nhạy 1 μm/1 V. Trong thực nghiệm này, PZT được cấp với một tín hiệu tuyến tính với điện áp thay đổi từ 0 đến 2 V trong 10 s. Hai tín hiệu giao thoa trên APD1 và 2 sẽ gửi tới LIA: LI-5660 với độ nhạy 500 mV, hằng số thời gian 10 ms (tần số cắt của LPF = 100 Hz). Hình 3 cho thấy tín hiệu ra X và Y của LIA được hiển thị trên máy đo sóng. X và Y được ghi bởi ADC (NI, PCI 6122, 16 bit) ở tốc độ 1 kS/s. Một cảm biến điện dung (MicroSense, 4830) được sử dụng để xác định dịch chuyển gương MM đồng thời so với giao thoa kế. Nguyên lý cảm biến dựa trên sự thay đổi điện dung và khoảng cách giữa cảm biến và gương MM. Sự thay đổi điện dung do thay đổi điện áp đo sẽ xác định sự thay đổi khoảng cách này.



Hình 4. Kết quả đo dịch chuyển gương từ cảm biến điện dung và giao thoa kế. Gương dịch chuyển tuyến tính do PZT được cấp từ 0 đến 2 V trong 10 s.

Hình 4 cho biết kết quả đo của cảm biến điện dung và giao thoa kế. Hai phương pháp đều đo dịch chuyển gương và có kết quả tương đồng. Sự sai lệch của hai kết quả đo khoảng 70 nm trên vùng đo 2 µm, tương ứng sai số tương đối 3.5 %. Kết quả đo của cảm biến điện dung (nét liền) có vẻ chứa nhiều nhiễu hơn so với của giao thoa kế (nét gạch). Các nhiễu ngẫu nhiên trong đồ thị sai lệch có thể do nhiễu từ cảm biến điện dung mang lại. Sai lệch trên không ổn định nằm ngang mà thay đổi lên xuống từ 0.55 µm tới 0.65 µm. Đây có thể là hai phương đo của cảm biến điện dung và giao thoa kế không song song mà lệch với nhau một góc nhỏ.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một giao thoa kế Michelson với cấu hình sửa đổi để nâng cao độ phân giải được đề xuất. Các tia sáng phân cực vuông góc với nhau với tần số f_1 và f_2 được tách riêng ra khỏi tia laze ban đầu phát ra từ nguồn laze He-Ne thương mại trước khi vào giao thoa kế để tránh xảy ra hiện tượng lẫn gây ra lỗi phi tuyến theo chu kỳ. Sự kết hợp giao thoa kế và phương pháp xác định pha dựa vào kỹ thuật khuếch đại khóa tần có thể thực hiện phép đo dịch chuyển nhỏ với độ phân giải cao. So sánh kết quả đo của giao thoa kế với kết quả đo từ cảm biến điện dung thương mại cho thấy sai lệch là ~70 nm trên vùng đo tuyến tính 2 µm. Lỗi tương đối 3.5 % có thể chấp nhận được đối với phép đo này. Giao thoa kế với cấu hình tách riêng hai tần số trong không gian có ưu điểm giúp hệ đo tránh lỗi phi tuyến theo chu kỳ. Trong tương lai, lỗi chu kỳ sẽ được khảo sát để nâng cao độ chính xác của phép đo áp dụng trong các ứng dụng công nghệ cao hiện đại.

Kinh phí (Funding):

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) dưới đề tài mã số T2022-TT-003.❖

Ngày nhận bài: **06/4/2024**
Ngày phản biện: **07/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Schwenke, H., Knapp, W., Haitjema, H., Weckenmann, A., Schmitt, R., & Delbressine, F. (2008). *Geometric error measurement and compensation of machines-An update*. CIRP Ann. - Manuf. Techn. 57(2), 660-675.

[2]. Rahim Soomro, T., & Sarwar, M. (2013). *Impact of Smartphone's on Society*. In Eur. J. Sci. Res (Vol. 98, Issue 2).

[3]. He, Z., Fu, J., Zhang, L., & Yao, X. (2015). *A new error measurement method to identify all six error parameters of a rotational axis of a machine tool.* Int. J. Mach. Tool. Manu. 88, 1-8.

[4]. Pandikumar, S., and Sumathi, M. (2015). *Investigation on the Revolution and Need of Energy Efficient Smartphone Development*. Int. J. Comput. Appl (Vol. 117, Issue 11).

[5]. Nguyen, T. D., and Dinh, G. N. (2023). *Stability and Resolution of a Conventional Displacement Measuring Heterodyne Interferometer Using a Single Phase-Locked Loop.* Exp. Mech. 63(6), 1015-1032.

[6]. Yim, S. H., Lee, S.-B., Kwon, T. Y., Shim, K. M., & Park, S. E. (2019). *Optical phase-locking of two extended-cavity diode lasers by serrodyne modulation*. Applied Optics, 58(10), 2481.

[7]. Hsieh, M. C., Liao, C. H., & Lin, J. Y. (2020). *Optical relative humidity sensor based on a polyvinyl alcohol film and a phase-enhancement total-internal-reflection heterodyne interferometer.* Sens Actuators A. 316.

[8]. Chiu, M.-H., Tan, C.-T., Wang, C., & He, J.-N. (2021). *Phase sensitive optical rotation measurement using the common-path heterodyne interferometry and a half-wave plate at a specific azimuth angle*. OSA Contin. 4(1), 239.

[9]. Straube, G., Fischer Calderón, J. S., Ortlepp, I., Füßl, R., & Manske, E. (2021). *A Heterodyne Interferometer with Separated Beam Paths for High-Precision Displacement and Angular Measurements.* Nanomanufacturing and Metrol. 4(3), 200–207.

ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG CỦA SỢI NỒI KHUYÊN CỌC VÀ SỢI OE RÔ-TO CHI SỐ THẤP

EVALUATING SOME QUALITY PARAMETERS OF LOW COUNT RING YARN AND OE ROTOR YARN

Hoàng Thanh Thảo*, Nguyễn Minh Tuấn
Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu và đánh giá một số chỉ tiêu chất lượng như độ không đều chi số, độ bền, độ không đều độ bền, độ không đều Uster, ngoại quan của sợi nồi khuyên cọc (NKC) và sợi OE rô-to (OE). Các loại sợi được nghiên cứu có cùng nguồn gốc nguyên liệu là 100% Cotton. Thí nghiệm được tiến hành với từng cặp sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to có cùng chi số là Ne5, Ne7, Ne12 và Ne16.

Kết quả thí nghiệm cho thấy: Khi kéo sợi OE rô-to chi số sợi thấp, sợi OE rô-to có độ đều về độ nhỏ và độ đều về độ bền tốt hơn, độ bền tương đối của sợi OE rô-to thấp hơn sợi nồi khuyên cọc, độ giãn đứt của sợi OE rô-to khá cao, độ đều Uster của sợi OE rô-to tốt hơn sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to ít khuyết tật hơn sợi nồi khuyên cọc.

Kết quả nghiên cứu giúp nhà sản xuất lựa chọn phương pháp sản xuất sợi phù hợp để tạo ra sợi vừa đảm bảo chất lượng theo yêu cầu của khách hàng, vừa đảm bảo tính kinh tế.

Từ khóa: *Sợi nồi khuyên cọc; Sợi OE rô-to; Chi số thấp.*

ABSTRACT

This paper presents the results of study and evaluation of some quality parameters such as count unevenness, tensile strength, tensile strength uneveness, Uster unevenness, appearance of ring yarn and rotor OE yarn. The researched yarns have same raw material source, which is 100% Cotton. Experiments were conducted with pairs of ring spun yarn and OE rotor spun yarn with the same counts of Ne5, Ne7, Ne12, and Ne16.

The experimental results show that: When spinning low count OE rotor spun yarn, it has better evenness and strength uniformity, relatively lower strength compared to ring spun yarn, elongation of rotor OE yarns is quite high, better Uster evenness, and fewer defects than ring spun yarn.

The research results help manufacturers choose the appropriate yarn production method to create yarn that ensures quality according to customer requirements while also ensuring economic feasibility.

Keywords: *Ring yarn; OE rotor yarn; Low counts.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, tại Việt Nam, sợi OE rô-to đang được sản xuất và sử dụng rộng rãi. Dây chuyền sản xuất sợi OE rô-to ngắn gọn hơn dây chuyền sản xuất sợi nồi khuyên cọc rất nhiều. Nguyên liệu sử dụng cho sản xuất sợi OE rô-to cũng không đòi hỏi khắt khe như nguyên liệu sử dụng cho sản xuất sợi nồi khuyên cọc. Kéo sợi OE rô-to có nhiều ưu thế so với phương pháp kéo sợi truyền thống khi sản xuất sợi có chi số thấp và trung bình.

Quá trình tạo sợi trên máy OE rô-to khác quá trình tạo sợi trên máy kéo sợi nồi khuyên cọc nên các đặc tính của sợi OE rô-to cũng khác biệt so với sợi nồi khuyên cọc. Trên các máy kéo sợi OE hiện đại, tạo ra sợi OE chất lượng cao có một số đặc trưng, tính chất không thua kém mà có tính chất còn hơn so với sợi nồi khuyên cọc, đáp ứng nhu cầu sử dụng khá rộng rãi.

Tuy nhiên, hiện nay tại Việt Nam chưa có nhiều nghiên cứu tìm hiểu về các đặc điểm, tính chất của sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to có cùng chi số. Bài báo này đi sâu tìm hiểu, so sánh một số chỉ tiêu chất lượng giữa hai loại sợi trên, từ đó đưa ra nhận xét, đánh giá nhằm giúp nhà sản xuất lựa chọn được loại sợi phù hợp với các yêu cầu của khách hàng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Đối tượng được tiến hành nghiên cứu là sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to từng đôi một có cùng chi số là Ne5, Ne7, Ne12, Ne16. Đây là các loại sợi được sản xuất tại một công ty sản xuất sợi tại phía Bắc nước ta.

Các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện tiêu chuẩn với nhiệt độ phòng thí nghiệm 20 ± 2^{o}C, độ ẩm tương đối 65 ± 4% tại phòng thí nghiệm của công ty. Tiêu chuẩn thí nghiệm độ không đều chi số: TCVN 5785-1994; tiêu chuẩn thí nghiệm độ bền, độ không đều độ bền: TCVN 5784-1994; tiêu chuẩn thí nghiệm độ không đều Uster, ngoại quan sợi: TCVN 5364-1991.

Tổng hợp kết quả thí nghiệm kết hợp với tính năng tạo biểu đồ của phần mềm Excel 2010 để dựng biểu đồ, sau đó bàn luận và đánh giá về kết quả thực nghiệm.

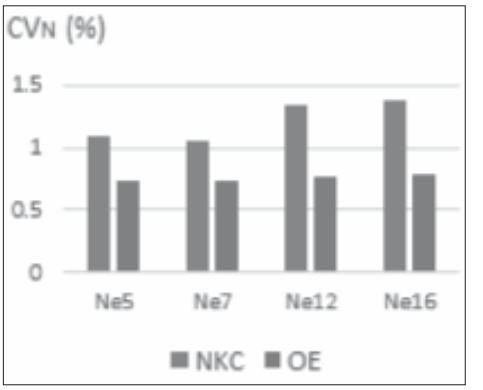
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

3.1. Độ không đều chi số sợi

Sau khi tiến hành thí nghiệm và xử lý số liệu, nhóm tác giả thu được bảng 3.1 tổng hợp kết quả độ không đều chi số sợi. Biểu đồ so sánh độ không đều chi số sợi giữa sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to được biểu diễn trong hình 3.1.

Bảng 3.1. Độ không đều chi số sợi

Chi số sợi	CV_N (%)	
	Sợi NKC	Sợi OE
Ne5	1.09	0.74
Ne7	1.05	0.74
Ne12	1.35	0.76
Ne16	1.38	0.79



Hình 3.1. Biểu đồ độ không đều chi số sợi

Từ biểu đồ trên cho thấy: Độ không đều chi số của sợi OE rô-to thấp hơn sợi nồi khuyên cọc có cùng chi số Ne 5, 7, 12, 16. Điều đó có nghĩa là: nếu chi số sợi trong giá trị phù hợp, thì sợi OE rô-to có độ đều tốt hơn sợi cổ điển cùng chi số, cùng nguyên liệu.

Nhờ quá trình phân chải và tích tụ xơ thành sợi không chịu tác động của bộ kéo dài, nên độ đều đoạn ngắn của sợi OE rô-to tốt hơn hẳn sợi nồi khuyên cọc. Khi kéo sợi OE rô-to trong phạm vi độ nhỏ hợp lý có độ đều về độ nhỏ rất cao.

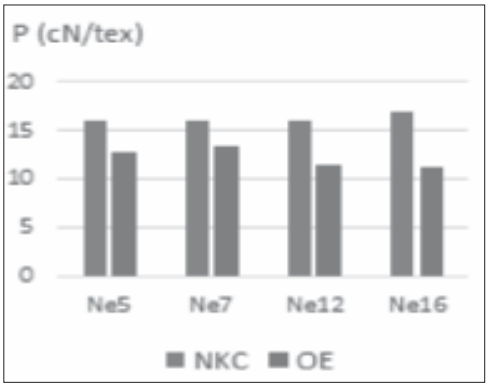
Chi số, độ mảnh của sợi OE rô-to bị giới hạn. Kỹ thuật kéo sợi OE rô-to có hiệu quả hơn khi kéo sợi có chi số thấp và trung bình. Độ nhỏ sợi OE có giới hạn thích hợp trong khoảng 100 – 16.6 tex (Nm 10-60). Nếu sản xuất sợi có chi số cao thì giá thành sẽ rất cao. Tính ổn định của sợi OE rô-to do phần lõi quyết định. Nếu giảm độ nhỏ tức là giảm số lượng xơ trên tiết diện sợi, sợi giảm bền và giảm đều nhiều nhất, không đảm bảo yêu cầu sử dụng.

3.2. Độ bền sợi

Bảng 3.2 tổng hợp kết quả độ bền kéo đứt sợi. Biểu đồ so sánh độ bền giữa sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to được biểu diễn trong hình 3.2.

Bảng 3.2. Độ bền sợi

Chi số sợi	P (cN/tex)	
	NKC	OE
Ne5	16.08	12.85
Ne7	16.02	13.3
Ne12	16.05	11.45
Ne16	16.88	11.16



Hình 3.2. Biểu đồ độ bền sợi

Do sợi OE rô-to có đặc điểm cấu trúc lõi vỏ, nên hệ số sử dụng độ bền xơ trong sợi không cao, các xơ bao ngoài hầu như không tham gia vào lực chống kéo của sợi. Do đó, độ bền đứt của sợi OE không cao, kém nhiều so với sợi nồi khuyên cọc, điều này thể hiện rõ trên biểu đồ 3.2.

Độ bền của sợi OE rô-to không tốt bằng sợi nồi khuyên cọc, chính vì vậy mà sợi OE rô-to có rất nhiều ưu điểm về dây chuyền sản xuất, nguyên liệu,… nhưng vẫn không thay thế được sợi nồi khuyên cọc.

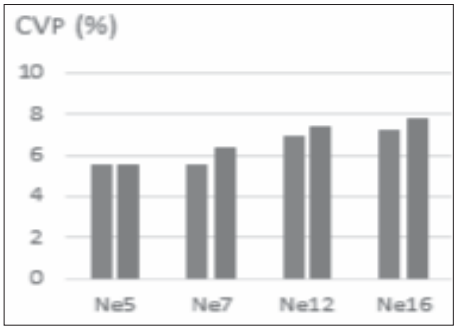
3.3. Độ không đều độ bền sợi

Bảng 3.3 tổng hợp kết quả độ không đều độ bền kéo đứt sợi. Biểu đồ so sánh độ không đều độ bền giữa sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to được biểu diễn trong hình 3.3.

Bảng 3.3. Độ không đều độ bền sợi

Chi số sợi	CV_P(%)	
	NCK	OE
Ne5	5.52	5.52
Ne7	6.41	5.53
Ne12	7.41	6.93
Ne16	7.82	7.21

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 3.3. Biểu đồ độ không đều độ bền sợi

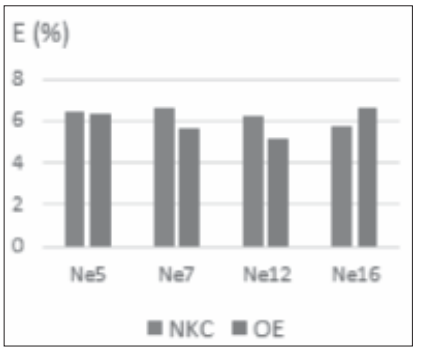
Độ bền tương đối (cN/tex) của sợi OE rô-to thường thấp hơn 10-20% so với sợi nồi khuyên cọc. Tuy nhiên, hệ số biến sai độ bền sợi CV_P (%) của sợi OE rô-to thấp hơn sợi nồi khuyên cọc, tức là sợi OE Rô-to có độ đều về độ bền tốt hơn.

3.4. Độ giãn sợi

Bảng 3.4 tổng hợp kết quả độ giãn sợi. Biểu đồ so sánh độ giãn giữa sợi nồi khuyên cọc và sợi OE rô-to được biểu diễn trong hình 3.4.

Bảng 3.4. Độ giãn sợi

Chi số sợi	E (%)	
	Sợi NKC	Sợi OE
Ne5	6.5	6.31
Ne7	6.61	5.66
Ne12	6.26	5.21
Ne16	5.73	6.63



Hình 3.4. Biểu đồ độ giãn sợi

Sợi OE có độ giãn đứt khá cao. Do trạng thái xơ kém duỗi thẳng song song của các xơ và xơ quấn nhau tạo nên. Khi bị kéo, các xơ bị tác động dần trở về trạng thái duỗi thẳng song song dẫn tới độ giãn đứt lớn.

3.5. Đánh giá ngoại quan sợi

Bảng 3.5 tổng hợp kết quả đánh giá ngoại quan của hai loại sợi OE rô-to và sợi nồi khuyên cọc có cùng chi số, cùng nguyên liệu.

Bảng 3.5. Ngoại quan sợi

Chi số sợi	U (%)		Điểm mảnh		Điểm dày		Kết tạp	
	NKC	OE	NKC	OE	NKC	OE	NKC	OE
Ne5	11.02	12.51	0	0	10	15	5	1
Ne7	12.87	12.72	0	0	64	15	29	3
Ne12	13.56	12.33	2	0	99	11	102	4
Ne16	14.42	12.66	2	0	141	12	118	7

Từ bảng số liệu trên cho thấy: Thân sợi OE rô-to ít khuyết tật và sạch hơn sợi nồi khuyên cọc. Chỉ tiêu này được đánh giá bằng số điểm mảnh, điểm dày, kết tạp trên 1000m thân sợi.

4. KẾT LUẬN

Khi kéo sợi có độ nhỏ hợp lý, chi số sợi trong khoảng thấp hoặc trung bình thì:

- Hệ số biến sai theo độ nhỏ sợi CV_N (%) của sợi OE rô-to thấp hơn sợi nồi khuyên cọc, tức là sợi OE rô-to có độ đều về độ nhỏ tốt hơn.

- Độ bền tương đối P (cN/tex) của sợi OE rô-to thường thấp hơn 10-20% so với sợi nồi khuyên cọc. Sợi OE rô-to có độ đều về độ bền tốt hơn sợi nồi khuyên cọc.

- Độ giãn đứt của sợi OE rô-to khá cao, sợi OE rô-to chi số thấp có độ giãn đứt xấp xỉ sợi nồi khuyên cọc.

- Độ đều Uster của sợi OE rô-to tốt hơn sợi nồi khuyên cọc.

- Sợi OE rô-to ít khuyết tật hơn sợi nồi khuyên cọc, số lượng các điểm mảnh, điểm dày và điểm neps trên 1000 mét thấp hơn tới 60-80% so với sợi nồi khuyên cọc.❖

Ngày nhận bài: **12/5/2024**
Ngày phản biện: **04/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. PGS,TS. Nguyễn Minh Tuấn; Giáo trình "*Cấu trúc sợi*", NXB. Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2017.
[2]. Mazharul Islam Kiron. *Ring spun and Rotor spun yarn: Properties*, Factors and Comparison. November 2, 2021.
[3]. Toufiqua Siddiqua. *Analysis of ring yarn properties produced from different traveller brands*. Bangladesh University of Textiles, June 2019.

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN VẾT NỨT QUANH LỖ ỐC VÍT TRÊN VỎ MÁY BAY

STUDY THE PROBLEM OF CRACKING AT FASTENER HOLES IN FUSELAGE SKIN

Lê Thị Tuyết Nhung
Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Trên thực tế, các vết nứt trên thân máy bay ít được nghiên cứu đến hơn so với các bộ phận khác, tuy nhiên liên quan đến vụ tai nạn máy bay của Aloha Airlines, các vấn đề an toàn trên các máy bay cũ vẫn cần được đầu tư thích đáng nhằm đảm bảo sự an toàn bay. Tuổi thọ mỏi của các chi tiết trên máy bay, đặc biệt các chi tiết có xuất hiện vết rạn nứt nhỏ và cơ chế lan truyền của chúng cần được phân tích kỹ. Trong sự cô lập, mỗi vết nứt quanh các lỗ ốc vít là không quan trọng. Tuy nhiên, đối với các vết nứt riêng lẻ trên các lỗ liên kết trên thân máy bay có thể liên kết với nhau, giao thoa nhau tạo nên vết nứt lớn phá hủy máy bay. Mục đích của nghiên cứu này là dùng phương pháp mô phỏng số trên phần mềm tính kết cấu, dự đoán hướng lan truyền của các vết nứt xung quanh các hàng lỗ trên vỏ máy bay hợp kim nhôm, tính toán các giá trị ứng suất và chuyển vị xung quanh vết nứt, dự đoán hướng lan truyền và sự liên kết giữa các vết nứt với lỗ hổng trên một phần vỏ máy bay.

Từ khóa: *Vết nứt; Vỏ thân máy bay; Cơ học rạn nứt; Lỗ ốc vít.*

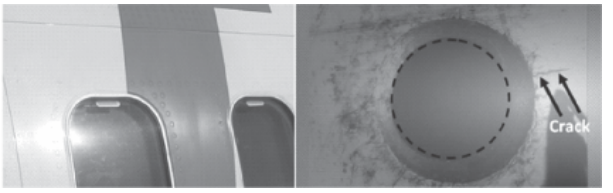
ABSTRACT

In fact, the cracks on the body of the aircraft are less studied than other parts, but with regard to the Aloha Airlines plane crash, safety issues on older aircraft still need to be properly invested in ensuring flight safety. The longevity of the details on the plane, especially those with small cracks and their spread mechanisms, needs to be thoroughly analyzed. In isolation, every crack around the screw holes doesn't matter. However, for the individual cracks on the connective holes on the aircraft body that can be linked together, intersecting creates a large crack that destroys the plane. The purpose of this study is to use a numerical simulation on a structural software to predict the spread of cracks around the lines of holes on the aluminum alloy shell, calculate the stress values and strain around the crack and hole, predict spread directions and linkages between the crack and the hole on a part of the aircraft skin.

Keywords: *Crack; Fuselage; Fracture mechnics; Fastener holes.*

1. TỔNG QUAN

Vấn đề dự đoán ứng xử lan truyền nứt trong chi tiết hàng không, các cuộc điều tra gần đây đã tiết lộ rằng đối với một số lượng lớn các vấn đề kỹ thuật, lịch sử tăng trưởng vết nứt tuân theo định luật Frost-Dugdale [1], cụ thể là đối với phương pháp xấp xỉ đầu tiên, nhật ký của chiều dài vết nứt tỷ lệ thuận với số giờ phục vụ, hoặc số chu kỳ, khi vết nứt hoặc gãy nhanh bị bỏ qua. Nghiên cứu của R. Jones [1] đã cố gắng làm rõ hiện tượng phát triển vết nứt trong các chỗ nối thân máy bay bằng đinh tán và chỉ ra rằng sự phát triển vết nứt từ rìa lỗ cho thấy mối quan hệ tuyến tính gần giữa log (a + r), chiều dài vết nứt và N – số chu kỳ làm việc. Mukhtar 2019 [2] đã tiến hành khảo sát các vết nứt ở xung quanh các lỗ ốc vít và đinh tán ở vị trí quanh thân của cabin. Các vị trí tập trung ứng suất xung quanh các lỗ này chính là sự khởi điểm của hình thành vết nứt quanh lỗ. Đối với quá trình lan truyền nứt và liên kết với nhau giữa vết nứt và các lỗ tiếp theo phụ thuộc vào thời gian cũng như loại tải tác động. Tiếp theo nghiên cứu đó, Mukhtar 2020 [3] tiếp tục đi sâu hơn và mô phỏng tiến triển của vết nứt quanh lỗ vít trên vỏ nhôm của thân máy bay bằng phần mềm CASCA.



Hình 1. a) Vị trí đinh tán xung quanh thân máy bay; b) Vị trí vết nứt nhỏ quanh lỗ [3]

Theo như khảo sát của S. DuBois [4], các vết nứt trên chiếc Boeing 737 vào tháng 4 năm 2011 là từ nguyên nhân mỏi của vật liệu kim loại. Kết luận của khảo sát cho thấy sự phá hủy diễn ra do một vết nứt nằm ở khu vực mối nối ở vỏ thân máy bay.

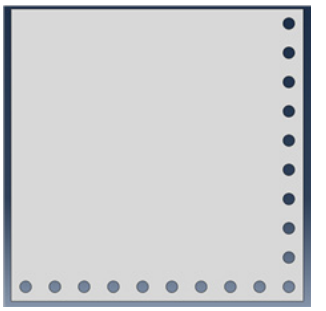
Trong nghiên cứu này, mô hình vết nứt quanh lỗ của tấm chữ nhật kích thước 500 x 500 mm có bố trí các lỗ đinh tán giống như trên máy bay trong nghiên cứu của Mukhtar 2020 được thiết lập, tính toán để dự đoán sự phát triển của vết nứt cũng như khả năng liên kết các vết nứt nhỏ và lỗ đinh tán. Nghiên cứu cũng khảo sát ảnh hưởng của cách đặt lực khác nhau đến đường lan truyền nứt.

2. MÔ HÌNH HÓA VẾT NỨT Ở CÁC LỖ GẮN ĐINH TÁN TRÊN VỎ THÂN MÁY BAY

2.1. Hình học và vật liệu

Mô hình được thiết kế trên phần mềm Abaqus. Kích thước tấm là 500x500 mm^2, kích thước lỗ do không được cung cấp cụ thể nên dựa theo hình vẽ tương đối mà kích thước lỗ được chọn có đường kính 10mm. 19 lỗ ốc vít được bố trí cách đều xung quanh mô tả vị trí lỗ đinh tán của tấm nối cửa sổ trên thân máy bay.

Các thông số của vật liệu hợp kim nhôm sử dụng trên máy bay như sau: Mô-đun đàn hồi 68 Gpa; Hệ số Poisson 0.293; Ứng suất tới hạn dẻo của vật liệu 14 MPa, Ứng suất đứt 22 MPa.



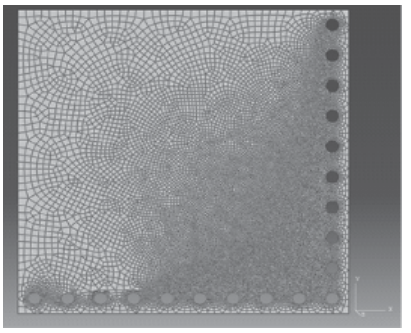
Hình 2. Mô hình tấm vỏ máy bay quanh cabin

2.2. Lưới và điều kiện biên

Trong mô hình mô phỏng sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FE) để nghiên cứu sự nứt vỡ của vỏ máy bay, đặc biệt là quanh

các lỗ. Trong mô hình mô phỏng này, các điều kiện biên cố định ở các lỗ hướng x và y. Sự phân bố tải trọng được áp dụng ở các cạnh trên và bên trái tấm kim loại để tạo ra điều kiện tải dọc trục. Lưới bao gồm 27718 điểm lưới với tiêu chuẩn chất lượng lưới đạt mức tốt.

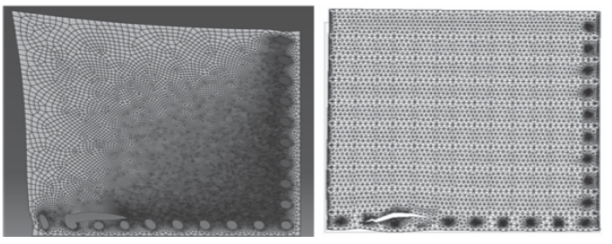
Điều kiện biên cố định được đặt ở hai cạnh bên có các hàng lỗ ốc vít. Điều kiện biên song trục được đặt. Khi mô tả quá trình tải trọng trong mô hình mô phỏng, tải trọng được phân bố song song với mặt phẳng của vết nứt và theo hướng của lực căng chính. Có nghĩa là lực tác động ngược hướng phát triển của vết nứt. Lực cắt được đặt ở mặt trên và có giá trị 1000 Pa.



Hình 3. Chia lưới cả tấm và xung quanh vết nứt

2.3. Kiểm chứng mô phỏng cơ chế lan truyền vết nứt

Với lực đặt dạng lực cắt phân bố đều ở cạnh phía trên, kết quả cho thấy ứng suất tối đa ở vị trí vết nứt là 717 Pa là kết quả biến dạng tối đa là 7.567e6.



(a) *(b)*

Hình 4. Kết quả hướng lan truyền vết nứt trong nghiên cứu này (a) và kết quả của Mukhtar 2020 (b)

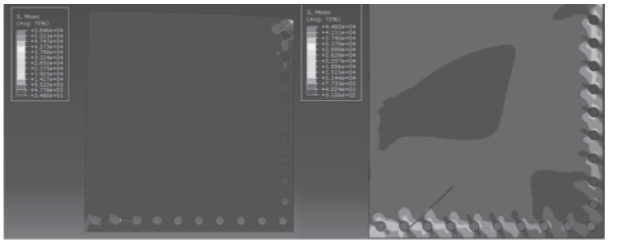
Dựa vào kết quả mô phỏng về sự lan truyền vết nứt và phương lan truyền nứt, kết quả nứt gãy khá phù hợp ở thời điểm ban đầu. Vết nứt ở lỗ đinh tán thứ 2 và thứ 3, sau đó lan truyền đến gần lỗ thứ 4. Hướng đi và cơ chế lan truyền vết nứt là phù hợp với nghiên cứu của Mukhtar.

2.4. Khảo sát ảnh hưởng của phương đặt lực đến vết nứt

Với các phương đặt lực vuông góc (mốt phá hủy I), ta sẽ khảo sát hai kịch bản đặt lực lên tấm:

- Trường hợp 1: Ứng suất phân bố đều. Ứng suất tại mặt trái lớn hơn mặt phải và lần lượt là 10^6 Pa và 8 x 10^5 Pa;

- Trường hợp 2: Ứng suất phân bố đều và chỉ đặt tại một mặt trên của tấm 10^6 Pa.



(a) *(b)*

Hình 5. Kết quả hướng lan truyền vết nứt trong trường hợp 1 (a) và kết quả của trường hợp 2 (b)

Đối với trường hợp tải thứ nhất, vết nứt phát triển từ điểm đặt ban đầu và lan đến đinh tán thứ 3 từ trái sang và dừng lại, ứng suất lớn nhất quanh lỗ là 5,69E4 Pa. Kể cả khi tăng ứng suất tác dụng lên mép trên nhưng chỉ làm cho ứng suất và biến dạng tại các lỗ lớn lên chứ không gây ra vết nứt lan truyền. Đối với trường hợp tải thứ 2, áp suất phân bố đều được đặt trên mép trái lớn hơn mép trên để theo dõi khả năng phát triển vết nứt khi không bị ảnh hưởng bởi ☞

lỗ bên cạnh. Ứng suất lớn nhất quanh vết nứt là 4,48E4 Pa. Vết nứt phát triển từ điểm đặt ban đầu và phát triển hướng chéo lên trên, sau đó dừng lại ở nửa dưới tấm. Vết nứt dừng lại do lực tác dụng chưa đủ lớn. Khi tiếp tục tăng lực, vết nứt sẽ tiếp tục phát triển theo hướng và dừng lại ở lỗ đinh tán góc phải.

3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp sử dụng phần mềm Abaqus đã được ứng dụng trong dự đoán hướng phát triển của vết nứt xung quanh các lỗ ốc vít trên thân vỏ máy bay. Nghiên cứu chỉ ra phương pháp mô phỏng là đáng tin cậy khi được so sánh với kết quả mô phỏng của Mukhtar và đồng nghiệp đối với trường hợp lực cắt [3]. Mô hình được khai thác để dự đoán phương tiến triển của vết nứt trong trường hợp chịu tải kéo ở cạnh trên và cạnh bên, và từ đó đưa ra phân bố ứng suất, biến dạng và các vị trí hư hại của chi tiết.❖

Ngày nhận bài: **03/4/2024**
Ngày phản biện: **05/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. R. Jones, L. Molent, and S. Pitt, "*Understanding crack growth in fuselage lap joints*", Theor. Appl. Fract. Mech., vol. 49, no. 1, pp. 38-50, 2008.

[2]. A. M. Al-Mukhtar, "*Case Studies of Aircraft Fuselage Cracking*", Advanced Engineering Forum, vol. 33, pp. 11-18, 2019.

[3]. A.M. Al-Mukhtar, "*Aircraft Fuselage Cracking and Simulation*", Procedia Structural Integrity 28 p124-131, 2020.

[4]. S. DuBois, "*The imperfections designed into Southwest's Boeing 737 – Apr. 12, 2011*", 2011. [Online]. Available: http://archive.fortune.com/2011/04/12/news/companies/boeing_southwest_737_damage.fortune/index.htm. [Accessed: 21-Jan-2017].

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TẦN SỐ RUNG ĐỘNG ĐẾN NHIỆT ĐỘ KHI HÀN SIÊU ÂM NHÔM AI6061

STUDY ON THE EFFECT OF VIBRATION FREQUENCY ON TEMPERATURE DURING ULTRASONIC WELDING OF ALUMINUM AL6061

Huỳnh Văn Nam, Đinh Lê Cao Kỳ
Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Hàn siêu âm đang được sử dụng rộng rãi trong việc liên kết các vật liệu tấm mỏng như các tấm liên kết trong quá trình sản xuất các cụm pin Lithium-ion cho ô tô với hiệu suất tốt, tốc độ sản xuất cao, chất lượng hàn tốt, v.v.. Việc kiểm soát các thông số của quá trình hàn siêu âm đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng đạt được mối nối có chất lượng tốt. Tần số rung động, một trong ba thông số chính trong quá trình hàn siêu âm, được xem là có ảnh hưởng nhiều nhất trong quá trình sinh nhiệt, hình thành mối hàn cũng như quyết định chất lượng mối hàn. Trong báo cáo này, mô hình phần tử hữu hạn ba chiều được xây dựng trên phần mềm Abaqus để mô phỏng quá trình hàn siêu âm nhằm quan sát sự biến thiên nhiệt độ khi tần số rung động thay đổi. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng tần số rung động có ảnh hưởng lớn đến sự tạo nhiệt trong quá trình hàn, đây là kết luận quan trọng để xác định chất lượng cuối cùng của mối hàn.

Từ khóa: *Hàn siêu âm; Phần tử hữu hạn; Mô phỏng; Biến thiên nhiệt độ; Abaqus.*

ABSTRACT

Ultrasonic welding offers a highly efficient and rapid solution for joining thin sheets, making it ideal for applications like lithium-ion battery pack assembly in automobiles. This process delivers exceptional weld quality, but achieving optimal results hinges on precise control of its parameters. Vibration frequency, one of the three critical parameters, exerts the strongest influence on heat generation, weld formation, and ultimately, the quality of the final joint. This report details the development of a 3D finite element model using Abaqus software to simulate ultrasonic welding and examine temperature variations under different vibration frequencies. The simulations demonstrate a significant correlation between vibration frequency and heat generation, highlighting its crucial role in achieving high-quality welds.

Keywords: *Ultrasonic Welding; Finite Element; Simulation; Temperature Variation; Abaqus.*

1. TỔNG QUAN

Với nhu cầu phát triển không ngừng về việc sử dụng năng lượng hiệu quả, đáp ứng tiêu chuẩn khí thải thấp, xe điện hybrid và xe điện (PHEV, EV) đã tạo ra những khả năng mới trong lĩnh vực sản xuất. Những loại xe này cần các cụm pin Lithium-ion như giải pháp để lưu trữ năng lượng cần thiết nhằm thực hiện các chuyển động đạt được công suất mong muốn. Cụm pin thường được tạo thành từ một lượng lớn các ô pin đơn lẻ. Với tính dẫn điện và dẫn nhiệt cao, nhôm là vật liệu rất thích hợp cho việc tạo mối nối giữa các ô pin đơn lẻ lại với nhau trong quá trình sản xuất pin. Việc sử dụng để nối các tấm nhôm mỏng lại với nhau bằng các quy trình hàn truyền thống gặp nhiều khó khăn vì nhiệt độ cao làm suy giảm cơ tính vật liệu tại vùng tạo thành mối hàn và dẫn đến giảm khả năng liên kết của các mối hàn được gia công.

Để khắc phục các khuyết tật như nứt do hóa rắn nhanh, nứt vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và lỗ rỗ ở mối nối khi hàn MIG và TIG, hàn siêu âm được sử dụng để nối các tấm mỏng hợp kim nhôm AA6061-T6 lại với nhau [1]. Fujii [2] sử dụng phương pháp hàn siêu âm để liên kết hợp kim nhôm và thép không gỉ. Quá trình này làm tăng độ bền mối hàn khi năng lượng hàn ở một mức độ nhất định. Zhou [3] sử dụng hàn siêu âm để liên kết hiệu quả các tấm hợp kim nhôm (Al) với tấm titan (Ti). Điều đáng chú ý là tại vùng hàn không chứa bất kỳ kim loại trung gian nào. Zhang et al. [4] đã tiến hành đánh giá độ cứng, khả năng chịu cắt và năng lượng phá hủy của mối hàn AA2139-TiAl6V4 được liên kết bằng phương pháp hàn siêu âm. Nhờ đặc tính không hình thành hợp chất kim loại giòn trong trường hợp hợp kim nhôm-titan (Al-Ti), mối hàn Al-Ti thể hiện độ bền vượt trội so với các mối nối không đồng loại khác như Al-Mg và Al-Fe.

Từ các công trình đã công bố, ảnh hưởng của tần số tác động như thế nào lên quá trình hàn vẫn chưa được làm rõ. Cũng cần lưu ý rằng các công trình được công bố chỉ xem xét các mô hình đơn giản, khó để áp dụng cho sản xuất công nghiệp, đặc biệt là ô tô với sự yêu cầu cao về năng suất, độ chính xác và chất lượng thành phẩm. Do đó, mô hình 3D kết hợp nhiệt – cơ được xây dựng để xác định ảnh hưởng của tần số lên sự biến thiên nhiệt độ trong quá trình hàn siêu âm giữa các tấm nhôm mỏng. Các mô phỏng phần tử hữu hạn được thực hiện với phần mềm Abaqus.

2. MÔ HÌNH HÀN SIÊU ÂM

2.1. Quá trình hàn siêu âm

Hàn siêu âm là một phương pháp hàn sử dụng năng lượng siêu âm để tạo mối liên kết giữa hai hoặc nhiều vật liệu với nhau mà không cần sử dụng nhiệt từ bên ngoài hoặc thêm chất kết dính. Phương pháp này thường được sử dụng cho các vật liệu như nhựa, composite và kim loại, đặc biệt là rất hiệu quả khi có yêu cầu nối các vật liệu mỏng hay các vật liệu có tính chất khác nhau.

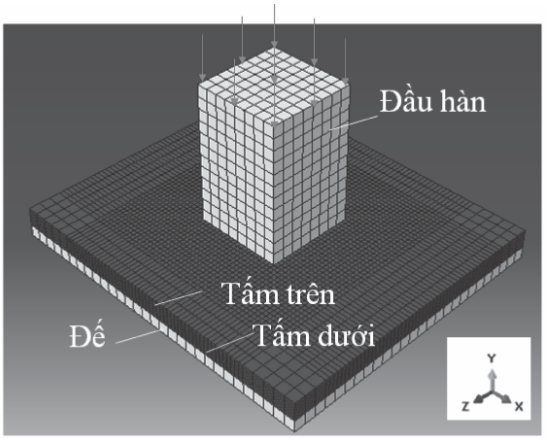
Quá trình hàn này bao gồm hai giai đoạn chính là kẹp và tạo rung động. Với giai đoạn kẹp, áp lực được tác dụng lên bề mặt tấm thông qua đầu hàn nhằm giữ cố định các tấm và gây biến dạng dẻo hỗ trợ cho việc liên kết giữa các tấm. Với giai đoạn tạo rung động, rung động của đầu hàn với biên độ và tần số xác định tạo ra nhiệt do ma sát và làm tăng nhiệt độ tại mặt tiếp xúc giữa các tấm với nhau. Do đó, ảnh hưởng đồng thời cơ – nhiệt được xem xét chi tiết trong quá trình hàn.

2.2. Mô hình 3D

Để nghiên cứu biến thiên nhiệt độ của

vật liệu trong quá trình hàn siêu âm, mô hình 3D được xây dựng trên phần mềm Abaqus. Mô hình được phát triển có khả năng thay đổi các thông số đầu vào nhằm quan sát sự thay đổi nhiệt độ trong khi hàn. Hình 1 minh họa mô hình 3D cho quá trình hàn. Cả đầu hàn và đế đều có dạng mặt phẳng và được xem là cứng tuyệt đối trong khi hàn. Tấm nhôm được đặt như trên hình 2 với kích thước 30×26 mm và độ dày 0,8 mm. Kích thước của đầu hàn được đặt là 8×8 mm với chiều cao là 12 mm, trong khi kích thước 30×26 mm với độ dày 1 mm cho đế. Bảng 1 trình bày Tính chất nhiệt và cơ lý của nhôm Al 6061 (2 tấm trên-dưới) và thép (đầu hàn và đế).

Tính chất nhiệt	**Vật liệu**	
	Al 6061	**Thép**
Hệ số dẫn nhiệt	235 W/m.K	80 W/m.K
Hệ số giãn nở vì nhiệt	23e-6/°C	11e-6/°C
Nhiệt dung riêng	896 J/kg.K	440 J/kg.K
Khối lượng riêng	2700 kg/m^3	7800 kg/m^3
Tính chất cơ		
Mô-đun đàn hồi	66,24 GPa	200 GPa
Hệ số Poisson	0,33	0,27

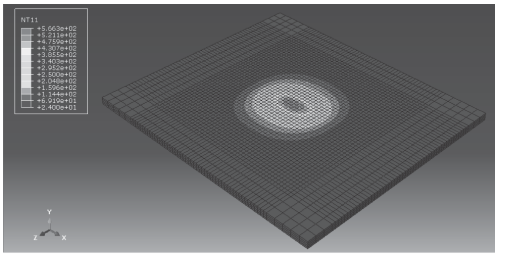


Hình 1 Mô hình phần tử hữu hạn trên Abaqus

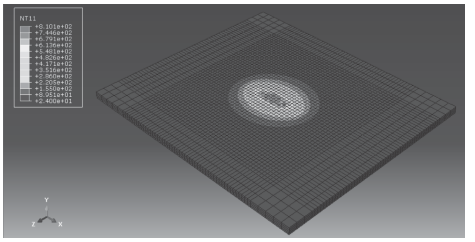
Để được cố định hoàn toàn trong cả hai giai đoạn khi hàn. Tấm trên và tấm dưới không bị giới hạn chuyển vị theo phương Y ở giai đoạn kẹp và không bị giới hạn chuyển vị theo phương X và Y ở giai đoạn tạo rung động. Đầu hàn thực hiện việc kẹp bằng việc đặt áp lực ở mặt trên trong giai đoạn kẹp, giữ nguyên áp lực này và tạo rung động với tần số và biên độ mong muốn ở giai đoạn tiếp theo.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

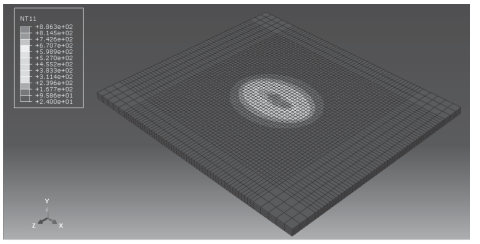
Tính chất của mối hàn siêu âm phụ thuộc rất nhiều với sự thay đổi của các thông số đầu vào như áp lực kẹp, tần số và biên độ. Trong quá trình hàn siêu âm giữa các tấm kim loại, tần số từ 15 đến 60 kHz thường được sử dụng [5, 6]. Trong bài báo này, quá trình hàn siêu âm được phân tích trong 0,03 giây với ba giá trị tần số rung động khác nhau bao gồm 15, 20 và 25 kHz. Phân bố nhiệt độ với các tần số rung động khác nhau được minh họa trong hình 2. Có thể thấy từ hình 2 rằng tần số có ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ trong quá trình hàn. Sự tăng nhiệt độ là do tần số liên quan trực tiếp đến lượng nhiệt ma sát sinh ra do vận tốc trượt giữa các tấm nhôm với nhau. Khi tần số rung động tăng lên, nhiệt sinh cũng tăng theo. Hình 3 minh họa sự biến thiên nhiệt độ tại tâm vùng hàn. Nhiệt độ tối đa ở tần số 25 kHz quan sát là 886°C cao hơn khoảng 320°C so với nhiệt độ tối đa ở tần số 15 kHz là 566°C. Cũng nên chú ý rằng, phân bố nhiệt độ cao nhất xảy ra ở tâm của các tấm, là nơi tiếp xúc giữa đầu hàn và đế.



a) f = 15 kHz

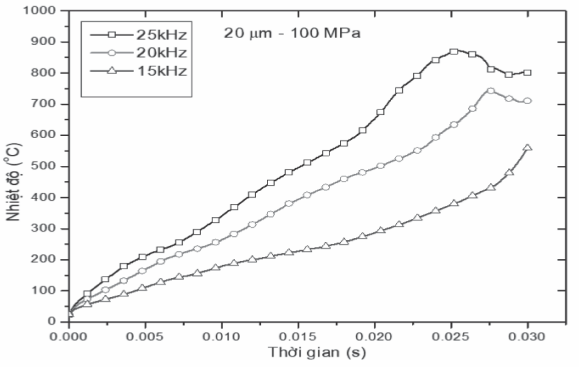


b) f = 20 kHz



c) f = 25 kHz

Hình 2. Phân bố nhiệt độ của tấm dưới với tần số 15, 20 và 25 kHz



Hình 3. Nhiệt độ tại tâm vùng hàn

4. KẾT LUẬN

Kiểm soát các thông số đầu vào trong quá trình hàn siêu âm nhằm đảm bảo rằng các tính chất sản phẩm cần thiết được đáp ứng với chi phí sản xuất tối thiểu. Trong bài báo này, các lý thuyết phần tử hữu hạn được sử dụng phân tích phần tử hữu hạn cho mô phỏng hàn siêu âm của các tấm nhôm đã được thực hiện. Phân bố nhiệt độ quan sát được bằng cách sử dụng phân tích phần tử hữu hạn trên phần mềm Abaqus. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng tần số rung động có ảnh hưởng lớn đến khả năng sinh nhiệt trong quá trình hàn, đây là điều quan trọng để xác định chất lượng cuối cùng của mối hàn. Kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy rằng mô hình được đề xuất có khả năng dự đoán tác động của các thông số hàn khác nhau đối với các tính chất của mối nối được sản xuất bằng cách nghiên cứu phân bố nhiệt độ của các tấm nhôm.❖

Ngày nhận bài: **10/4/2024**
Ngày phản biện: **27/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Bakavos, D., & Prangnell, P. B. (2010). *Mechanisms of joint and microstructure formation in high power ultrasonic spot welding 6111 aluminium automotive sheet.* Materials Science and Engineering: A, 527(23), 6320-6334.

[2]. Fujii, H. T., Goto, Y., Sato, Y. S., & Kokawa, H. (2016). *Microstructure and lap shear strength of the weld interface in ultrasonic welding of Al alloy to stainless steel.* Scripta Materialia, 116, 135-138.

[3]. Zhou, L., Min, J., He, W. X., Huang, Y. X., & Song, X. G. (2018). *Effect of welding time on microstructure and mechanical properties of Al-Ti ultrasonic spot welds*. Journal of Manufacturing Processes, 33, 64-73.

[4]. Zhang, C. Q., Robson, J. D., & Prangnell, P. B. (2016). *Dissimilar ultrasonic spot welding of aerospace aluminum alloy AA2139 to titanium alloy TiAl6V4*. Journal of Materials Processing Technology, 231, 382-388.

[5]. Elangovan, S. (2014). *Experimental and theoretical investigations on temperature distribution at the joint interface for copper joints using ultrasonic welding*. Manufacturing Review, 1, 18.

[6]. Kim, T. H., Yum, J., Hu, S. J., Spicer, J. P., & Abell, J. A. (2011). *Process robustness of single lap ultrasonic welding of thin, dissimilar materials.* CIRP Annals, 60(1), 17-20.

XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH GIA TỐC THÂN XE KHI CHUYỂN ĐỔI TỪ HỆ THỐNG TREO NHÍP SANG HỆ THỐNG TREO KHÍ NÉN

EXPERIMENTAL MODEL BUILDING TO DETERMINE VEHICLE BODY ACCELERATION WHEN CONVERTING LEAF-SPRING SUSPENSION SYSTEM TO AIR SUSPENSION SYSTEM

TS. **Lương Văn Vạn***, ThS. **Khấu Tấn Phát**, PGS,TS. **Nguyễn Thanh Tùng**
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

TÓM TẮT

Hệ thống treo khí nén có nhiều ưu điểm, mang lại tính tiện nghi và nâng cao tính êm dịu chuyển động trên ô tô. Hệ thống treo khí nén thích nghi với việc thay đổi tải trọng ô tô thông qua việc thay đổi áp suất trong ballon, giảm các xung lực tác dụng lên thân xe ô tô khi di chuyển trên các loại đường có nhiều mấp mô. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình nhằm thí nghiệm xác định gia tốc theo phương thẳng đứng của thân xe trên mô hình khi chuyển đổi từ hệ thống treo nhíp sang hệ thống treo khí nén. Tác giả sử dụng bộ tạo mấp mô mặt đường để giả lập mấp mô mặt đường, thay tần số kích động mặt đường thông qua thay đổi tốc độ quay của động cơ điện. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả so sánh, đánh giá mức độ cải thiện giá trị gia tốc trung bình thân xe khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp.

Từ khóa: *Hệ thống treo khí nén; Hệ thống treo nhíp; Gia tốc.*

ABSTRACT

The air suspension system has many advantages, including being convenient and improving the smoothness of motion in the vehicle. The air suspension system adapts to changing vehicle loads by changing the pressure in the ballon, which reduces the impact force on the vehicle's body when traveling on rough roads. This article presents the results of research on building a model to experimentally determine the vertical acceleration of the vehicle body on the model when converting from a leaf-spring suspension system to an air suspension system. The author uses the road surface bump generator to simulate road surface bumps, changing the road surface agitation frequency by changing the rotation speed of the electric motor. On that basis, the authors compare the level of acceleration reduction in vehicle body vibrations when using the air suspension system to replace the leaf-spring suspension system.

Keywords: *Air suspension system; Leaf-spring suspension system; Acceleration.*

1. GIỚI THIỆU

Khi tiến hành thí nghiệm để xác định một số thông số theo điều kiện thực tế lại bị hạn chế bởi một số yếu tố như: thiết bị, ô tô, đường thử, người lái, thời gian, chi phí, điều kiện ngoại cảnh… [1]. Trong khi đó, phương pháp thí nghiệm trên mô hình có thể khắc phục các nhược điểm nêu trên nhưng bị hạn chế bởi độ chính xác của thông số đầu vào. Việc kết hợp giữa thí nghiệm trên mô hình và thí nghiệm theo điều kiện thực tế nhằm đạt được hiệu quả tốt nhất trong khả năng khai thác thí nghiệm theo điều kiện hiện có [2]. Thí nghiệm ô tô thông thường nhằm hai mục đích: xác định các thông số đầu vào cho mô hình lý thuyết hoặc kiểm chứng hay xác định một số thông số đầu ra của mô hình [3]. Để thực hiện thí nghiệm này cần xác định các thông số cần đo, thiết bị và phương án thí nghiệm phù hợp với điều kiện hiện có [4]. Trong mô hình hệ thống treo khí nén và hệ thống treo nhíp, thông số được lựa chọn để đo thí nghiệm là gia tốc theo phương thẳng đứng của thân xe. Thiết bị thí nghiệm được thiết lập gồm các cảm biến đo gia tốc, bộ xử lý tín hiệu, máy tính điều khiển, thu thập và xuất kết quả. Kết quả thí nghiệm xác định được gia tốc thẳng đứng thân xe phía bên trái và bên phải khi sử dụng hệ thống treo khí nén và hệ thống treo nhíp và được so sánh với nhau thông qua sai số của giá trị lớn nhất để đánh giá độ êm dịu của mô hình hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo nhíp.

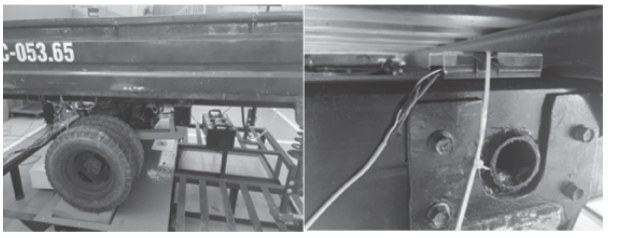
2. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Mục đích thí nghiệm

Mục đích của thí nghiệm là đo gia tốc thân xe của mô hình khi xe sử dụng hệ thống treo nhíp và sử dụng hệ thống treo khí nén. Trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu đánh giá mức độ cải thiện giá trị gia tốc trung bình thân xe khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp.

2.2. Đối tượng thí nghiệm

Đối tượng của thí nghiệm là mô hình hệ thống treo khí nén điều khiển bằng điện tử được lắp đặt trên bộ tạo mấp mô mặt đường. Do nội dung nghiên cứu này chỉ xác định và đánh giá mức độ cải thiện gia tốc dao động thân xe khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp. Tuy nhiên, để có thể thống nhất vị trí lắp đặt cảm biến lên thân xe và thuận tiện trong việc so sánh kết quả khảo sát lý thuyết và thí nghiệm trên đường, nhóm tác giả chọn vị trí lắp đặt cảm biến gia tốc tại vị trí phía trên ballon khí nén trên khung xe.



Hình 1. Mô hình hệ thống treo khí nén điều khiển bằng điện tử được lắp đặt trên bộ tạo mấp mô mặt đường và cảm biến đo gia tốc

2.3. Thiết bị thí nghiệm

Để xác định thông số gia tốc thân xe, nhóm nghiên cứu cần các cảm biến và thiết bị đo như sau:

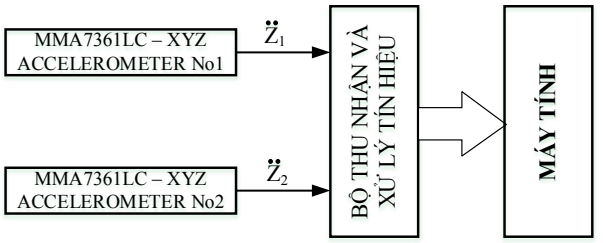
- Cảm biến gia tốc đứng thân xe MMA7361LC-XYZ AXIS đặt trên thân xe tại vị trí phía trên cầu xe phía bên trái để đo gia tốc thẳng đứng thân xe;

- Cảm biến gia tốc đứng thân xe MMA7361LC-XYZ AXIS đặt trên thân xe tại

vị trí phía trên cầu xe phía bên phải để đo gia tốc thẳng đứng thân xe;

- Bộ thu nhận và xử lý tín hiệu NI (National Instruments);

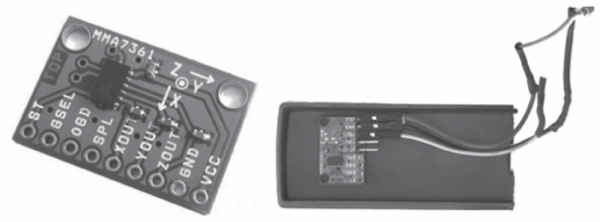
- Máy tính và phần mềm thí nghiệm Measurement & Automation.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đo gia tốc thân xe

2.3.1. Cảm biến đo gia tốc đứng thân xe MMA7361LC-XYZ AXIS

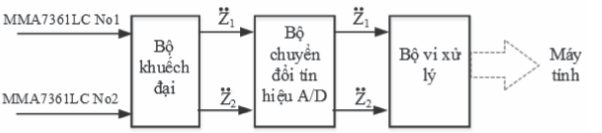
Cảm biến MMA7361LC-XYZ AXIS có thể đo gia tốc thẳng theo ba phương x, y, z. Thông số kỹ thuật cơ bản như sau [5]: Giắc cắm giao tiếp: 9 chân; Điện áp làm việc: Từ 2,2V đến 3,6V; Dòng điện làm việc: 400 µA; Dòng điện ở chế độ chờ: 3 µA; Độ nhạy: 800 mV/g; Thời gian lấy mẫu: 0,5 ms.



Hình 3. Cấu tạo cảm biến đo gia tốc

2.3.2. Bộ thu nhận và xử lý tín hiệu NI (National Instruments)

Bộ thu nhận và xử lý tín hiệu NI có nhiệm vụ tiếp nhận tín hiệu từ các cảm biến gửi về khuếch đại chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số và xử lý tín hiệu trước khi đưa vào phần mềm thí nghiệm trong máy tính. Sơ đồ khối bộ thu nhận và xử lý tín hiệu NI được mô tả như trên hình 4 [5].

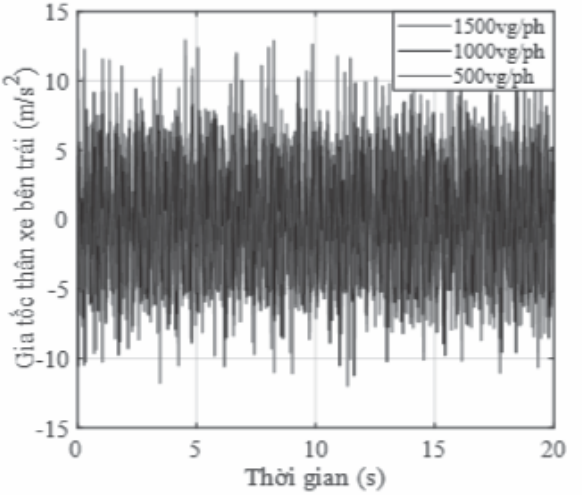


Hình 4. Sơ đồ khối bộ thu nhận và xử lý tín hiệu NI

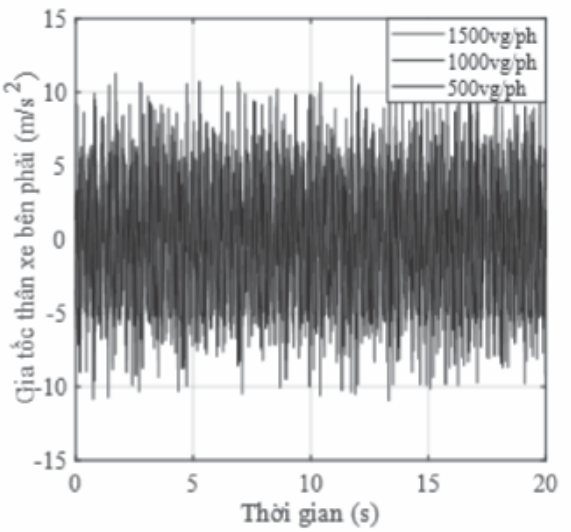
3. THÍ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

Thí nghiệm được tiến hành trên bệ thử. Khi tiến hành thí nghiệm, nhóm nghiên cứu thay đổi tốc độ quay của motor tạo kích động mặt đường (tương ứng với trường hợp thay đổi tốc độ chuyển động của xe trên đường, tốc độ quay motor là 500, 1000, 1500 vg/ph), thí nghiệm với tải trọng của xe là 1250kg. Kết quả thí nghiệm đo được là giá trị gia tốc thẳng đứng thân xe đặt trên thân xe tại vị trí phía trên cầu xe phía bên trái và bên phải khi ô tô sử dụng hệ thống treo nhíp và hệ thống treo khí nén.

3.1. Khi ô tô sử dụng hệ thống treo nhíp



Hình 5. Gia tốc thân xe bên trái (n = 500, 1000, 1500 vg/ph)



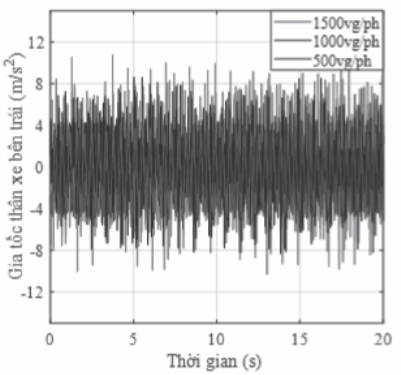
Hình 6. Gia tốc thân xe bên phải (n = 500, 1000, 1500 vg/ph)

Bảng 1. Giá trị gia tốc trung bình thân xe (RMS) khi sử dụng hệ thống treo nhíp

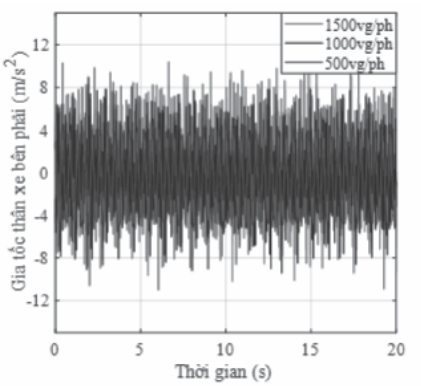
Tốc độ quay motor / Tải trọng	Giá trị gia tốc trung bình thân xe (RMS) [m/s^2]					
	500 vòng/phút		1000 vòng/phút		1500 vòng/phút	
	Trái	Phải	Trái	Phải	Trái	Phải
1250 kg	3.08159	3.03313	3.14437	3.10245	3.59064	3.6505

Nhìn trên kết quả thí nghiệm có thể nhận thấy, khi có kích động từ mấp mô mặt đường sẽ sinh ra gia tốc thân xe. Giá trị gia tốc thẳng đứng thân xe đặt trên thân xe tại vị trí phía trên cầu xe phía bên trái và bên phải cực đại đều tăng khi tăng tần số kích động mặt đường (tăng tốc độ quay động cơ điện) lên khung xe.

3.2. Khi ô tô sử dụng hệ thống treo khí nén



Hình 7. Gia tốc thân xe bên trái (n = 500, 1000, 1500 vg/ph)



Hình 8. Gia tốc thân xe bên phải (n = 500, 1000, 1500 vg/ph)

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

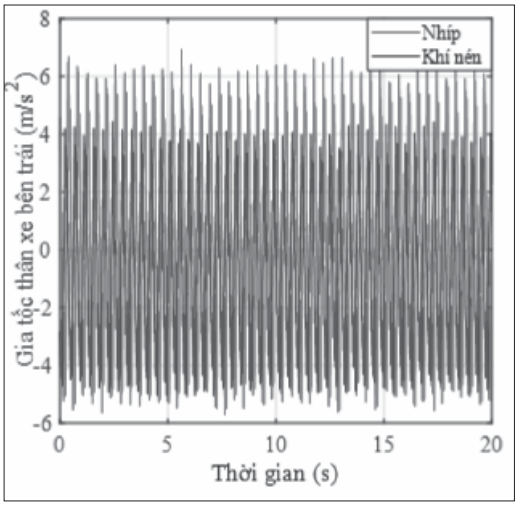
Bảng 2. Giá trị gia tốc trung bình thân xe (RMS) khi sử dụng hệ thống treo khí nén

Tốc độ quay motor / Tải trọng	Giá trị gia tốc trung bình thân xe (RMS) [m/s^2]					
	500 vòng/phút		1000 vòng/phút		1500 vòng/phút	
	Trái	Phải	Trái	Phải	Trái	Phải
1250 kg	2.37145	2.37003	2.60227	2.67158	3.03541	3.06059

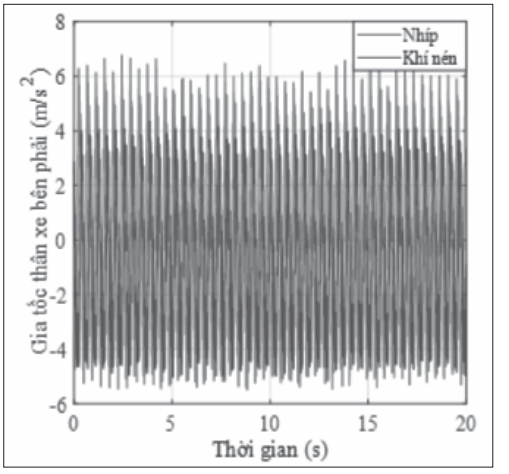
Tương tự khi sử dụng hệ thống treo nhíp, khi thay thế bằng hệ thống treo khí nén thông qua kết quả thí nghiệm cho thấy, khi có kích động từ mấp mô mặt đường sẽ sinh ra gia tốc thân xe. Giá trị gia tốc thẳng đứng thân xe đặt trên thân xe tại vị trí phía trên cầu xe phía bên trái và bên phải cực đại đều tăng khi tăng tần số kích động mặt đường (tăng tốc độ quay động cơ điện) lên khung xe.

3.3. So sánh giá trị gia tốc thân xe khi sử dụng hệ thống treo khí nén so với hệ thống treo nhíp

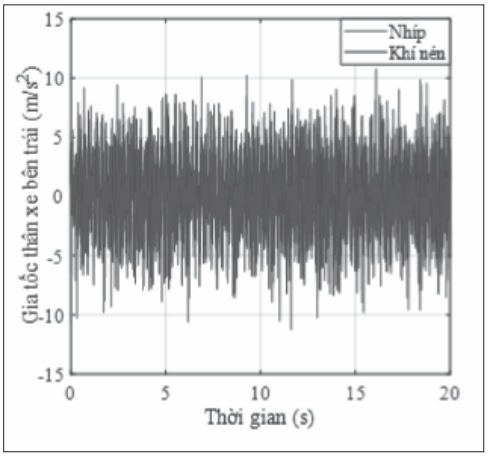
Để đánh giá mức độ giảm gia tốc thân xe khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp, kết quả thí nghiệm xác định gia tốc thân xe phía bên trái và phải khi xe đầy tải được so sánh lại với nhau. Do điều kiện thí nghiệm là giống nhau, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp chồng đồ thị để đánh giá sự tương đồng về quy luật và giá trị khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp. Ngoài ra, để đánh giá sai số, nhóm nghiên cứu so sánh các giá trị gia tốc trung bình thân xe nhằm đánh giá mức độ cải thiện giá trị gia tốc trung bình thân xe. Các kết quả so sánh trong từng trường hợp được thể hiện qua các đồ thị (hình 9-14) và bảng 3 như sau:



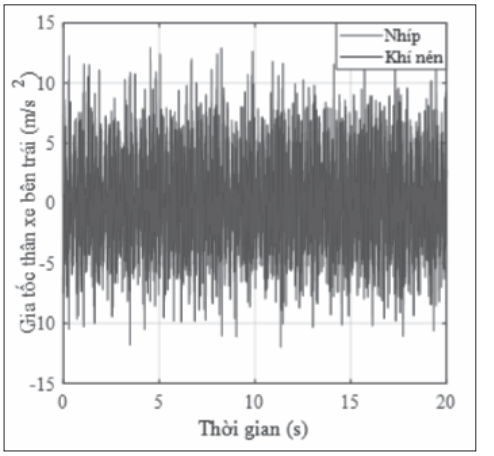
Hình 9. Gia tốc thân xe bên trái (n = 500 vg/ph)



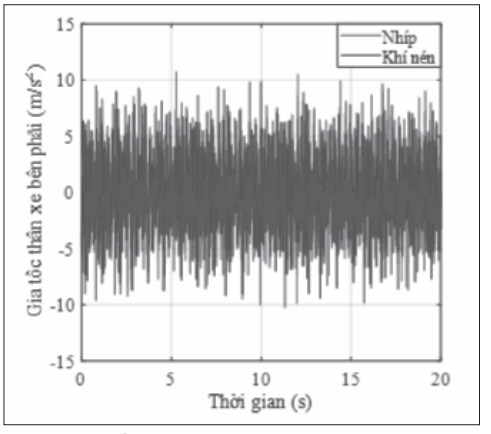
Hình 10. Gia tốc thân xe bên phải (n = 500 vg/ph) ☞



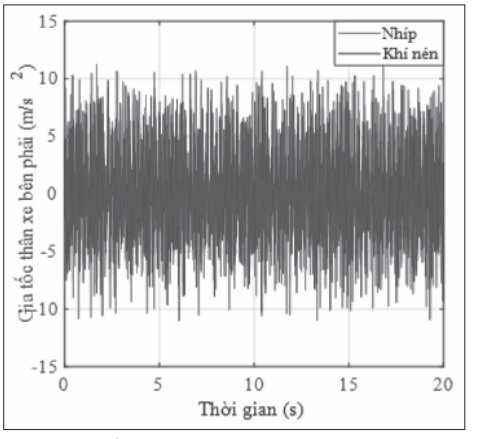
Hình 11. Gia tốc thân xe bên trái (n = 1000 vg/ph)



Hình 13. Gia tốc thân xe bên trái (n = 1500 vg/ph)



Hình 12. Gia tốc thân xe bên phải (n = 1000 vg/ph)



Hình 14. Gia tốc thân xe bên phải (n = 1500 vg/ph)

Bảng 3. So sánh kết quả xác định giá trị gia tốc thân xe khi đầy tải

	n = 500 vg/ph			**n = 1000 vg/ph**			**n = 1500 vg/ph**		
	Khí nén	**Nhíp**	**Giảm [%]**	**Khí nén**	**Nhíp**	**Giảm [%]**	**Khí nén**	**Nhíp**	**Giảm [%]**
Giá trị gia tốc trung bình thân xe bên trái (RMS) [m/s^2]	2,37	3,08	23,04	2,60	3,14	17,24	3,03	3,59	15,46
Giá trị gia tốc trung bình thân xe bên phải (RMS) [m/s^2]	2,37	3,03	21,86	2,67	3,10	13,88	3,06	3,65	16,16

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

So sánh kết quả thí nghiệm trên mô hình trong trường hợp khi đầy tải, có thể thấy rằng quy luật biến thiên giá trị gia tốc thẳng đứng thân xe bên trái và bên phải khi sử dụng hệ thống treo nhíp và hệ thống treo khí nén là giống nhau. Khi sử dụng hệ thống treo khí nén, mức độ cải thiện giá trị gia tốc trung bình thân xe khi thay đổi tần số kích động mặt đường (tốc độ quay động cơ điện) cho thấy giảm lớn nhất là 23,04% phía bên trái thân xe, tốc độ quay động cơ điện 500vg/ph; giảm nhỏ nhất là 13,88% phía bên phải thân xe, tốc độ quay động cơ điện 1000vg/ph. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi sử dụng hệ thống treo khí nén thì gia tốc thân xe giảm xuống so với khi sử dụng hệ thống treo nhíp, điều đó cho thấy phù hợp với các công trình nghiên cứu [6, 7] đã công bố trước đây cũng như mô hình nghiên cứu là phù hợp và đảm bảo độ tin cậy.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã lựa chọn được phương pháp, thiết bị thí nghiệm và đã xây dựng được quy trình thí nghiệm phù hợp với điều kiện nghiên cứu ở Việt Nam và đã thực hiện thí nghiệm xác định được gia tốc theo phương thẳng đứng thân xe bên trái và bên phải khi sử dụng hệ thống treo khí nén thay thế cho hệ thống treo nhíp. Việc so sánh mức độ cải thiện giá trị gia tốc trung bình thân xe khi thay đổi tần số kích động mặt đường (tốc độ quay động cơ điện) cho thấy tại vị trí phía bên trái thân xe khi tốc độ quay động cơ điện 500vg/ph thì mức độ cải thiện là lớn nhất (23,04%). Tại vị trí phía bên phải thân xe khi tốc độ quay động cơ điện 1000vg/ph thì mức độ cải thiện là nhỏ nhất (13,88%).

Nghiên cứu này thực hiện trên mô hình chỉ thay đổi tốc độ quay động cơ tương ứng với thay đổi tốc độ chuyển động của ô tô khi di chuyển trên đường mà chưa giả lập để thay đổi độ mấp mô mặt đường (chiều cao mặt đường), cảm biến sử dụng và bộ thu nhận và xử lý tín hiệu có độ chính xác chưa cao. Đây cũng chính là nhược điểm của nghiên cứu này. Do đó, cần có nghiên cứu tiếp theo trong việc thay đổi biên độ mấp mô mặt đường bằng cách thay đổi biên dạng cam tác động lên bộ tạo mấp mô mặt đường nhằm đánh giá kết quả thực tế hơn và sử dụng thiết bị có độ tin cậy cao hơn.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện có sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp, mã số: CB2023-15 T2017-PC-053 của Bộ Lao động Thương binh và Xã hội.❖

Ngày nhận bài: **03/3/2024**
Ngày phản biện: **10/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Vũ Thành Niêm; *Nghiên cứu hệ thống treo đoàn xe theo hướng giảm tải trọng động*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2021.
[2]. Trần Phúc Hòa; *Nghiên cứu độ bền vỏ cầu chủ động ô tô tải nhỏ sản xuất, lắp ráp tại Việt Nam,* Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2017.
[3]. Lương Văn Vạn; *Nghiên cứu độ bền khung sát xi xe chữa cháy rừng đa năng*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Lâm nghiệp, 2020.
[4]. Nguyễn Tiến Tấn, Nguyễn Thanh Quang; *Xây dựng mô hình thí nghiệm dao động hệ thống truyền lực ô tô tải nhẹ*, Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí lần thứ V – VCME 2018.
[5]. Nguyễn Thanh Tùng; *Nghiên cứu hiệu quả phanh trên đường có hệ số bám khác nhau của đòn xe sơ-mi rơ-móc làm cơ sở đề xuất giải pháp nhằm giảm thiểu tai nạn giao thông*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2016.
[6]. Trương Mạnh Hùng; *Nghiên cứu dao động của ô tô khách có sử dụng hệ thống treo khí nén*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 2017.
[7]. Vũ Thành Niêm; *Nghiên cứu hệ thống treo đoàn xe theo hướng giảm tải trọng động*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2021.

KHẢO SÁT YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN VẬN TỐC KHÓA NÒNG SÚNG PHÓNG LỰU LIÊN THANH SPL-30

SURVEY OF FACTORS AFFECTING BREECH VELOCITY 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, và phát hỏa sớm. Đầu khóa nòng được thiết kế thực hiện chức năng tống, 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 ảnh hưởng của độ cứng lò xo đẩy về đến vận tốc khóa nòng của súng phóng lựu liên thanh SPL-30.

Từ khóa: *Súng phóng lựu liên thanh; Động lực học; Lò xo đẩy về.*

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 influence of carrier spring stiffness on the breech velocity of the SPL-30 machine gun grenade launcher.

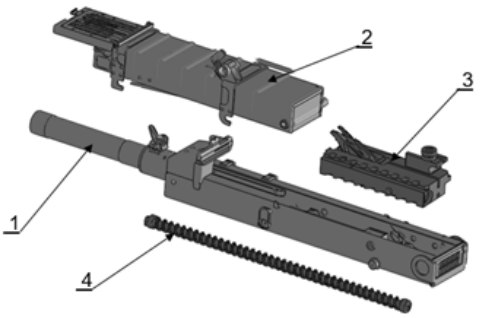
Keywords: *Automatic; Dynamic; Carrier spring.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

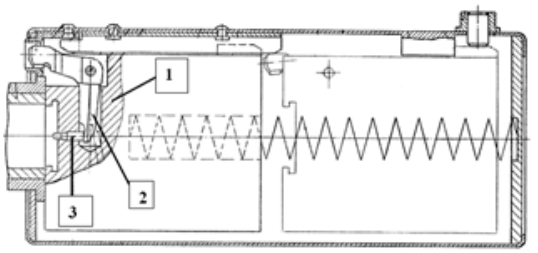
Súng phóng lựu liên thanh SPL-30 là loại súng trang bị cho cá nhân dùng để tiêu diệt sinh lực địch trong cự ly 2100m trở lại. Súng hoạt động theo nguyên lý khóa nòng tự do, sử dụng xung trước. Khi bắn, khóa nòng là khâu cơ sở trong hành trình chuyển động chịu tác dụng chủ yếu của lò xo đẩy về. Để có cơ sở khoa học cho việc tính toán ổn định cho súng, và hoạt động tin cậy nên việc nghiên cứu yếu tố ảnh hưởng của các số thông số kết cấu đến chuyển động khóa nòng của súng là rất cần thiết.

2. KHẢO SÁT YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN VẬN TỐC KHÓA NÒNG

2.1. Cấu tạo thân súng phóng lựu liên thanh SPL-30



Hình 1. Các bộ phận chính của thân súng SPL-30:
1 – Hộp khóa nòng; 2 – Nắp hộp khóa nòng;
3 – Khóa nòng; 4 – Lò xo đẩy về



Hình 2. Cơ cấu phát hỏa của súng phóng lựu liên thanh SPL-30:
1 – Khóa nòng; 2 – Búa; 3 – Kim hỏa

Thân súng phóng lựu liên thanh SPL-30 (hình 1) bao gồm các bộ phận chính: Hộp khóa nòng, nắp hộp khóa nòng, khóa nòng, lò xo đẩy về. Nhờ sử dụng xung trước hoàn toàn 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 tống đạn bằng cơ cấu tống đạn trên cụm khóa nòng. Súng phát hỏa nhờ sử dụng một phần năng lượng chuyển động về phía trước của cụm khóa nòng.

Lò xo đẩy về là một trong những bộ phận rất quan trọng, ảnh hưởng lớn đến hoạt động của máy tự động, đặc biệt là vận tốc khóa nòng. Chính vì vậy, việc xét đến ảnh hưởng của độ cứng lò xo đẩy về có ý nghĩa rất lớn trong ổn định của súng trong quá trình bắn.

2.2. Khảo sát ảnh hưởng của độ cứng lò xo đẩy về đến vận tốc khóa nòng

- Coi áp suất khí thuốc, lực ma sát giữa khóa nòng và hộp khóa nòng, lực rút vỏ đạn, lực kéo băng là như nhau cho từng lần thay đổi độ cứng lò xo đẩy về;

- Ở bài toán này chỉ khảo sát ảnh hưởng của giá trị độ cứng lò xo đẩy về đến vận tốc khóa nòng.

Độ cứng lò xo phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó các yếu tố vật liệu chế tạo, dung sai đường kính dây, dung sai đường kính bao và dung sai bước lò xo là những yếu tố ảnh hưởng chính. Dựa trên hệ phương trình vi phân máy tự động của súng, kết hợp với các thông số độ cứng của lò xo, ta có hệ phương trình như sau [1], [2]: ☞

$$\begin{cases} \dfrac{dz}{dt} = s_1 \dfrac{p}{I_k} \\ \dfrac{d\psi}{dt} = \chi\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} \\ \dfrac{dv}{dt} = s_2 \dfrac{gpS}{\phi q} \\ \dfrac{dl}{dt} = s_2 . v \\ \dfrac{dw}{dt} = \dfrac{1-\alpha\delta}{\delta}\chi\omega\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} + S\dfrac{dl}{dt} \\ \dfrac{dp}{dt} = \dfrac{1}{w}\left[f\chi\omega\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} - p\dfrac{dw}{dt} - \dfrac{\theta\phi q v}{g}\dfrac{dv}{dt}\right] \\ \dot{X}_{Kh} = V_{Kh} \\ \dot{V}_{Kh} = \dfrac{s_3 pS - \Pi - R_V - P_b}{M_{Kh}} \end{cases} \quad (1.1)$$

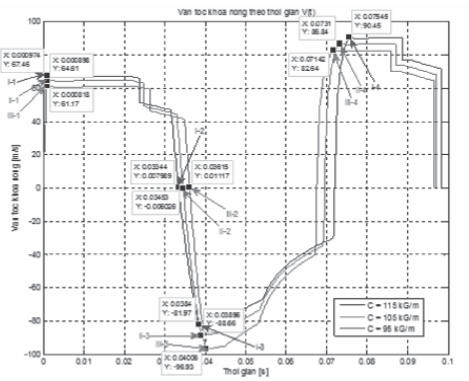
Trong đó:

- z: Bề dày cháy thuốc phóng;
- ψ: 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;
- Π: Lực lò xo đẩy về
- P_b: Lực kéo dây băng;
- s_1, s_2, s_3: Các biến điều khiển.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sử dụng phương pháp tích phân số trên phần mềm MATLAB 2011b giải hệ phương trình 1.1. Từ bản thiết kế lò xo đẩy về tính được khoảng thay đổi của độ cứng lò xo đẩy về dựa trên khoảng thay đổi về lực và biến dạng lò xo là ±10 kG/m và giá trị đã cho ở bài toán động lực học là C = 105 kG/m, ta được hai giá trị độ cứng để khảo sát là C = 95 kG/m và C = 115kG/m. Thay các lần lượt các giá trị này vào hệ phương trình vi phân máy tự động (1.1) thu được các kết quả như sau:

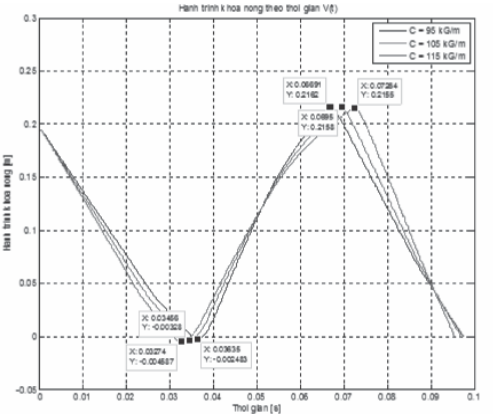
3.1. Kết quả giải bài toán



Hình 3. Sự thay đổi vận tốc khóa nòng khi thay đổi độ cứng lò xo đẩy về

Giá trị lớn nhất của khóa nòng tại các vị trí đẩy lên trên cùng và khi lùi về được thể hiện trên bảng sau:

TT	Giá trị độ cứng C_{lx}	Vận tốc khóa nòng max		
		Đẩy lên 1 (m/s)	Lùi về 1 (m/s)	Đẩy lên 2 (m/s)
1	115 kG/m	67,64	81,97	90,45
2	105 kG/m	64,61	88,66	86,84
3	95 kG/m	61,17	96,93	82,64



Hình 4. Sự thay đổi hành trình khóa nòng khi thay đổi độ cứng lò xo đẩy về

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

TT	Giá trị độ cứng C_{lx}	Hành trình khóa nòng max	
		Đẩy lên	Lùi về
1	115 kG/m	-0,004587	0,2155
2	105 kG/m	-0,003280	0,2158
3	95 kG/m	-0,002486	0,2162

Nhận xét kết quả tính toán:

Như vậy, giá trị độ cứng lò xo đẩy có ảnh hưởng đến vận tốc khóa nòng ở mọi vị trí trên hành trình chuyển động của nó. Đặc biệt, nó ảnh hưởng đến thời gian của chu trình làm việc của máy tự động (tốc độ bắn), vận tốc khóa nòng ở vị trí trên cùng và sau cùng khi bắn. Từ phân tích này giúp cho quá trình tính toán xây dựng các thông số thiết kế của lò xo đẩy về được hợp lý hơn, đánh giá được tác động của giá trị độ cứng lò xo đẩy về đến hoạt động của máy tự động.

3. 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 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: **02/5/2024**
Ngày phản biện: **05/6/2024**

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.

THỰC NGHIỆM HÀN MAG LIÊN KẾT GIÁP MỐI VẬT LIỆU COMPOSITE LUYỆN KIM BỘT TRIMETAL HỢP KIM ĐỒNG – THÉP CÁC BON – HỢP KIM ĐỒNG

EXPERIMENTAL STUDY ON MAG WELDING OF POWDER METALLURGY COMPOSITE TRIMETAL COPPER ALLOY – CARBON STEEL – COPPER ALLOY

ThS. **Nguyễn Văn Mễ** [1, 3], PGS.TS. **Hà Minh Hùng**[1, 2, 4], TS. **Nguyễn Hoàng Quân**[4, 5,]
TS. **Ngô Trọng Bính**[1], KS. **Đinh Khắc Mác**[4, 5]
[1]Viện Nghiên cứu Cơ khí
[2]Trường Đại học Duy Tân
[3]Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh
[4]Viện Phát triển Kỹ thuật, Công nghệ tiên tiến (IDAT)
[5]Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả thực nghiệm định hướng ứng dụng công nghệ hàn MAG liên kết giáp mối vật liệu composite 03 lớp luyện kim bột hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng để chế tạo chi tiết đĩa ma sát và đĩa thép đối ứng bộ ly hợp truyền động cơ khí cho máy móc động lực và phương tiện vận tải. Chất lượng mối hàn MAG được đánh giá thông qua bộ tiêu chí tổng hợp gồm: hình thái bề mặt và biến dạng kết cấu sau khi hàn; tổ chức thô đại theo mặt cắt ngang đường hàn; tổ chức tế vi vật liệu mối hàn tại vùng kim loại cơ bản, vùng ảnh hưởng nhiệt và vùng kim loại hàn. Kết quả cho thấy các đặc tính kim tương học cơ bản của mối hàn thử nghiệm đều đạt kỳ vọng, ngoại trừ tiêu chí đặc trưng cho tính chất cơ lý là biến dạng kết cấu hàn có giá trị cao, chưa phù hợp với mục tiêu tạo hình phôi hàn tối ưu.

Từ khóa: *Hàn MAG; Vật liệu composite luyện kim bột 03 lớp (trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng).*

ABSTRACT

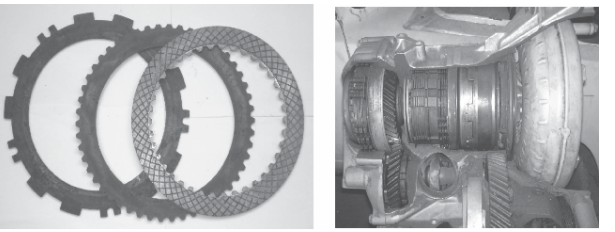
In this study, experimental results are introduced to guide the use of MAG welding technology for joining butt joints in 3-layer composite materials (copper alloy, carbon steel and copper alloy). These materials are utilized in the production of friction discs and matching steel discs for mechanical transmission clutches in power machinery and transport vehicles. The quality of MAG welds was assessed through various criteria including surface morphology, structural deformation after welding, gross and microscopic organization in the weld regions. The results indicate that the fundamental metallurgical properties of the tested welds meet expectations, except for the criterion related to the physical and mechanical properties, specifically weld structure deformation, which exhibits a high value and is unsuitable for the target of optimal weld workpiece shaping.

Keywords: *Metal Active Gas; Powder Metallurgy Composite Trimetal Copper Alloy – Carbon Steel – Copper Alloy.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở ngoài nước, vật liệu ma sát luyện kim bột được sử dụng để chế tạo các chi tiết phanh và các cụm truyền động của xe ô tô, máy nông nghiệp, máy mỏ, máy xây dựng, máy bay, máy công cụ, máy dập, máy ép trong sản xuất cơ khí... Việc sử dụng các loại vật liệu ma sát để làm việc có bôi trơn cưỡng bức trong các cụm thiết bị như: đĩa ly hợp, máy điều tốc, khớp nối truyền động có mô-men tới hạn, hệ truyền dẫn thuỷ lực hoặc ở điều kiện làm việc không có bôi trơn (ma sát khô) như: khớp nối, phanh hãm, khớp nối điện từ thay thế cho vật liệu thép và gang đúc hoặc các vật liệu ma sát gắn kết với nền bằng gang hoặc thép truyền thống trước đây cho phép tăng độ bền và độ tin cậy khi làm việc cũng như tăng hiệu quả sử dụng của các cụm ma sát trong máy móc thiết bị. Vật liệu ma sát luyện kim bột đồng thời tạo điều kiện tốt để thiết kế, chế tạo các cụm ma sát có kết cấu mới với hệ số ma sát cao, khả năng làm việc ổn định, chịu mài mòn và bền nhiệt cao của cả hai chi tiết cặp đôi[1] ÷ [7].

Ở Việt Nam gần đây tại Viện Nghiên cứu Cơ khí và Đại học Bách khoa Hà Nội bước đầu đã có một vài nghiên cứu về vấn đề chế tạo vật liệu chống ma sát và vật liệu ma sát bằng công nghệ luyện kim bột, nhưng chưa đủ sức thuyết phục các doanh nghiệp đưa vào ứng dụng trên thực tiễn, góp phần phục vụ sản xuất trong các ngành kinh tế nước ta. Đặc biệt là trong ngành khai thác than và khoáng sản Việt Nam hiện nay có một số lượng lớn các thiết bị, máy móc và xe vận tải mỏ đang hoạt động được nhập từ nhiều nguồn cung cấp nước ngoài, hàng năm cần thay thế nhiều phụ tùng mau mòn chóng hỏng, trong đó có cặp đôi đĩa ma sát với đĩa thép đối ứng của bộ ly hợp truyền động cơ khí (hình 1) [8] ÷ [11]. Do đó, việc nghiên cứu xác định tính khả dụng của công nghệ hàn MAG cho công đoạn tạo hình phôi vật liệu composite luyện kim bột để gia công đĩa ma sát, cũng như đĩa thép đối ứng trong bộ ly hợp truyền động cơ khí công suất lớn, phù hợp với điều kiện năng lực thiết bị sẵn có ở trong nước là cần thiết.



a) *b)*

Hình 1. Ảnh chụp đĩa ma sát làm bằng vật liệu trimetal hợp kim đồng – thép – hợp kim và đĩa thép đối ứng trong bộ ly hợp truyền động ô tô vận tải hạng nặng có tải trọng 35 tấn (a) và băng thử tính năng làm việc của bộ ly hợp (b) [12]

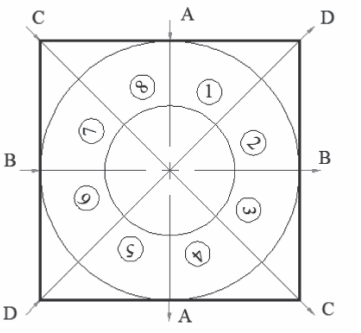
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp thử nghiệm hàn MAG (hàn dây nóng chảy có khí bảo vệ) để thăm dò định hướng công nghệ được lựa chọn như sau:

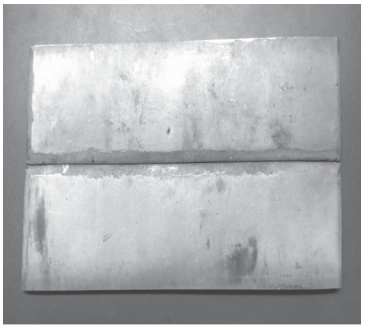
1) Hàn các mảnh ghép làm bằng thép các bon SS400 hàn tạo hình dạng đĩa D = 300 ÷ 350 mm, chiều dày 3,0 ÷ 3,5 mm thực hiện theo sơ đồ nguyên lý hàn cho trên hình 2a;

2) Hàn giáp mối từ 2 mảnh ghép vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng chế tạo bằng công nghệ luyện kim bột (hình 2b). Thành phần hóa học của lớp hợp kim đồng luyện kim bột tính theo % khối lượng theo tỷ lệ [6%Sn, 6% Pb, 3%Zn, 2% Cgr, 2% Al_2O_3, còn lại là Cu và phụ gia kết dính];

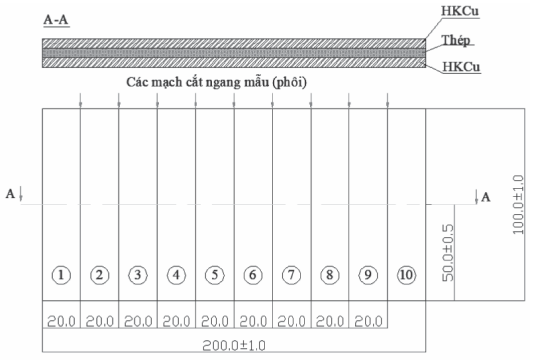
3) Sơ đồ vị trí cắt lấy mẫu giám định chất lượng mối hàn (hình 2c).



a)



b)



c)

Hình 2. Sơ đồ hàn thử nghiệm phôi đĩa thép đối ứng SS400 qua 4 đường đối xứng tâm mẫu A – A, B – B, C – C, D – D (a); hàn 01 đường giáp mối từ 2 mảnh vật liệu composite (b) và vị trí cắt lấy mẫu giám định chất lượng mối hàn (c) [12]

Trong các thí nghiệm thăm dò định hướng công nghệ đã sử dụng thiết bị hàn MAG trên hình 3. Dây hàn sử dụng có đường kính d = 1,0 ÷ 1,5 mm. Chế độ hàn thử nghiệm chọn sơ bộ như sau:

- Số lượng thí nghiệm gồm: 02 mẫu hàn đĩa thép đối ứng từ vật liệu thép các bon SS400 có chiều dày 3,0 mm (hình 2a) và 03 mẫu hàn giáp mối hai mảnh ghép vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng có tổng chiều dày 3 lớp là (2,5 + 2,2 + 2,5) mm (hình 2b);

- Chế độ hàn MAG thử nghiệm với 3 thông số công nghệ chính lựa chọn (cường độ dòng hàn I_h; tốc độ hàn v_h và lưu lượng cấp khí bảo vệ Ar) tương ứng với 3 mẫu thí nghiệm có quy ước như sau:

+ Mẫu No.1 (mã số 000): I_{h1} = 90 A; v_{h1} = 15 cm/ph.; G_1 = 15 l/ph;

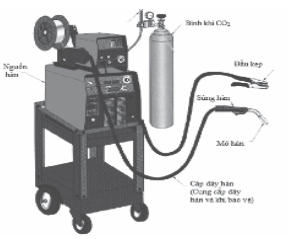
+ Mẫu No.2 (mã số 110): I_{h2} = 100 A; v_{h2} = 20 cm/ph.; G_2 = 20 l/ph;

+ Mẫu No.3 (mã số 220): I_{h3} = 110 A; v_{h3} = 25 cm/ph.; G_3 = 25 l/ph.

Bộ thông số đánh giá chất lượng mối hàn gồm hai nhóm chỉ tiêu đánh giá cơ bản:

- Các đặc tính cơ lý xác định thông qua bộ chỉ tiêu đánh giá gồm: hình thái bề mặt mối hàn; biến dạng kết cấu hàn; độ bền kéo vật liệu mối hàn;

- Các đặc tính kim tương học: tổ chức thô đại và tổ chức tế vi của vật liệu mối hàn.



a) *b)*

Hình 3. Nguyên lý hệ thống máy hàn MAG (a) và dây hàn (b) sử dụng cho thí nghiệm [12]

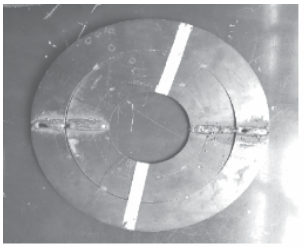
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

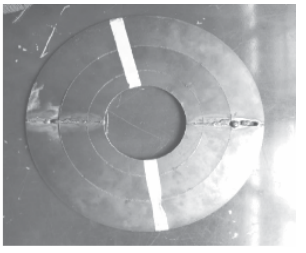
Quá trình thí nghiệm được thực hiện tại Xưởng thực hành Đào tạo nghề thuộc Khoa Cơ khí (Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh). Kết quả thực nghiệm nghiên cứu đặc tính mối hàn MAG nhận được như sau:

3.1. Hình thái bề mặt mối hàn

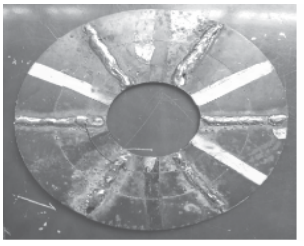
Kết quả hàn các mẫu thử nghiệm ở trạng thái sau khi tẩy rửa sơ bộ cho trên các hình 4 và 5.



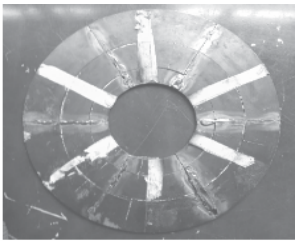
a) No.1 T



b) No.1 D

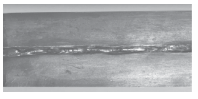


c) No.2 T

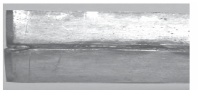


d) No.2 D

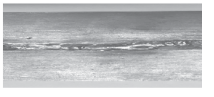
Hình 4. Ảnh hình thái bề mặt mặt trên (a, c) và mặt dưới (b, d) phôi hàn MAG giáp mối các mảnh ghép bằng thép SS400



a) No.1 T



b) No.1 D



c) No.2 T

d) No.2 D

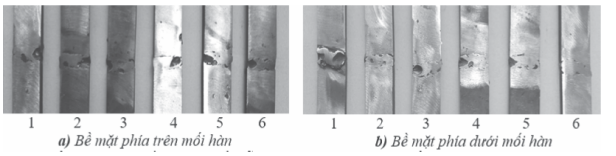
e) No.3 T

f) No.3 D

Hình 5. Ảnh hình thái bề mặt mối hàn MAG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng

Phân tích các ảnh hình thái bề mặt của mối hàn MAG trên hình 4 và hình 5 cho thấy: tùy thuộc vào chế độ hàn cho trước trên mỗi đường hàn riêng biệt đã nhận được mức độ điền đầy kim loại hàn đắp vào mối hàn theo chiều cao của nó (độ ngấu mối hàn) ở bề mặt phía trên lớn hơn nhiều so với bề mặt phía dưới.

Các mối hàn sau khi đã được mài bằng phần kim loại lồi ở bề mặt phía trên và bề mặt phía dưới (hình 6a, b) còn cho ta thấy rõ tại các vị trí cắt lấy mẫu gia công thử kéo và khảo sát đặc tính kim tương học vật liệu mối hàn từ các mảnh ghép composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng có độ điền đầy kim loại hàn chưa đồng đều theo chiều dọc đường liên kết hàn. Kết quả khảo sát tổ chức thô đại theo mặt cắt ngang đường liên kết hàn sẽ làm sáng tỏ hơn nhận xét này.



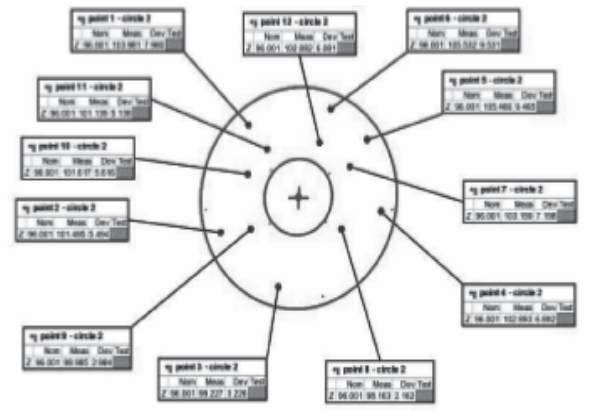
Hình 6. Ảnh hình thái bề mặt một số mẫu thử nghiệm hàn MAG điển hình từ vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng sau khi mài bỏ sơ bộ phần lồi mối hàn

3.2. Phân tích biến dạng kết cấu mối hàn MAG

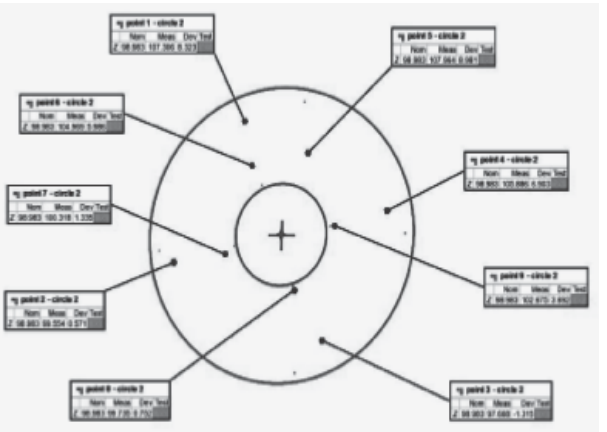
Kết quả phân tích các phép đo không tiếp xúc bằng phần mềm PolyWorks tích hợp trong thiết bị đo bằng kỹ thuật thiết kế ngược hiện có tại Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh.

Trên hình 7 là ảnh trích xuất từ máy tính sơ đồ khảo sát phân tích biến dạng của bề mặt đĩa phôi thép SS400 trên mẫu No.1 ở trạng thái sau khi hàn MAG, làm nguội trong không khí. Phôi thí nghiệm được hàn từ 02 mảnh ghép theo một đường hàn đối xứng qua tâm (hình 4a, b). ☞

Trên hình 8 là ảnh trích xuất từ máy tính sơ đồ đo biến dạng phôi hàn MAG từ máy tính tại 09 vị trí khảo sát trên bề mặt đĩa phôi thép trên mẫu No.2 ở trạng thái sau khi hàn và làm nguội trong không khí. Phôi thí nghiệm được hàn từ 06 mảnh ghép theo 03 đường hàn đối xứng qua tâm (hình 4c, d).



Hình 7. Mô tả 12 vị trí đo theo phương Oz trên bề mặt đĩa thép đối ứng với 01 đường hàn từ 02 mảnh ghép đối xứng qua tâm (mẫu No.1)



Hình 8. Mô tả 09 vị trí đo theo phương Oz trên bề mặt đĩa thép đối ứng với 03 đường hàn từ 06 mảnh ghép đối xứng qua tâm (mẫu No.2)

Phân tích kết quả đo biến dạng kết cấu hàn trên các mẫu No.1 và No.2 với giả thiết biến dạng kết cấu hàn được so với mặt phẳng chuẩn gá lắp phôi hàn khi hiệu chỉnh máy đo 3D và dung sai quy ước cho toàn bộ bề mặt đĩa thép đối ứng sau khi hàn chọn ở mức ± 0,1 mm cho thấy:

1) Phôi hàn MAG từ 02 mảnh ghép với 01 đường hàn (mẫu No.1): số liệu thực nghiệm cho thấy tại 12 vị trí đo đặc trưng theo phương Z. Khi đó: biến dạng do ảnh hưởng của phương án kết cấu và chế độ hàn đã chọn có giá trị trong khoảng f_{z1} = 2,062 ÷ 9,431 mm. Như vậy, biến dạng của phôi hàn MAG khảo sát trên mẫu No.1 do ảnh hưởng của nhiệt hàn và kết cấu liên kết hàn có giá trị thay đổi trong một khoảng khá rộng (bằng 0,67 ÷ 3,1 lần so với chiều dày phôi thép hàn ban đầu) là quá lớn. Kết quả này cho thấy đa số các điểm đo chưa đạt yêu cầu khi đánh giá theo tiêu chí biến dạng của mối hàn.

2) Phôi hàn MAG từ 06 mảnh ghép với 03 đường hàn từ 06 mảnh ghép đối xứng qua tâm đĩa (mẫu No.2): số liệu thực nghiệm nhận được khi đo biến dạng của phôi đĩa thép sau khi hàn MAG tại 09 vị trí đặc trưng theo phương phương Z do ảnh hưởng nhiệt hàn và kết cấu mối hàn có giá trị trong khoảng từ f_{z2} = ÷1,215 đến f_{z2} = +(0,474 ÷ 8,881) mm. Biến dạng của phôi hàn MAG trong trường hợp này có giá trị thay đổi còn khá lớn trong khoảng 0,4 ÷ 2,96 lần so với chiều dày phôi thép hàn ban đầu gần giống như mẫu No.1 đã xét.

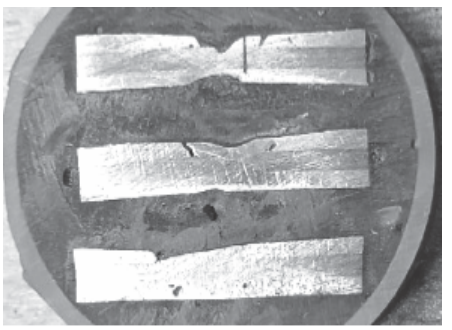
Tổng hợp các nhận xét đối với các mẫu hàn MAG thử nghiệm nói trên chỉ ra chất lượng phôi hàn theo tiêu chí biến dạng kết cấu mối hàn sau khi hàn là quá lớn, không đạt yêu cầu kỳ vọng đề ra ở mức độ có thể chấp nhận được là ±(0,3÷ 0,5) mm. Nếu sử dụng các phôi hàn này để gia công tinh chi tiết đĩa thép đối ứng trong bộ ly hợp thì cần phải thực hiện thêm nguyên công biến dạng dẻo để làm phẳng phôi hàn, điều đó dẫn đến chi phí cho quá trình gia công tăng cao hơn mức cần thiết.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

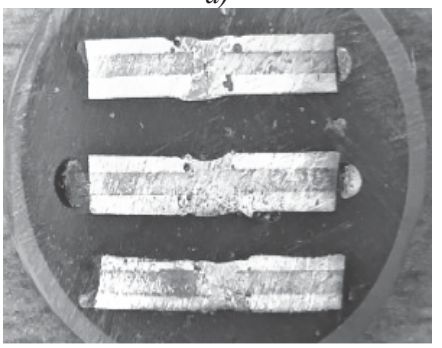
3.3. Nghiên cứu tổ chức thô đại mối hàn MAG

a) Mẫu chưa tẩm thực

Từ các phôi sau khi cắt dây và nhận được 06 mẫu điển hình dùng để gia công thành các mẫu nghiên cứu khảo sát đặc tính kim tương học (tổ chức thô đại) của vật liệu mối hàn. Trên hình 10 là ảnh chụp một số mẫu nghiên cứu khảo sát tổ chức thô đại và tế vi trên mặt cắt ngang mối hàn MAG vật liệu composite trimetal điển hình ở trạng thái sau đúc khuôn bằng keo epoxy, mài thô và chưa qua tẩm thực. Tùy theo các chế độ hàn MAG thử nghiệm và vị trí cắt dây để lấy mẫu khảo sát đặc tính kim tương học lựa chọn dọc theo đường hàn mà hình dạng của mặt cắt ngang mối hàn khác nhau.



a)



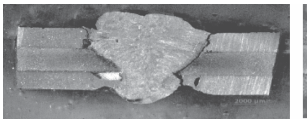
b)

Hình 9. Ảnh thô đại các mẫu nghiên cứu khảo sát đặc tính kim tương học mối hàn MAG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng (mẫu chưa tẩm thực)

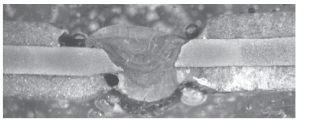
Quan sát các ảnh thô đại trên hình 9 trên đây cho thấy: mặc dù các mẫu được cắt ra từ những phôi hàn MAG nhận được ở trạng thái sau khi đổ keo epoxy đóng rắn và mài thô đã có thể đánh giá sơ bộ về hình dáng và đặc tính kim tương học của mối hàn, nhìn chung có kết quả thực nghiệm rất khả quan. Sau đây là kết quả chụp ảnh tổ chức thô đại và tổ chức tế vi vật liệu mối hàn MAG từ vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng.

b) Mẫu sau tẩm thực

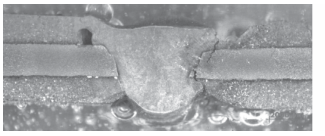
Trên hình 10 là ảnh tổ chức thô đại của mối hàn MAG từ vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng ở trạng thái sau khi mài tinh, đánh bóng và tẩm thực khảo sát trên 06 mẫu điển hình gia công từ phôi cắt theo phương ngang đường liên kết của các phôi hàn cho trên hình 6 đã đề cập ở trên.



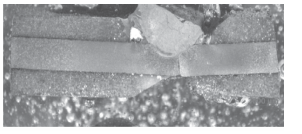
a) No.1, x12.5



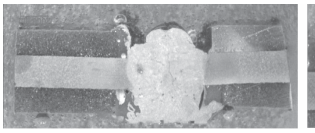
b) No.2, x10

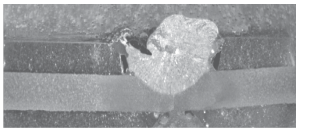


c) No.3, x12.5



d) No.4, x10





e) No.5, x10 f) No.6, x10

Hình 10. Tổ chức thô đại mối hàn MAG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng (mẫu có tẩm thực)

Phân tích các kết quả thí nghiệm trên hình 10 cho thấy: ☞

- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.1 (hình 10a) có đặc điểm: kim loại hàn đắp điền đầy và kết tinh lại trong vùng mối hàn, không có rỗ xốp hoặc khuyết tật tạp chất bẩn. Đường biên giới liên kết giữa các lớp hợp kim đồng và lõi thép hai bên mép vát ở phía bên trái và phía bên phải của mối hàn có màu tối sẫm giống như hiện tượng tách lớp hoặc không hình thành được liên kết kim loại. Ngoài ra, phía bên trái còn phát hiện thấy có lỗ xốp trên biên giới lớp hợp kim đồng và kim loại hàn. Điều đó dẫn đến giảm đáng kể độ bền kéo của mối hàn mẫu No.1;

- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.2 (hình 10b) có đặc điểm: kim loại hàn đắp kết tinh lại trong vùng mối hàn có mức độ điền đầy cao, không có khuyết tật ở hai bên lớp thép và lớp hợp kim đồng ở phía bên trái mẫu khảo sát. Tuy nhiên, phần trên mối hàn kim loại hàn chưa được điền đầy hoàn toàn, còn ở phần dưới phía bên phải mối hàn trên biên giới của nó giáp mối liền với lớp hợp kim đồng có lỗ xốp khá lớn. Điều đó sẽ làm giảm rất đáng kể độ bền kéo của mối hàn mẫu No.2;

- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.3 (hình 10c) có đặc điểm: kim loại hàn đắp kết tinh lại trong vùng mối hàn có mức độ điền đầy tương đối tốt khi xét theo chiều cao ở phần giữa, cũng như phần trên và phần dưới của nó. Có các lỗ xốp lớn tại phần dưới mối hàn ở hai bên mép vát lớp hợp kim đồng trên phôi hàn. Biên giới giữa các lớp thép và hợp kim đồng đã hình thành liên kết kim loại, tuy nhiên, còn phát hiện thấy một vài vết nứt tế vi cục bộ với kích thước nhỏ ở phía bên trái mối hàn, điều đó dẫn đến độ bền kéo mối hàn mẫu No.3 sẽ bị giảm mạnh so với trường hợp khi nó hoàn toàn không có khuyết tật;

- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.4 (hình 10d) có đặc điểm: biên giới giữa kim loại hàn đắp kết tinh lại trong mối hàn liên kết với lớp thép và lớp hợp kim đồng trên phôi hàn hầu như không có khuyết tật ở hai bên mép vát. Tuy nhiên, ở phần dưới mối hàn có khuyết tật vết nứt tế vi trong tiểu vùng liên kết hai lớp thép, nó sẽ làm giảm độ bền kéo của mối hàn. Ngoài ra, mức độ điền đầy của kim loại hàn trong toàn bộ mối hàn cũng chưa đủ chiều cao cần thiết của nó;

- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.5 (hình 10e) có đặc điểm: kim loại hàn đắp kết tinh lại trong mối hàn có mức độ điền đầy cao ở phần phía dưới, còn ở phần phía trên thì chưa đủ độ cao cần thiết. Bên trong và cả hai bên mép vát của mối hàn đều không có khuyết tật. Điều đó cho phép nâng cao độ bền kéo mối hàn so với một số mẫu trong nhóm này như đã xét ở trên. Chất lượng mối hàn đạt yêu cầu kỳ vọng;

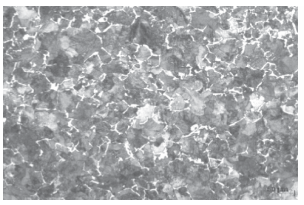
- Tổ chức thô đại nhận được trên mẫu khảo sát No.6 (hình 10f) có đặc điểm giống như mẫu No.5 đã xét ở trên. Kim loại hàn đắp trong mối hàn có mức độ điền đầy tương đối, nhưng vẫn còn tiểu vùng phía bên trái của nó chưa đủ. Biên giới giữa các lớp thép trong mối hàn không có khuyết tật, còn ở phần trên của lớp hợp kim đồng ở hai bên mép vát có lỗ xốp khá lớn, điều đó dẫn đến độ bền kéo mối hàn sẽ bị giảm mạnh so với khi không có khuyết tật dạng này.

3.4. Nghiên cứu tổ chức tế vi mối hàn MAG vật liệu composite

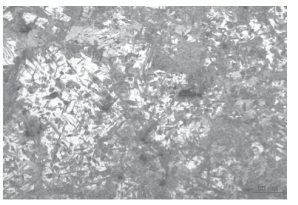
Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn MAG từ hai mảnh ghép composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng nhận được khi khảo sát trên kính hiển vi quang học tại các tiểu vùng cấu trúc đặc trưng gồm: 1) Vùng kim

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

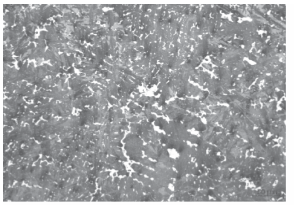
loại cơ bản (KLCB); 2) Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ); 3) Vùng mối hàn (MH). Kết quả thí nghiệm cho trên hình 11.



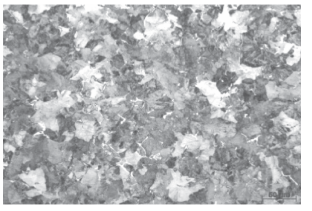
a) No.1 x200-KLCB



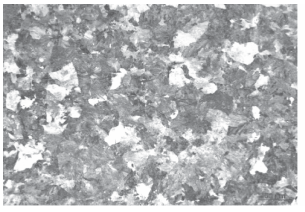
b) No.1, x200-HAZ



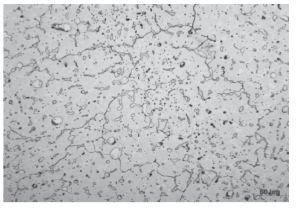
c) No.1, x200-MH



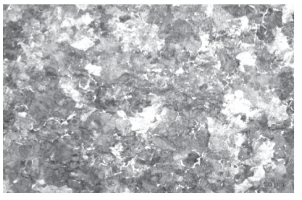
d) No.2, x200-KLCB



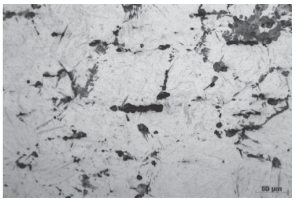
e) No.2, x200-HAZ



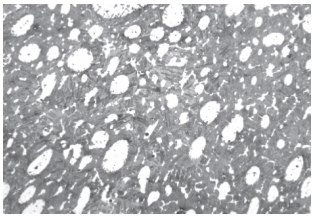
f) No2, x200-MH



g) No.6, x200-KLCB



h) No.6, x200-HAZ



k) No.6, x200-MH

Hình 11. Ảnh tổ chức tế vi mối hàn MAG vật liệu composte trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng: a, b, c – Mẫu No.1; d, e, f – Mẫu No.2; g, h, k – Mẫu No.6

Phân tích kết quả thí nghiệm trên hình 11 ta có nhận xét như sau:

1) Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng KLCB trên các mẫu No.1 (hình 11a); No.2 (hình 11d) và No.6 (hình 11g) có đặc điểm với cấu trúc pha giống nhau, đặc trưng cho thép các bon thấp thông dụng, phân bố đồng đều trong bề mặt khảo sát;

2) Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng HAZ trên mẫu No.1 (hình 11b) có cấu trúc pha thay đổi so với tại vùng KLCB (hình 11a): ở đây có các tiểu vùng cấu trúc pha màu trắng cục bộ tích tụ nhiều hơn ở phía bên trái bề mặt mẫu khảo sát, điều đó chứng tỏ đã có sự ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn rất đáng kể. Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng HAZ trên mẫu No.2 (hình 11e) có đặc điểm ảnh hưởng nhiệt cũng không đáng kể, các pha cấu trúc màu trắng gần giống như tại vùng KLCB của nó (hình 11d). Các pha cấu trúc có màu xám phân bố tương đối đều trong nền pha màu sáng trắng theo toàn bộ bề mặt mẫu khảo sát. Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng HAZ trên mẫu No.6 (hình 11h) có đặc điểm khác biệt hơn so với hai mẫu No.1 và No.2 đã xét ở trên. Trong trường hợp này thấy rõ có sự ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn MAG rất đáng kể do có xuất hiện các pha cấu trúc màu sáng trắng nhiều hơn. Để làm rõ hiện tượng này, nhóm nghiên cứu đang thực hiện phân tích SEM/EDX tại vài tiểu vùng cấu trúc đặc trưng trên mẫu này và sẽ công bố kết quả trong một bài báo khác tiếp theo;

3) Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng MH trên mẫu No.1 (hình 11c) có đặc điểm thay đổi rất đáng kể so với tại các vùng KLCB và HAZ của nó. Điều đó chứng tỏ trong trường hợp này không có ảnh hưởng của nhiệt hàn một cách đáng kể. Các pha cấu trúc có màu xám trên mẫu No.1 có độ hạt nhỏ mịn hơn nhiều so ☞

với tại vùng KLCB và vùng HAZ, còn các pha cục bộ phân bố rải rác có màu trắng có kích thước hạt không thay đổi đáng kể. Đối với mối hàn MAG khảo sát tại vùng MH trên mẫu No.2 (hình 11f), tổ chức tế vi có đặc điểm thay đổi đáng kể và khác biệt so với vùng KLCB của nó: các pha có màu trắng phân bố khá đồng đều trong lưới biên giới liên kết pha hoặc giữa các hạt có màu đen. Ngoài ra, còn phát hiện thấy xuất hiện các tiểu vùng cấu trúc pha hạt mịn có màu xám hoặc màu vàng cam, phân bố tương đối đều theo bề mặt mẫu khảo sát. Điều đó chứng tỏ có sự ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn MAG ở đây khá lớn. Tổ chức tế vi mối hàn MAG tại vùng MH trên mẫu No.6 (hình 11k) lại có cấu trúc pha rất đặc biệt: có sự hình thành khá nhiều tiểu vùng cấu trúc hạt hình dạng gần hình cầu kéo dài với kích thước khá lớn xen kẽ với các hạt mịn và phân bố đều theo bề mặt mẫu khảo sát. Các hạt cấu trúc pha dạng hình cầu này tại vùng MH phân bố trội hơn về một hướng trên bề mặt mẫu khảo sát so với các vùng cấu trúc KLCB và HAZ của nó như đã xét ở trên.

Như vậy, để làm rõ hơn về sự biến đổi cấu trúc pha tại một vài tiểu vùng cấu trúc đặc trưng trong mối hàn MAG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng, hiện nay nhóm nghiên cứu đã khảo sát và phân tích SEM/EDX của mối hàn, kết quả sẽ được công bố trong một bài báo ở số khác tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

1) Đã thực hiện thử nghiệm hàn MAG liên kết giáp mối từ các mảnh ghép làm bằng thép các bon SS400 và vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng trên máy hàn hiện có tại Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh có kết quả khả quan. Mẫu hàn thử nghiệm được phân tích, đánh giá mức độ biến dạng sau khi hàn bằng phần mềm chuyên dụng Polywords trong máy quét 3D kỹ thuật thiết kế ngược và đánh giá hình thái bề mặt mối hàn qua ảnh trực quan ở trạng thái sau khi hàn;

2) Đặc điểm tổ chức thô đại và tổ chức tế vi vật liệu mối hàn MAG trong nghiên cứu này phụ thuộc vào chế độ hàn thử nghiệm nhìn chung đạt yêu cầu theo kỳ vọng, có thể hiệu chỉnh để ứng dụng cho việc hàn tạo hình phôi chi tiết đĩa thép đối ứng, cũng như tạo phôi đĩa ma sát kích thước lớn trong bộ ly hợp truyền động cơ khí từ các mảnh ghép trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng luyện kim bột là có cơ sở khoa học và thực tiễn. Tổ chức tế vi tại các vùng HAZ và MH trên các mẫu hàn MAG thử nghiệm đã khảo sát đều cho thấy có sự ảnh hưởng nhiệt ở các mức độ khác nhau tùy theo chế độ hàn đã chọn. ❖

Ngày nhận bài: **06/5/2024**
Ngày phản biện: **03/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Федорченко И. М., Крячек В. М., Патайоти И.И.,(1975):"*Современнные фрикционнные материалы*", Киев, Наумкова думка,336 стр..

[2]. И. М. Федоренко и другие, (1978): "*Свойства порошков металлов, тугоплавких соединений и спеченных материалов*", Киев, Издат-во: "Наукова Думка", 183 стр..

[3]. Под редакцией док. техн. наук Б. С. Митина, (1987): "*Порошковая металлургия и напыленные покрытия*", Москва, "Металлургия", 792 стр..

[4]. J. M. Tura, A. Traveria, M. D. de Castellarm J. Pujadas, J. Blouet, R. Gras, H. G. Magham. P. Belair, T. Hanau, A. Romero (1995): "*Frictional properties and wear of*

molybdenum coating and a bronze (Cu – 10%Sn) with friction modifier fillers", Elsevier Science S.A., p. 71-76.

[5]. Xiang Xiong, Jie Chen, Pinping Yao, Shipeng Li, Baiyun Huang (2006): "*Friction and behaviors and mechanisms of Fe and SiO_2 in Cu-based P/M friction materials*", ScienceDirect.

[6]. A. Shrestha, R. Asthana, T. K. Laksonen, and M. Singh (2009): "*Synthesis and Characterization of Air-Sintered Al_2O_3-Bronze Composites*", Journal of Materials Engineering and Perfomance, (JMEPEG), ASM International, p.1041-1045, www.sciencedirect.com.

[7]. Bekir Unlu, Enver Atik (2009): "*Evaluation of effect of alloy elements copper based CuSn10 and CuSn30 bearings on tribological and mechanical properties*", Journal of Alloys & Compounds, p.262-268. www.elsevier.com/locate/jallcom.

[8]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Giáp, Đặng Văn Tuấn (2012); "*Nghiên cứu vật liệu ma sát bộ ly hợp máy động lực, ô tô vận tải hạng nặng trong ngành khai thác khoáng sản*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số T11/2012, trang 114 -124.

[9]. Hà Minh Hùng, Trần Tuấn Anh (2013); "*Tính chất vật liệu hợp kim đồng ma sát chế tạo trong nước bằng phương pháp ép – thiêu kết dưới áp lực*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 8, T8/2013, trang 25-34.

[10]. Hà Minh Hùng (2013): "*Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu hợp kim 03 lớp (trimetal) ứng dụng làm đĩa ma sát của bộ ly hợp động cơ máy động lực, máy công trình*", Báo cáo tổng kết KHKT đề tài NCKH cấp Bộ Công Thương năm 2013, mã số 119.13/RD/HĐ-KHCN, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.

[11]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Mễ (2022): "*Lựa chọn các vật liệu đĩa ma sát và chi tiết đối ứng thích hợp dự kiến ứng dụng cho xe ô tô vận tải 15 ÷ 35 tấn*", Báo cáo Chuyên đề 3 thuộc đề tài NCKH cấp Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến (IDAT) năm 2022 về vấn đề "Nghiên cứu công nghệ hàn plasma vật liệu composite hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng chế tạo đĩa ma sát bộ ly hợp công suất lớn" (ký hiệu: 02.RD/IDAT-KHCN 2022).

THỰC NGHIỆM CẤP ĐÔNG TÔM THẺ VỚI SỰ HỖ TRỢ CỦA SÓNG SIÊU ÂM

EXPERIMENT ON ULTRASOUND – ASSISTED FREEZING OF WHITE SHRIMP

SV. **Đinh Công Duẩn**, PGS,TS. **Nguyễn Thế Bảo**
Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Cấp đông là một phương pháp phổ biến, hiệu quả nhất để bảo quản thực phẩm. Tuy nhiên, phương pháp cấp đông truyền thống vẫn mất khá nhiều thời gian để cấp đông sản phẩm, làm giảm chất lượng sản phẩm sau quá trình cấp đông. Việc ứng dụng sóng siêu âm trong quá trình cấp đông sẽ là một công nghệ mới và đầy hứa hẹn giúp giảm thời gian cấp đông sản phẩm. Do mỗi sản phẩm cấp đông đều có các đặc tính khác nhau nên việc lựa chọn thông số sóng siêu âm hỗ trợ hiệu quả cho quá trình cấp đông các sản phẩm khác nhau là không giống nhau. Bài báo trình bày ảnh hưởng của sóng siêu âm tới thời gian cấp đông tôm thẻ tại các mức công suất 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W.

Từ khoá: *Sóng siêu âm; Quá trình cấp đông; Tôm thẻ; Thời gian cấp đông.*

ABSTRACT

Freezing is one of the most popular and efficient methods of food preservation. However, traditional freezing takes quite a long time to freeze food products and decreases their quality. The application of ultrasound is a new and promising technique to reduce freezing time. Because each product has different characteristics, therefore, the selection of ultrasound parameters that support food freezing processes is different. This article presents the effects of ultrasound on freezing time during the freezing process of peeled white shrimps with ultrasound power levels: 0W, 75W, 100W, 125W, 150W, and 175W.

Keywords: *Ultrasound; Freezing Process; White Shrimp; Freezing Time.*

1. GIỚI THIỆU

Tôm thẻ là mặt hàng có giá trị kinh tế cao của Việt Nam. Theo tạp chí người nuôi tôm, ước tính, năm 2023, xuất khẩu tôm của Việt Nam đạt 384,4 nghìn tấn, trị giá 3,346 tỉ USD. Trong đó, xuất khẩu sang Hoa Kỳ, Nhật Bản và châu Âu chiếm tỉ trọng lớn nhất. Do đây đều là những thị trường lớn nên yêu cầu rất cao về chất lượng tôm, nên việc bảo đảm chất lượng tôm xuất khẩu là một việc rất quan trọng. Hiện nay, phương pháp phổ biến được sử dụng ở nước ta để bảo quản tôm xuất khẩu là cấp đông tôm nhanh và đưa vào bảo quản ở kho lạnh có nhiệt độ không lớn hơn -18°C. Tuy nhiên, trong quá trình cấp đông, khi chuyển các phân tử lỏng chuyển dạng sang tinh thể băng, thể tích riêng của nước tăng khoảng 10%. Chính sự hình thành của các tinh thể băng đã phá vỡ mô và cấu trúc tế bào tôm, dẫn đến sự đổi màu và suy giảm giá trị dinh dưỡng thực phẩm. Có thể nói, kích thước của các tinh thể băng có ảnh hưởng đáng kể tới chất lượng sản phẩm cấp đông [1]. Nếu kích thước các tinh thể băng lớn và phân bố không đều (bên trong và bên ngoài tế bào) có nguy cơ cao phá vỡ cấu trúc tế bào. Điều này xảy ra khi tốc độ cấp đông không đủ nhanh. Mặt khác, các tinh thể băng có kích thước nhỏ và phân bố đều có khả năng duy trì cấu trúc tế bào tốt hơn [1]. Sự phân bố đều này thường xảy ra ở tốc độ cấp đông cao [1]. Có nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng cấp đông với sự hỗ trợ của sóng siêu âm (UAF) ở mức công suất siêu âm phù hợp có thể làm giảm thời gian cấp đông của sản phẩm. Sự thúc đẩy tốc độ cấp đông của sóng siêu âm chủ yếu dựa vào sự tạo mầm băng và sự thúc đẩy quá trình trao đổi nhiệt và chất. Sự tạo mầm băng gồm hai giai đoạn chủ yếu: tạo mầm thứ cấp và tạo mầm sơ cấp. Trong quá trình tạo mầm sơ cấp, một số bong bóng được tạo ra nhờ sự nén và dãn của sóng siêu âm. Các bong bóng này, tùy theo việc chúng có khả năng phát nổ hay không, được chia làm hai loại: bong bóng ổn định và bong bóng tạm thời. Bong bóng ổn định thường được sinh ra ở cường độ siêu âm thấp. Chuyển động ổn định của của các bong bóng này thúc đẩy quá trình truyền nhiệt và chất. Ở giai đoạn tạo mầm thứ cấp, các bong bóng tạm thời vỡ ra, giải phóng nhiệt độ và áp suất cục bộ cao, ngay lập tức tạo thành các sóng xung kích, phá huỷ cấu trúc dạng gai của các tinh thể băng, hạn chế kích thước của các tinh thể băng ban đầu. Bên cạnh đó, cách mảnh vỡ nhỏ mới hình thành sau khi tinh thể băng bị phá vỡ đóng vai trò như những hạt nhân tinh thể, có thể tiếp tục phát triển thành lượng lớn các tinh thể băng mới, do đó làm giảm thời gian cấp đông [2].

Tuy nhiên, sự hiệu quả của sóng siêu âm trong việc hỗ trợ cấp đông còn phụ thuộc vào cường độ sóng siêu âm, thời gian phát sóng và thuộc tính của vật liệu cấp đông [3], mỗi loại vật liệu khác nhau khi cấp đông sẽ cần có chế độ siêu âm phù hợp riêng. Do đó, tiến hành lựa chọn chế độ siêu âm phù hợp là cần thiết để có thể tối ưu được thời gian cấp đông vật liệu tương ứng. Phần thực nghiệm này được tiến hành để tìm ra mức công suất siêu âm tối ưu nhất (trong số các mức siêu âm được lựa chọn) cho quá trình cấp đông tôm thẻ.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

Tôm thẻ (loại 30-35 con tươi sống/kg) được mua tại thành phố Hồ Chí Minh và vận chuyển đến nơi thí nghiệm trong vòng 30 phút. Để có kết quả rõ ràng nhất, tôm được bóc vỏ và đầu, chỉ để lại phần ruột. Khối lượng ruột tôm cho một mẻ cấp đông là 1000g (khoảng 58-62 ruột tôm/mẻ). Khối lượng của một ruột tôm lấy mẫu là khoảnh 18-20g, nhiệt độ tôm trước khi cấp đông vào khoảng 10-12°C.

2.2. Thiết bị thí nghiệm

• Tủ cấp đông gió chế độ lạnh 2 cấp với buồng cấp đông có kích thước: 800 x 600 x 500 mm. Năng suất thiết kế của tủ: 1 kg/mẻ trong vòng 1h.

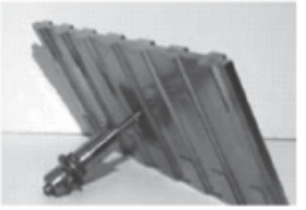
Hình 2.1. Tủ cấp đông gió

• Bộ phát sóng siêu âm bao gồm các thiết bị:

+ Thiết bị tạo sóng siêu âm CDEXIM0620 (hình 2.2):

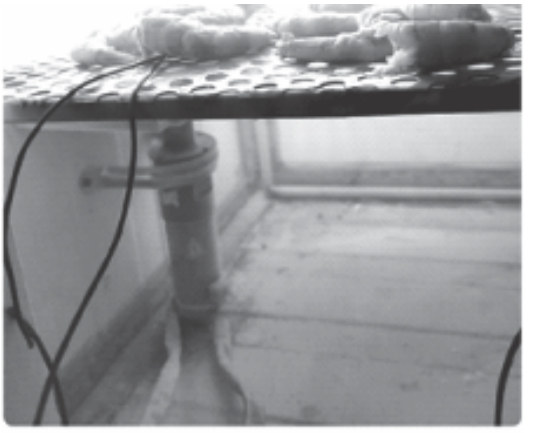
Hình 2.2. Thiết bị tạo sóng siêu âm CDEXIM0620

+ Đầu phát sóng siêu âm dạng tấm:



Hình 2.3. Đầu phát sóng siêu âm dạng tấm bậc

+ Trong tủ đông, đầu phát sóng siêu âm dạng tấm được cố định vào vách trong tủ, đầu phát xạ hướng lên trên, song song và nằm bên dưới khay cấp đông (hình 2.4). Tần số sóng siêu âm được sử dụng trong thí nghiệm là 20 kHz.



Hình 2.4. Bố trí đầu phát sóng siêu âm trong tủ đông

2.3. Thiết bị đo

2.3.1. Thiết bị đo nhiệt độ

Thí nghiệm sử dụng thiết bị đo nhiệt độ DS-1 (-50°C 70° →C 1°C). Thiết bị có đầu dò kim loại và kích thước đầu dò thiết bị phù hợp để cắm vào giữa con tôm.

Hình 2.5. Thiết bị đo nhiệt độ DS-1

2.3.2. Thiết bị đo khối lượng

Thí nghiệm sử dụng cân khối lượng Super SS (sai số 5g).

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Hình 2.6. Cân SuperSS

2.3.3. Thiết bị đo điện năng cho một mẻ cấp đông

Thí nghiệm sử dụng đồng hồ công tơ điện 1 pha 2 dây 220V Emic CV140 để đo điện năng tiêu thụ của toàn bộ hệ thống cho một mẻ cấp đông.

Hình 2.7. Công tơ điện 1 pha

2.3.4. Thiết bị đo công suất sóng siêu âm

Thí nghiệm sử dụng đồng hồ đo công suất PZEM – 022 kết hợp với điều chỉnh công suất trên bộ nguồn để cho ra công suất sóng siêu âm mong muốn sử dụng.

Hình 2.8. Đồng hồ đo công suất sóng siêu âm

2.3.5. Thiết bị đo thời gian gián đoạn

Thí nghiệm sử dụng Rơ-le luân phiên Omron DH48S-S để thiết lập tỉ lệ gián đoạn (thời gian bật – tắt) phát sóng siêu âm.

Hình 2.9. Rơ-le luân phiên Omron DH48S-S

2.4. Cách thức tiến hành

Khởi động, chạy máy và chờ cho tới khi nhiệt độ không khí trong buồng cấp đông đạt tới -35°C. Trong lúc chờ máy chạy, tiến hành xử lý bóc vỏ tôm và làm lạnh tôm về nhiệt độ 10°C. Khi nhiệt độ không khí trong buồng đạt -35°C, tiến hành gắn đầu dò nhiệt độ vào giữa thân tôm, sau đó tiến hành bỏ tôm lên khay cấp đông trong tủ.

Hình 2.10. Tôm trên khay

Tôm được xếp lên khay dạng 1 lớp và không chồng lên nhau. Các con tôm có gắn đầu dò nhiệt độ ở tất cả các lần thí nghiệm đều được đặt tại cùng một vị trí (ngay phía đầu khay cấp đông và bên trên bộ phát siêu âm). Tiến hành ghi lại nhiệt độ tôm sau mỗi 5 phút, cho tới khi nhiệt độ tâm tôm đạt -18°C thì kết thúc thí nghiệm. Sóng siêu âm được bật từ lúc bắt đầu đưa tôm vào tới khi kết thúc thí nghiệm.

Cách điều chỉnh công suất sóng siêu âm: Dừng phát sóng trên bộ nguồn, sau đó điều chỉnh mức công suất mong muốn. Mức công suất mong muốn được đo và hiển thị bằng số trên đồng hồ đo mức công suất PZEM – 022.

Cách tạo tỉ lệ gián đoạn (thời gian dừng – phát) sóng siêu âm: Kết nối rơ-le luân phiên với cổng Input trên bộ nguồn siêu âm, cài đặt giá trị thời gian bật – tắt trên rơ-le luân phiên, sau đó cấp nguồn cho rơ-le.

Cách đo điện năng tiêu thụ cho một mẻ: Điện năng tiêu thụ của toàn hệ thống được đo qua công tơ điện 1 pha CV140.

2.5. Nội dung thực nghiệm

Nội dung phần thực nghiệm bao gồm:

• Thực nghiệm ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm tới thời gian cấp đông tôm tại các mức công suất: 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W.

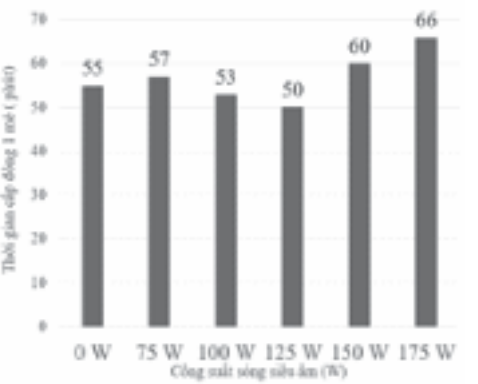
• Thực nghiệm ảnh hưởng của tỉ lệ gián đoạn sóng siêu âm A tới thời gian cấp đông với: A = 0 là phát sóng liên tục; A = 0,4 là 30s bật, 20s tắt; A = 0,8 là 30s bật, 120s tắt; A = 1 là không sử dụng sóng siêu âm.

• Theo dõi mức tiêu thụ điện năng tại các mức công suất 0W, 75W, 100W và 125W.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

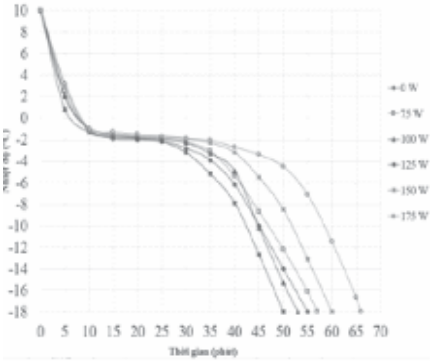
3.1. Ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm tới thời gian cấp đông

Thí nghiệm được tiến hành ở các mức công suất siêu âm 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W.



Hình 3.1. Biểu đồ thời gian cấp đông trên một mẻ theo các mức sóng siêu âm khác nhau

Căn cứ vào biểu đồ trên hình 3.1 cho thấy thời gian tại mức công suất siêu âm 100W (50 phút) và 125W (53 phút), thời gian cấp đông được rút ngắn hơn so với khi không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm (55 phút). Điều này khẳng định rằng đối với tôm thì mức công suất siêu âm 100W và 125W có đem lại hiệu quả trong việc giảm thời gian cấp đông. Trong khi đó, thời gian cấp đông khi sử dụng mức công suất siêu âm 75W (57 phút), 150W (60 phút) và 175W (65 phút) lại cao hơn so với khi không sử dụng sóng siêu âm. Giá trị này có xu hướng tăng lên khi công suất siêu âm tăng. Như vậy, có thể xác nhận rằng không phải mức công suất siêu âm nào cũng hỗ trợ tích cực trong việc giảm thời gian cấp đông tôm. Khi công suất quá yếu hoặc quá mạnh đều ảnh hưởng tới thời gian cấp đông.



Hình 3.2. Đường cong cấp đông thực tế tại các mức công suất siêu âm

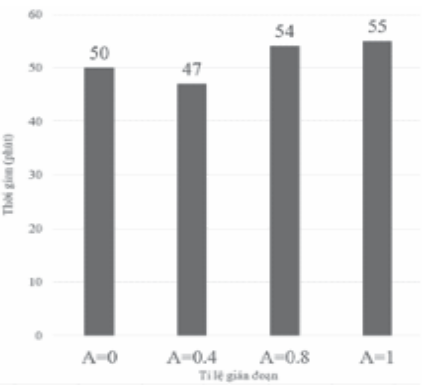
Để làm rõ quá trình cấp đông, ta xem xét đường cong cấp đông thực tế của các quá trình trên hình 3.2. Đường cong trên được lập bởi các giá trị nhiệt độ được ghi lại mỗi 5 phút/1 lần. Do thời gian ghi lại tương đối lâu, nên so với đường cong cấp đông lý thuyết cho thực phẩm, đường cong cấp đông không thể hiện rõ được điểm Supercooling (điểm quá lạnh – điểm có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đóng băng, nhưng khi đó sự hình thành các tinh thể băng vẫn chưa bắt đầu). Tuy nhiên, căn cứ vào những đường cong cấp đông thực tế này, ta vẫn có thể xác định được tương đối điểm đóng băng (freezing point) của tôm.

Thông thường, quá trình cấp đông thường được chia làm ba giai đoạn: Giai đoạn làm lạnh (vật liệu được làm lạnh tới điểm đóng băng, nhiệt độ giảm nhanh chóng); giai đoạn chuyển pha (tính từ điểm đóng băng tới khoảng -5°C, tinh thể băng bắt đầu được hình thành, nhiệt bị lấy đi là nhiệt ẩn, nhiệt độ hầu như không đổi, chỉ giảm nhẹ do sự tăng nồng độ dung dịch); và giai đoạn quá lạnh xuống nhiệt độ yêu cầu [4]. Hình 3.2 cho thấy điểm đóng băng của các mẫu tôm thực nghiệm vào khoảng -1,2 tới -1,9°C. Trong đó, mẫu tôm tại mức sóng siêu âm 125W có điểm đóng băng thấp nhất -1,9°C, tại 100W là -1,8°C, tại 75W là -1,5°C, tại 150W là -1,4°C và mẫu tại mức siêu âm 175W có điểm đóng băng cao nhất -1,2°C. Mẫu tôm có điểm đóng băng càng thấp thì có xu hướng kết thúc giai đoạn chuyển pha càng nhanh, từ đó giúp kết thúc sớm quá trình cấp đông. Thời gian cho giai đoạn chuyển pha nhanh nhất là tại mức 125W với 20 phút, tại 100 W là 25 phút, tại 75W là 25 phút, tại 150W là 29 phút và lâu nhất là tại mức 175W với 35 phút. Như vậy, có thể thấy, thời gian cấp đông khi sử dụng sóng siêu âm thay đổi chủ yếu ở giai đoạn chuyển pha. Điều này là phù hợp với nhận định sóng siêu âm tác động tới quá trình cấp đông chủ yếu qua việc hình thành các mầm băng và thúc đẩy quá trình trao đổi nhiệt – chất [2].

3.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ gián đoạn tới thời gian cấp đông

Dựa trên thực nghiệm, ta nhận thấy mức công suất 125 W cho thời gian cấp đông tốt nhất nên ta lựa chọn mức công suất này để thực nghiệm theo tỉ lệ gián đoạn A. Các mức gián đoạn A được chọn để thực hiện thí nghiệm là:

- A = 0: Phát sóng liên tục;
- A = 0,4: 30s bật, 20s tắt;
- A = 0,8: 30s bật, 120s tắt;
- A = 1: Không sử dụng sóng siêu âm.



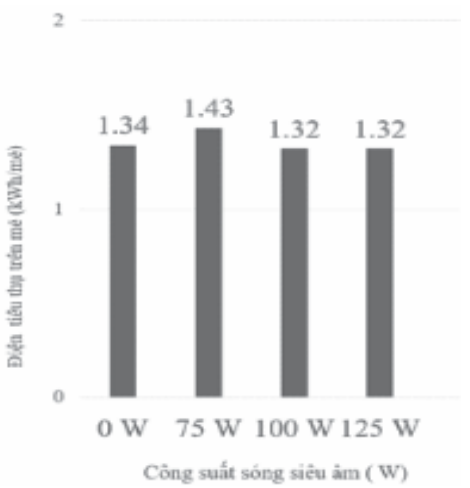
Hình 3.3. Biểu đồ thời gian cấp đông theo tỉ lệ gián đoạn A tại mức công suất siêu âm 125W

Tuy có hỗ trợ tích cực trong việc làm giảm thời gian cấp đông nhưng một số nghiên cứu chỉ ra rằng lượng nhiệt sinh ra trong khi phát sóng siêu âm liên tục cần được xem xét đến [5]. Lượng nhiệt sinh ra này có thể ảnh hưởng tới thời gian cấp đông. Kết quả trên hình 3.3 cho thấy, khi chọn tỉ lệ phát sóng siêu âm là 0,4 (30s bật, 20s tắt) thì thời gian cấp đông thu được là tốt nhất là 47 phút so với 50 phút khi phát sóng siêu âm liên tục. Do đó, có thể nói việc lựa chọn thời gian phát sóng siêu âm cũng là việc cần thiết để tối ưu thời gian cấp đông.

3.3. Mức tiêu thụ năng lượng khi sử dụng phương pháp cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm

Ngoài việc rút ngắn thời gian cấp đông thì vấn đề năng lượng khi sử dụng sóng siêu âm trong cấp đông tôm cũng là vấn đề nên được xem xét.

Thí nghiệm ghi lại năng lượng điện tiêu thụ của hệ thống từ khi đưa tôm vào cấp đông tới khi tôm đạt -18°C tại các mức công suất siêu âm: 0W, 75W, 100W và 125W. Việc đo điện năng tiêu thụ được thực hiện qua công tơ điện 1 pha CV140.



Hình 3.4. Biểu đồ tiêu thụ điện năng trên một mẻ cấp đông

Hình 3.4 cho thấy tại mức công suất 125W, lượng điện năng tiêu thụ là ít nhất, ít hơn khoảng 1,5% so với khi không sử dụng sóng siêu âm. Đồng thời, mức công suất 125W cũng là mức hỗ trợ giảm thời gian tốt nhất. Trong khi đó, mức công suất 75W lại tiêu thụ điện nhiều hơn khoảng 7% so với khi không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Qua đây, có thể khẳng định quá trình cấp đông tôm với sự hỗ trợ của sóng siêu âm công suất 125W cho ra thời gian cấp đông và mức tiêu thụ điện năng thấp nhất.

4. KẾT LUẬN

Quá trình thực nghiệm cho thấy sóng siêu âm có những ảnh hưởng nhất định tới quá trình cấp đông tôm. Tại mức công suất 125W và tỉ lệ gián đoạn 0,4 thì sóng siêu âm hỗ trợ tích cực nhất trong việc làm giảm thời gian cấp đông và tiết kiệm điện năng tiêu thụ.❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**
Ngày phản biện: **02/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. L.D. Kaale, T.M. Eikevik, T. Bardal, E. Kjorsvik, T.S Nordtvedt. (2013). *The effect of cooling rates on the ice crystal growth in air-packed salmon fillets during superchilling and superchilled storage*. International Journal Of Refrigeration 36, 110-119.

[2]. Xuan Ma, Jun Mei, Jing Xie. (2021). *Mechanism of ultrasound assisted nucleation during freezing and its application in food freezing process.* International Journal of Food Properties 24, 68-88.

[3]. Ying Xin, Min Zhang, B. Adhikari. (2014). *Ultrasound assisted immersion freezing of broccoli*. Ultrasonics Sonochemistry 21, 1728-1735.

[4]. Y. Ying, Y. Xiang, J. Liu, X. Chen, L. Hu, Y. Li, Y. Hu. (2021). *Optimization of ultrasonic-assisted freezing of Penaeus Chinenis by response surface methodology*. Food Quality and Safety 5, 1-9.

[5]. Da – Wen Sun, Bing Li. (2002). *Microstructuaral change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing*. Journal of Food Engineering 57, 337-345.

BÀI TOÁN LÀM MÁT HỆ THỐNG PHÁO HẠM TỰ ĐỘNG 30MM 6 NÒNG PT-306

COOLING PROBLEM OF AUTOMATIC SHIP ARTILLERY 30MM SYSTEM PT-306

TS. **Trần Văn Đức,** ThS. **Tạ Bá Dũng,** ThS. **Nguyễn Thanh Phúc,** ThS. **Đỗ Văn Hùng**
Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Sự nóng lên của nòng súng pháo khi bắn, đặc biệt đối với pháo tự động uy lực lớn, tốc độ bắn cao như pháo tàu PT-306 là hiện tượng tiêu cực, làm giảm tuổi thọ nòng cũng như làm giảm các tính năng chiến-kỹ thuật của pháo. Nhằm khắc phục hiện tượng đó, pháo sử dụng hệ thống làm mát cưỡng bức khối nòng bằng nước tuần hoàn. Bài báo trình bày kết quả giải bài toán nhiệt thành nòng khi bắn làm cơ sở tính toán thông số của hệ thống làm mát và đưa ra chế độ bắn phù hợp theo điều kiện nhiệt độ giới hạn của nòng pháo.

Từ khóa: *Làm mát cưỡng bức; Pháo tàu PT-306.*

ABSTRACT

The heating of artillery barrel when firing, especially for high-power, high-firing automatic artillery like the PT-306 ship artillery, is a negative phenomenon, reducing barrel life as well as reducing the combat-technical features of artillery. To overcome that phenomenon, the gun user a forced cooling system for the barrel using convection water. The article present the results of solving the problem of barrel heat when firing as a basic for calculating the parameters of the colling system and sugguesting an appropriate firing mode according to the limited temperature conditions of the artillery barrel.

Keywords: *Forced cooling system; PT-306 ship artillery.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

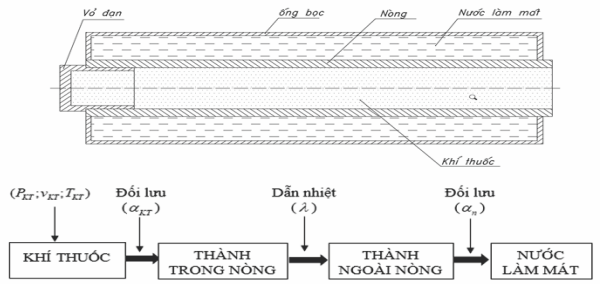
Pháo tự động 30 mm 6 nòng PT-306 được thiết kế theo mẫu là hệ thống pháo AK-630M của Nga. Pháo dùng để trang bị cho các tàu chiến với nhiệm vụ chính tiêu diệt tên lửa đối hải, máy bay, trực thăng và các phương tiện tấn công trên không khác của địch hoặc phá hủy các mục tiêu cỡ nhỏ trên mặt biển, mìn trôi,....

Pháo PT-306 hoạt động theo nguyên lý pháo nhiều nòng có khối nòng quay liên tục khi bắn nhờ trích một phần năng lượng khí thuốc, tốc độ bắn lên đến 4000-5000 phát/phút. Khi bắn, khí thuốc với nhiệt độ, áp suất và vận tốc cao truyền một phần nhiệt lượng cho lớp vật liệu ở lòng nòng, sau đó nhiệt lượng được truyền theo các lớp vật liệu từ trong ra bề mặt ngoài nòng và tiếp tục được truyền sang nước làm mát. Để có cơ sở thiết kế hệ thống làm mát bảo đảm làm mát khối nòng một cách tin cậy, cần xây dựng và giải bài toán nhiệt của quá trình trên. Mô hình bài toán được xây dựng và giải bằng phần mềm ANSYS.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ THIẾT LẬP THÔNG SỐ ĐẦU VÀO BÀI TOÁN NHIỆT

2.1. Mô hình tính toán

Mô hình bài toán nhiệt của quá trình làm mát khối nòng pháo tàu PT-306 khi bắn được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Mô hình bài toán nhiệt nòng pháo PT-306

Trong mô hình trên, xảy ra chủ yếu ba quá trình nhiệt:

- Truyền nhiệt đối lưu từ khí thuốc đến mặt trong thành nòng (lưu chất: khí thuốc);

- Dẫn nhiệt từ mặt trong thành nòng đến mặt ngoài thành nòng;

- Truyền nhiệt đối lưu từ mặt ngoài thành nòng đến nước làm mát (lưu chất: nước làm mát, trong trường hợp không làm mát cưỡng bức, coi quá trình này là truyền nhiệt đối lưu đến không khí môi trường và khi đó lưu chất là không khí).

2.2. Thiết lập thông số đầu vào cho bài toán nhiệt

a) Đối với truyền nhiệt đối lưu

Sử dụng phương trình Newton mô tả quá trình đối lưu:

$$dQ = \alpha\left(tT - tL\right)dF \bullet d\tau \qquad (1)$$

Trong đó: dQ – Nhiệt lượng do một bề mặt dF của vật thể có nhiệt độ tT cấp cho môi trường xung quanh có nhiệt độ tL (hoặc ngược lại) trong khoảng thời gian dτ; tT – Nhiệt độ của vật rắn (°C); tL – Nhiệt độ của lưu chất (chất lỏng hoặc khí) (°C); α – Hệ số tỏa nhiệt; dF – Diện tích (m^2); dτ – Thời gian (s).

Hệ số tỏa nhiệt α phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: loại chất tải nhiệt (khí, lỏng, hơi); tốc độ chuyển động của lưu chất; kích thước, hình dạng, vị trí và trạng thái của bề mặt trao đổi nhiệt; tính chất vật lý, nhiệt độ của chất tải nhiệt; nhiệt độ của chất rắn,…. Do đó, α được xác định bằng thực nghiệm mà phổ biến nhất là phương pháp đồng dạng thông qua chuẩn số Nuselt [1].

Phương trình chuẩn số tổng quát đặc trưng cho quá trình trao đổi nhiệt đối lưu:

$$Nu = C \cdot Re^k \cdot Pr^m \cdot Gr^n \quad (2)$$

Trong đó:

- C, k, m, n là những hằng số xác định bằng thực nghiệm;
- Nu, Pr, Re, Gr lần lượt là các chuẩn số Nuselt; Prantl; Reynold; Gratkov.

Trong bài toán nhiệt của pháo PT-306:

- Trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên giữa nòng súng và không khí môi trường:

$$Nu = 0,47.Gr^{0,25} \quad (3)$$

- Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức giữa lòng nòng súng và khí thuốc:

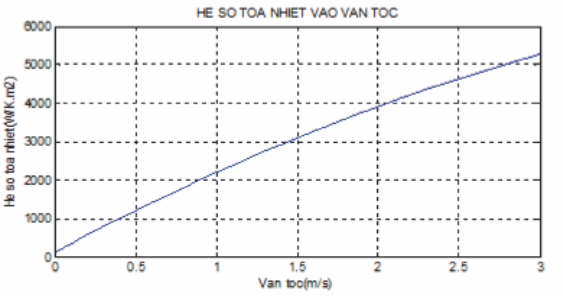
$$Nu = 0,021.\varepsilon_k.Re^{0,8}.Pr^{0,43} \quad (4)$$

- Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức giữa mặt ngoài nòng và nước làm mát (nước trong thân ống làm mát được xem là chuyển động cưỡng bức, chế độ chảy rối):

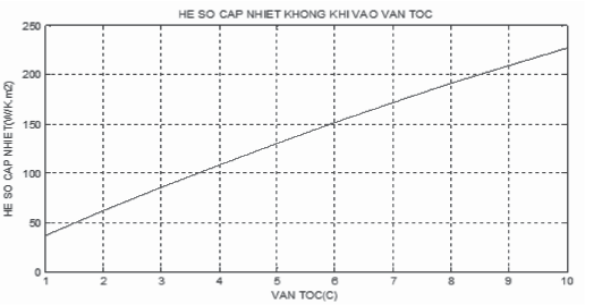
$$Nu = 0,021 \cdot \varepsilon_k \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_T} \right)^{0,25} \quad (5)$$

Với ε_k là hệ số điều chỉnh, đặc trưng cho ảnh hưởng của tỷ số giữa chiều ống L và đường kính ống đến hệ số tỏa nhiệt.

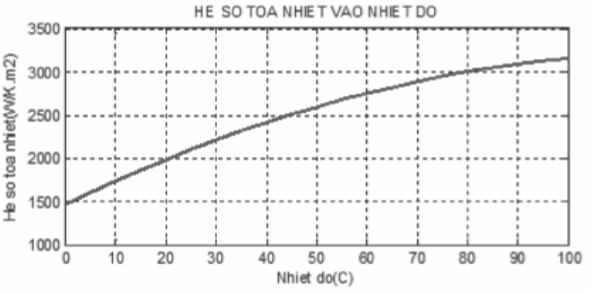
Một số kết quả tính toán hệ số tỏa nhiệt α đối với các lưu chất (khí thuốc; nước làm mát) như sau:



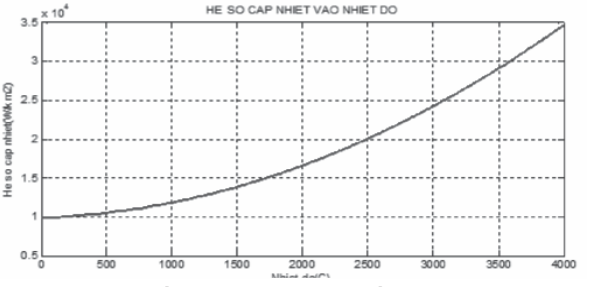
Hình 2. Hệ số tỏa nhiệt của nước phụ thuộc vào vận tốc (nhiệt độ 35°C)



Hình 3. Hệ số tỏa nhiệt của khí thuốc phụ thuộc vào vận tốc (nhiệt độ 400°C)



Hình 4. Hệ số tỏa nhiệt nước phụ thuộc vào nhiệt độ (vận tốc 7,1 m/s)



Hình 5. Hệ số tỏa nhiệt khí thuốc phụ thuộc vào nhiệt độ (vận tốc 350 m/s)

b) Đối với quá trình dẫn nhiệt

Phương trình Fourier mô tả quá trình dẫn nhiệt:

$$dQ = \lambda \frac{dT}{dn} dF \bullet d\tau \quad (7)$$

Trong đó: dT/dn – Gradien nhiệt độ; F – Diện tích bề mặt vuông góc với phương dẫn nhiệt, τ – Thời gian; λ – Hệ số dẫn nhiệt phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ. Trong bài toán này, λ được lấy theo [4] với giả thiết thép nòng là thép hợp kim Niken.

c) Các giả thiết và thông số khác

Khi xây dựng và giải bài toán nhiệt, sử dụng các giả thiết như sau:

- Bỏ qua tác dụng nhiệt do ma sát gây ra giữa đai đồng của đạn và rãnh xoắn (nòng chỉ nhận được nhiệt lượng từ khí thuốc);

- Nòng được coi là một ống hình trụ, đối xứng quanh trục của nó. Đặc điểm truyền nhiệt của lớp mạ Crôm như của thép nòng;

- Vận tốc nước chuyển động trong ống bọc là vận tốc trung bình và bằng nhau ở mọi vị trí và xấp xỉ vận tốc dài của chuyển động quay của khối nòng khi bắn. Từ kết cấu của pháo, tính được vận tốc nước bằng 7,1 m/s;

- Các thông số về nhiệt độ, áp suất, vận tốc khí thuốc (phụ thuộc vào thời gian) được lấy theo kết quả bài toán thuật phóng trong của pháo tự động 30mm kiểu AO-18 [2];

- Các thông số về kết cấu và kích thước nòng được lấy theo tài liệu thiết kế nòng pháo tự động 30mm kiểu AO-18 [2].

2.3. Mô phỏng bài toán trong phần mềm ANSYS

Để giải bài toán trong ANSYS, chọn module tính toán "Transient Thermal". Cần thiết lập đầy đủ điều kiện, thông số đầu vào, chú ý:

- Nhiệt độ các chi tiết, nhiệt độ môi trường ban đầu: 30°C;

- Nhiệt độ đầu vào của khí thuốc trong nòng theo [2];

- Hệ số tỏa nhiệt của không khí theo nhiệt độ;

- Hệ số tỏa nhiệt của khí thuốc trong nòng theo nhiệt độ;

- Hệ số tỏa nhiệt của nước theo nhiệt độ;

- Hệ số dẫn nhiệt của thép nòng theo nhiệt độ lấy theo [3].

Khi thiết lập kết quả đầu ra, ta thiết lập nhiệt độ mặt trong thành nòng trong quá trình bắn tại mặt cắt là vị trí bắt đầu rãnh xoắn (vị trí có nhiệt độ lớn nhất).

Thời gian giữa hai phát bắn liên tiếp của một nòng là 0,0715s.

Đối với pháo tàu PT-306 chế độ bắn khắc nghiệt nhất là bắn tối đa 3 loạt, mỗi loạt liên tục 400 viên (mỗi nòng bắn 67 viên), giữa các loạt nghỉ 30s làm mát nòng. Ngoài ra, trong trường hợp khẩn cấp có thể bắn mà không có làm mát. Do vậy, ta tính toán nhiệt độ thành nòng với các chế độ bắn trên.

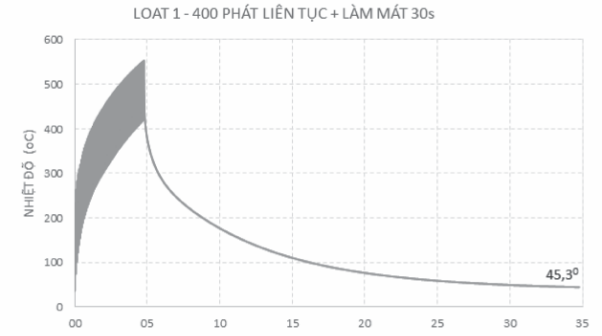
3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Nhiệt độ mặt trong thành nòng tại vị trí bắt đầu rãnh xoắn sau loạt bắn thứ nhất (400 viên sau đó làm mát 30s)

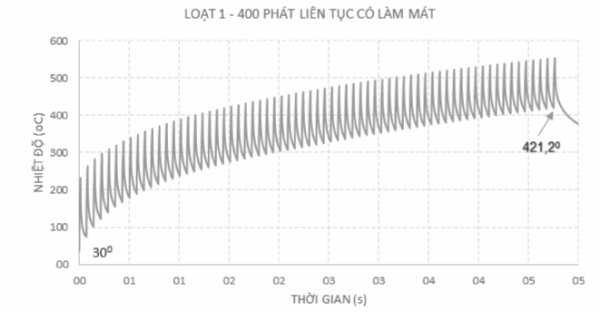
- Nhiệt độ lớn nhất trước khi thực hiện phát bắn: T = 421,2°C;

- Nhiệt độ ban đầu T = 30°C (nhiệt độ môi trường);

- Nhiệt độ sau khi làm mát 30s: T = 45,3°C.



Hình 6. Nhiệt độ lớn nhất của nòng sau loạt bắn thứ nhất

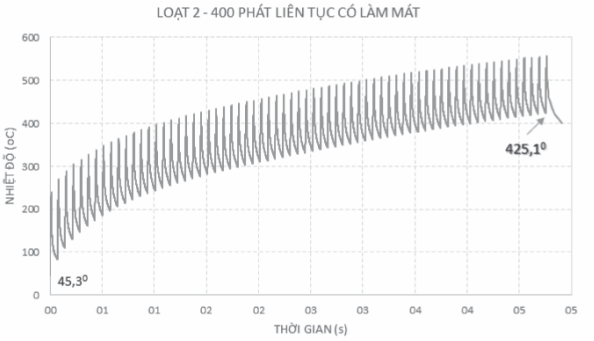


Hình 7. Nhiệt độ lớn nhất của nòng sau loạt bắn thứ nhất (đến t = 5,0s)

3.2. Nhiệt độ mặt trong thành nòng tại vị trí bắt đầu rãnh xoắn sau loạt bắn thứ hai

- Nhiệt độ lớn nhất ngay trước khi thực hiện phát bắn: T = 425,1°C;

- Nhiệt độ ban đầu: T = 45,3°C (nhiệt độ khi kết thúc loạt bắn thứ nhất).

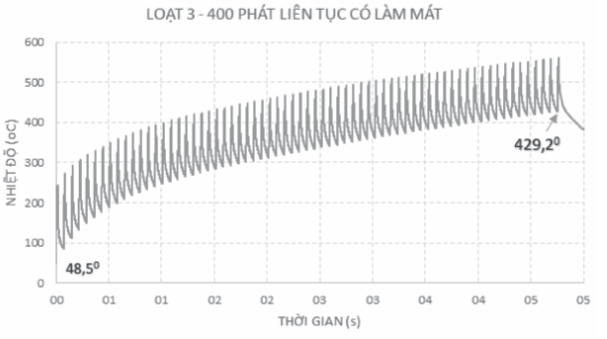


Hình 8. Nhiệt độ lớn nhất của nòng sau loạt bắn thứ hai (đến t = 5,0s)

3.3. Nhiệt độ mặt trong thành nòng tại vị trí bắt đầu rãnh xoắn sau loạt bắn thứ ba

- Nhiệt độ lớn nhất ngay trước khi thực hiện phát bắn: T = 429,1°C;

- Nhiệt độ ban đầu: T = 48,5°C (nhiệt độ sau khi kết thúc loạt bắn thứ hai).

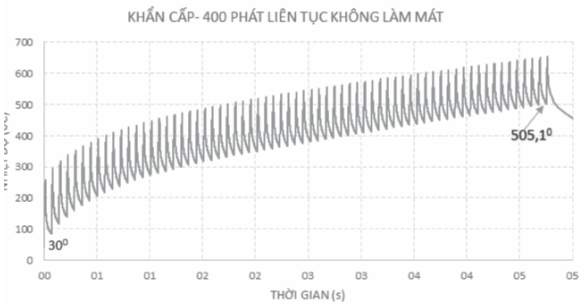


Hình 9. Nhiệt độ lớn nhất của nòng sau loạt bắn thứ ba (đến t = 5,0s)

3.4. Nhiệt độ mặt trong thành nòng tại vị trí đầu rãnh xoắn khi bắn trong trường hợp khẩn cấp, không làm mát bằng nước

- Nhiệt độ lớn nhất ngay trước khi thực hiện phát bắn: T = 505,1°C; ☞

- Nhiệt độ sau khi bắn 30s: T = 224,5°C.



Hình 10. Nhiệt độ lớn nhất của nòng khi bắn 400 phát không làm mát

3.5. Nhận xét

Các kết quả tính toán cho thấy, với chế độ bắn liên tục 400 viên, sau đó dừng bắn 30s để làm mát nòng, nhiệt độ cao nhất của thành nòng tại thời điểm bắt đầu thực hiện phát bắn lần lượt là 421,2°C; 425,1°C; 429,1°C.

Khi kết thúc mỗi loạt bắn, sau 30s làm mát, nhiệt độ thành nòng được đưa về xấp xỉ nhiệt độ môi trường với các giá trị lần lượt là 45,3°C và 48,5°C sau loạt 1 và loạt 2.

Khi bắn trong trường hợp khẩn cấp, nhiệt độ cao nhất của thành nòng tại thời điểm bắt đầu thực hiện phát bắn có thể đạt đến giá trị 505,1°C, cao hơn nhiều giá trị cho phép.

4. KẾT LUẬN

Với mô hình và các thông số được thiết lập cho bài toán nhiệt nòng pháo PT-306 khi bắn trong điều kiện làm mát bằng nước tuần hoàn cho phép xác định được nhiệt độ lớn nhất thành nòng khi bắn ở chế độ bắn khắc nghiệt nhất.

Kết quả tính toán cho thấy, khi làm mát bằng nước tuần hoàn, nhiệt độ lớn nhất của thành nòng tại thời điểm ngay trước khi thực hiện phát bắn vẫn nằm trong giới hạn nhiệt độ cho phép (450°C). Trong trường hợp khẩn cấp khi không có làm mát, với cùng số lượng phát bắn như trên, nhiệt độ cao nhất thành nòng có giá trị cao hơn đáng kể, vượt quá giới hạn cho phép. Do đó, để bảo đảm tuổi thọ của nòng cũng như sự hoạt động tin cậy của hệ thống pháo, khuyến nghị không bắn pháo với loạt dài đến 400 phát nếu không có làm mát bằng nước tuần hoàn.❖

Ngày nhận bài: **15/5/2024**
Ngày phản biện: **03/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Hoàng Đình Tín; *Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2001.

[2]. Trần Thanh Hải; Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ Quốc phòng: "*Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo Thân pháo tự động 30mm kiểu AO-18*", Hà Nội, 2020.

[3]. S.M.Shelton. *Thermal conductivity of some irons and stells over the temperature range 100 to 500 C,* Bureau of Standards. Vol 12, 1994.

PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA VẬT LIỆU THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT TRONG BẦU HẤP PHỤ ĐẾN KHẢ NĂNG LÀM VIỆC CỦA MÁY LẠNH HẤP PHỤ

ANALYSIS THE EFFECT OF HEAT EXCHANGER MATERIAL OF ADSORPTION BED ON THE PERFORMANCE OF ADSORPTIVE REFRIGERATORS

TS. **Cao Ngọc Vi**
Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Bài báo phân tích hiệu quả làm việc của máy lạnh hấp phụ có bầu hấp phụ kiểu ống – cánh tản nhiệt. Ba loại vật liệu sử dụng phổ biến trong chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt là đồng (Cu), nhôm (Al) và thép không gỉ (SS) lần lượt được khảo sát bằng phương pháp mô phỏng số. Trong đó, bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt được làm từ nhôm có hệ số làm lạnh cao nhất, COP = 0.515, vượt qua khoảng 6.2% so với Cu và 29.7% so với SS. Bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Cu đạt công suất làm lạnh riêng lớn nhất, SCP = 262.79 W/kg, cao hơn Al và SS lần lượt là 1.8% và 120%.

Từ khóa: *Thiết bị trao đổi nhiệt; Máy lạnh hấp phụ; Vật liệu; Mô phỏng số; Hệ số làm lạnh.*

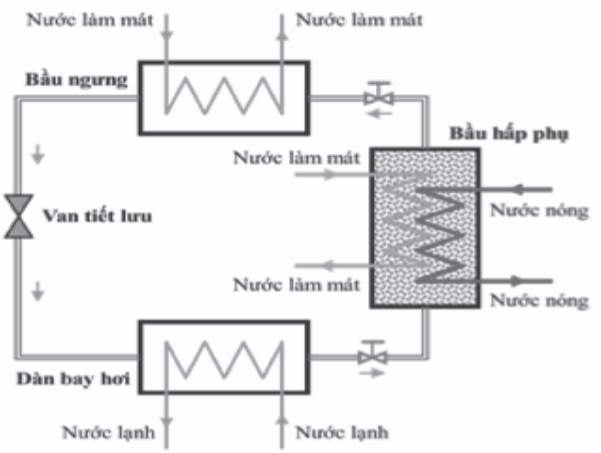
ABSTRACT

This article analyzes the performance of finned-tube type adsorption refrigerators. Three well-known materials, namely, copper (Cu), aluminum (Al) and stainless steel (SS) were simultated respectively. The Al-heat exchanger exhibites the best performance with COP = 0.515. It is followed by Cu- and SS-heat exchanger with about 6.2% and 29.7%, respectively. The Cu-heat exchanger shows the highest SCP. It is around 262.79 W/kg, which is 1.8% and 120% higher than that of Al- and SS-heat exchanger, respectively.

Keywords: *Heat exchanger; Adsorption refrigerator; Material; Numerical simulation; COP.*

1. TỔNG QUAN

Máy lạnh hấp phụ (ACS) sử dụng nhiệt năng làm nguồn động lực, nước (hoặc các chất tự nhiên như rượu ethanol, a-mô-ni-ắc, đi-ô-xít các-bon) làm chất công tác, được cộng đồng khoa học đánh giá là giải pháp thay thế khả dĩ cho máy lạnh nén hơi truyền thống. Hình 1 trình bày sơ đồ cấu trúc của một máy lạnh hấp phụ đơn giản nhất, bao gồm bầu hấp phụ, dàn bay hơi, bầu ngưng và van tiết lưu. Bầu hấp phụ (còn gọi là máy nén nhiệt) là một thiết bị trao đổi nhiệt, được bố trí thêm chất hấp phụ, từ đó tạo ra các quá trình hấp phụ – giải hấp phụ hơi chất công tác cùng với hiệu ứng làm lạnh. Cấu tạo và khả năng làm việc của bầu hấp phụ tác động trực tiếp đến kích thước, giá thành, khả năng cũng như phạm vi sử dụng của máy [1], [2].



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của máy lạnh một bầu hấp phụ

Theo nghiên cứu của Sur và cộng sự [2], việc tăng cường khả năng làm việc của bầu hấp phụ có thể thực hiện bởi các biện pháp sau: tăng diện tích trao đổi nhiệt, giảm nhiệt trở trên bề mặt tiếp xúc thiết bị trao đổi nhiệt – vật liệu hấp phụ, sử dụng chất hấp phụ có nhiệt trở thấp và áp dụng các kỹ thuật của ống nhiệt. Tăng diện tích trao đổi nhiệt là phương thức đơn giản nhất nhưng cũng đem lại hiệu quả cao nhất. Trong đó, cấu trúc ống – cánh tản nhiệt tỏ ra siêu việt hơn những biện pháp khác [3].

Mặc dù vật liệu ống và cánh tản nhiệt có nhiệt trở rất thấp nhưng chiếm tỷ trọng tương đối lớn so với chất hấp phụ [4]. Vì vậy, ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt cần được quan tâm nghiên cứu. Mục tiêu bài báo này là đánh giá ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến khả năng làm việc của máy lạnh hấp phụ. Nghiên cứu được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng số, áp dụng cho thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống – cánh tản nhiệt.

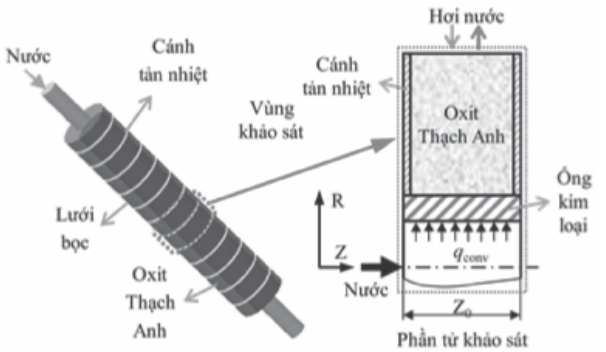
2. MÔ HÌNH TOÁN

Ngày nay, phương pháp mô phỏng số được áp dụng rộng rãi trong hoạt động nghiên cứu cũng như trong thiết kế. Mô phỏng số cho phép thực hiện các nghiên cứu tham số một cách tự động và nhanh chóng với các điều kiện biên khác nhau, tạo tiền đề cho việc tối ưu hóa thiết kế. Mô hình khảo sát ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến hiệu quả làm việc của bầu hấp phụ được trình bày như trên Hình 2. Thông số về cấu hình của thiết bị trao đổi nhiệt, điều kiện khai thác và tính chất Vật lý – Nhiệt của chất hấp phụ được trình bày trong các Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 1. Thông số về cấu hình thiết bị trao đổi nhiệt

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Bước cánh (mm)	FP	3.0
Chiều cao bản cánh (mm)	FH	10
Chiều dày cánh (mm)	FT	0.5
Đường kính bao ngoài (mm)	D_o	32
Đường kính trong của ống (mm)	D_i	10
Đường kính ngoài của ống (mm)	D_m	12

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 2. Mô hình phân tích đặc tính nhiệt động lực học của bầu hấp phụ

Bảng 2. Thông số về điều kiện khai thác

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Nhiệt độ nguồn lạnh (°C)	T_L	30
Nhiệt độ nguồn nóng (°C)	T_H	80
Nhiệt độ bay hơi (°C)	T_{eva}	15
Nhiệt độ ngưng tụ (°C)	T_{con}	30
Thời gian chu trình (s)	t_{cycle}	840
Vận tốc dòng chảy (m/s)	u_H/u_L	1.0

Bảng 3. Tính chất Vật lý – Nhiệt của chất hấp phụ

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Đường kính hạt (mm)	dp	0.2
Khối lượng riêng (kg/m^3)	ρ_b	761
Nhiệt dung riêng (J/kg·K)	c_{pb}	920
Hệ số truyền nhiệt (W/m·K)	k_b	0.198
Nhiệt hấp phụ (mm)	Q_{st}	$2.76 \cdot 10^3$
Độ xốp (-)	ε_p	0.43

Sản lượng lạnh Q_{eva} của hệ thống trong một chu trình tính theo công thức (1) [4]:

$$Q_{eva} = \left[L_v \left(T_{eva} \right) - c_{pb} \left(T_{eva} - T_{con} \right) \right] \times \int_{t_{des}}^{t_{ads}} \dot{m}_g dt \quad (1)$$

Trong đó: L_v – Nhiệt hóa hơi của chất làm lạnh; $\dot{m}_g$ – Lưu lượng khối lượng của dòng hơi chất làm lạnh; c_{pb} – Nhiệt dung riêng của chất hấp phụ; T_{con} – Nhiệt độ ngưng tụ và T_{eva} là nhiệt độ hóa hơi.

Tổng nhiệt giải hấp phụ Q_{des} trong một chu trình tính theo công thức (2) [4]:

$$Q_{des} = \int_{t_{des}} m_b Q_{st} \frac{\partial q}{\partial t} \quad (2)$$

Trong đó: m_b – Khối lượng chất hấp phụ; Q_{st} – Nhiệt hấp phụ; q – Lượng hấp phụ.

Nhiệt hấp thụ trong vật liệu ống, cánh tản nhiệt, chất hấp phụ và chất làm lạnh Q_{sen} tính theo công thức (3) [4]:

$$Q_{sen} = \int_{t_{des}} m_{tube} c_{ptube} \frac{\partial T_{tube}}{\partial t} + \int_{t_{des}} m_{fin} c_{pfin} \frac{\partial T_{fin}}{\partial t} + \int_{t_{des}} m_b \left(c_{pb} + q c_{pw} \right) \frac{\partial T_b}{\partial t} \quad (3)$$

Trong đó: m_{tube} – Khối lượng ống; m_{fin} – Khối lượng cánh tản nhiệt; c_{ptube}, c_{pfin}, c_{pb} và c_{pw} – Nhiệt dung riêng của vật liệu ống, cánh tản nhiệt, chất hấp phụ và chất làm lạnh ở pha lỏng; T_{tube}, T_{fin} và T_b – Nhiệt độ ống, cánh tản nhiệt và chất hấp phụ.

Hệ số làm lạnh được định nghĩa là tỷ số giữa sản lượng lạnh với tổng lượng nhiệt cấp trong một chu trình, xác định theo công thức (4) [4].

$$COP = \frac{Q_{eva}}{Q_{sen} + Q_{des}} \quad (4)$$

Công suất làm lạnh riêng SCP tính theo công thức (5) [4]:

$$SCP = \frac{Q_{eva}}{m_b t_{cycle}} \quad (5)$$

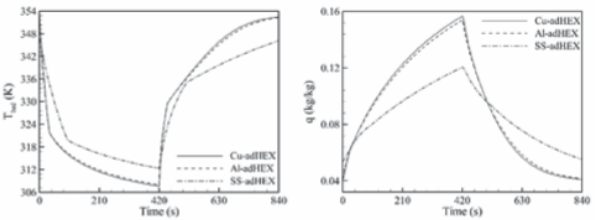
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Ba loại vật liệu phổ biến là đồng (Cu), nhôm (Al) và thép không gỉ (SS) được lựa chọn để khảo sát ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến khả năng làm việc của máy lạnh hấp phụ. Các thông số Vật lý – Nhiệt của mỗi loại vật liệu được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Tính chất Vật lý – Nhiệt của Cu, Al và SS

Vật liệu	Khối lượng riêng ρ (kg/m^3)	Nhiệt dung riêng c_p (J/kg·K)	Hệ số dẫn nhiệt k (W/m·K)
Cu	8940	386	398
Al	2702	903	237
SS	8055	480	15.1

Kết quả mô phỏng số đáp ứng nhiệt của hệ thống ứng với những vật liệu đã chọn được trình bày như trên Hình 3 và Bảng 5. Theo đó, máy lạnh có bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng SS có khả năng làm việc tương đối thấp so với Cu và Al. Trong khi đó, sự sai khác của Cu so với Al là không đáng kể. Bởi vì hệ số dẫn nhiệt lớn, nhiệt dung riêng nhỏ, bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Cu có tốc độ truyền nhiệt và truyền khối cao nhất: Tổng lượng hấp phụ cực đại, Δq_{max} = 0.1155 kg/kg, Công suất làm lạnh riêng, SCP = 262.79 W/kg, cao hơn so với các thông số tương ứng của hệ thống có thiết bị trao đổi nhiệt bằng Al lần lượt là 1.4% và 1.76%. Tuy nhiên, tỷ trọng riêng của Cu tương đối lớn, $\rho_{Cu} \approx 3.3\rho_{Al}$, lượng nhiệt bị giữ lại trong vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt nhiều hơn. Kết quả là hệ thống với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Al đạt được hệ số làm lạnh cao nhất, COP = 0.515, cao hơn khoảng 6.2% và 29.72% so với Cu và SS.



Hình 3. Đặc tính truyền nhiệt và truyền khối trong bầu hấp phụ ứng với các vật liệu khác nhau của thiết bị trao đổi nhiệt

Bảng 5. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng làm việc của hệ thống

Vật liệu	Tổng lượng hấp phụ Δq_{max} (kg/kg)	Hệ số làm lạnh COP	Công suất làm lạnh riêng SCP (W/kg)
Cu	0.1155	0.485	262.79
Al	0.1139	0.515	258.24
SS	0.0652	0.397	119.87

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo thực hiện mô phỏng số đáp ứng nhiệt động lực học của bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống – cánh tản nhiệt, làm cơ sở đánh giá ảnh hưởng của vật liệu chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt của bầu hấp phụ đến đặc tính truyền nhiệt, truyền khối và khả năng làm việc của hệ thống làm lạnh bằng công nghệ hấp phụ. Ba loại vật liệu phổ biến dùng cho thiết bị trao đổi nhiệt được lựa chọn để thực hiện khảo sát. Từ kết quả đạt được, có thể kết luận như sau:

• Vật liệu có hệ số dẫn nhiệt cao, tỷ trọng nhỏ, nhiệt dung riêng thấp cung cấp khả năng truyền nhiệt tốt hơn, do đó hiệu quả làm lạnh cao hơn.

• Vật liệu có tỷ trọng lớn không những làm tăng khối lượng mà còn tiêu thụ nhiều nhiệt hơn, do đó làm giảm hiệu suất nhiệt của hệ thống.

• Vật liệu có nhiệt dung riêng lớn sẽ làm chậm tốc độ truyền nhiệt, kéo dài thời gian chu trình, dẫn đến hiệu quả làm lạnh thấp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.39.❖

Ngày nhận bài: **10/3/2024**
Ngày phản biện: **25/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. R. Z. Wang and R. G. Oliveira, *Adsorption refrigeration – An efficient way to make good use of waste heat and solar energy*, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 32, (2006) 424-458.

[2]. A. Sur and R. K. Das (2016), *Review of Technology Used to Improve Heat and Mass Transfer Characteristics of Adsorption Refrigeration System*, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, vol. 24, 1630003.

[3]. A. Sharafian and M. Bahrami (2014), *Assessment of adsorber bed designs in waste-heat driven adsorption cooling systems for vehicle air conditioning and refrigeration,* Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 30, 440-451.

[4]. Cao, N.V., Duong, X.Q., Lee, W.S. et al (2020). *Effect of heat exchanger materials on the performance of adsorption chiller*. J Mech Sci Technol 34, 2217-2223.

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO TUA-BIN GIÓ CÔNG SUẤT NHỎ VỚI MÁY PHÁT ĐIỆN CÓ NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐẶT NGHIÊNG

STUDYING, DESIGNING AND MANUFACTURING SMALL WIND TURBINE WITH SKEWED MOUNTED PERMANENT MAGNET GENERATOR

Đinh Ngọc Sơn, Ngô Văn Minh, Nguyễn Thế Bảo
Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Ở Việt Nam, tiềm năng về năng lượng tái tạo rất dồi dào và cần được khai thác một cách hiệu quả. Không những thế, Việt Nam là một quốc gia gần biển cho nên năng lượng gió chiếm ưu thế trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Trong thiết kế và chế tạo tua-bin gió, ngoài yếu tố về cánh ra thì yếu tố về máy phát điện sử dụng nam châm vĩnh cửu được đặt nghiêng cần được xem xét và phân tích. Việc đặt nghiêng thanh nam châm so với việc đặt thẳng nam châm có sự khác nhau giữa mô-men khởi động của hai trường hợp. Trường hợp nam châm đặt nghiêng sẽ giúp giảm thiểu được mô-men xoắn khởi động của máy phát điện. Đồng thời, Việt Nam là quốc gia có vận tốc gió không được cao so với các nước khác nên việc sử dụng nam châm đặt nghiêng trong máy phát điện sẽ hữu dụng hơn cho phát triển điện gió ở nước ta.

Từ khóa: *Máy phát điện đồng bộ sử dụng nam châm vĩnh cửu; Giảm thiểu mô-men xoắn khởi động; Tua-bin gió công suất nhỏ; Nam châm đặt nghiêng.*

ABSTRACT

In Vietnam, potential of renewable energy is profusion and need to exploited one effective. Not only that, Vietnam is a country near the sea so wind energy is dominant in the field of renewable energy. In design and manufacturing wind turbine, in addition to the blade, the generator using skewed permanent magnets needs to be considered and analyzed. Tilting the magnent bar compared to placing the magnet straight has a difference between the starting torque of the two cases. In case the magnet is skewed, it will help diminish the starting torque of the generator. At the same time, Vietnam is a country with wind speeds thats are not high compared to other countries, so using tilted magnets in generator will be more useful for developing wind power in our country.

Keywords: *Synchronous generators use permanent magnets; Minimizing starting torque; Small capacity wind turbines; Skewed permanent magnet.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Như chúng ta đã biết thì biến đổi khí hậu trong thời gian gần đây đang có xu hướng gia tăng, mà phần lớn nguyên nhân là do các hoạt động sản xuất năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch. Tại hội nghị COP 28, Thủ tướng Phạm Minh Chính dự và đưa ra một bài phát biểu khẳng định quyết tâm của Việt Nam trong việc thực hiện cam kết giảm phát thải ròng đạt mức bằng không vào năm 2050. Để thực hiện được điều đó thì việc thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo là hết sức cần thiết.

Một điều may mắn cho nước ta là có đường bờ biển dài và các hải đảo, cho nên chuyển đổi từ năng lượng hóa thạch sang năng lượng gió là một trong những chiến lược quan trọng để phát triển bền vững. Mặc dù điện gió có tiềm năng như thế nhưng vẫn còn hạn chế ở nước ta chủ yếu là do chưa có đủ nguồn vốn để xây dựng và thường là nhập từ nước ngoài về.

Trong tua-bin gió gồm hai phần quan trọng nhất là cánh được thiết kế theo biên dạng của khí động lực học và máy phát điện. Máy phát điện có thể được coi là trái tim của tua-bin gió bởi vì nó là nơi chuyển đổi năng lượng gió thành năng lượng điện. Để quay được máy phát điện thì yếu tố mô-men xoắn giữa cánh và máy phát điện cần được quan tâm.

Do sự phát triển của công nghệ điện tử công suất, máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống phát điện gió hiện nay thay vì máy phát điện cảm ứng kích từ. So với máy phát điện cảm ứng kích từ, PMSG có hiệu suất cao hơn và cấu trúc đơn giản hơn vì nó có nam châm vĩnh cửu thay vì cuộn dây từ trường trong rô-to. Tuy nhiên, mô-men xoắn làm giảm hiệu suất và tăng tốc độ khởi động của hệ thống tạo gió được tạo ra bởi lực hút giữa lõi stato và nam châm rô-to. Các phương pháp thông thường để giảm mô-men xoắn của PMSG bao gồm thay đổi chiều dài khe hở không khí, bố trí nam châm vĩnh cửu không đối xứng, độ lệch của stato hoặc rô-to và thay đổi hình dạng của răng stato [1].

Trong bài báo này, phương pháp được đề xuất sử dụng là tạo ra độ lệch của thanh nam châm đặt trên rô-to so với trục của nó để làm giảm mô-men khởi động, đồng thời so sánh được giữa công suất của máy phát điện khi nam châm đặt thẳng và đặt nghiêng. Kết quả được kiểm chứng bằng phương pháp thực nghiệm thực tế.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

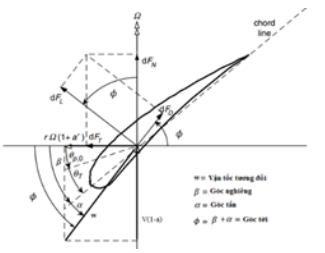
2.1. Thiết kế cánh tua-bin

Tua-bin gió nằm ngang, có 03 cánh; Tốc độ gió V = 7 m/s; Công suất tua-bin P = 300 W; Mật độ không khí ρ = 1,2 kg/m^3; Cánh được sử dụng là cánh xoắn có biên dạng NACA 4412.

Bán kính của cánh tua-bin gió được tính toán theo công thức sau:

$$R = \sqrt{\frac{2P}{C_p.\eta.\rho.\pi.V^3}} \quad (1)$$

Trong công thức: P là công suất mà tua-bin phát ra điện; C_p là hiệu suất của cánh; η là hiệu suất của máy phát điện; V là vận tốc gió.



Hình 1. Lực tác dụng lên phân bố cánh [2]

C_L = 1,2002 là hệ số lực nâng; C_D = 0,01536 là hệ số lực cản tại góc tấn α = 7; w là vận tốc gió tương đối; c là dây cung.

Từ hình trên, góc tới và các lực tác dụng lên mặt cắt cánh được tính toán theo các công thức sau:

$$\tan\phi = \frac{V(1-a)}{\Omega r(1+a')} = \frac{1-a}{\lambda_r(1+a')} \quad (2)$$

$$dF_L = \frac{1}{2}\rho w^2 C_L.c.dr \quad (3)$$

$$dF_D = \frac{1}{2}\rho w^2 C_D.c.dr \quad (4)$$

$$dF_N = dF_L.\cos\phi + dF_D.\sin\phi \quad (5)$$

$$dF_T = dF_L.\sin\phi - dF_D.\cos\phi \quad (6)$$

Bảng 1. Thông số thiết kế cánh NACA 4412

Phần tử thứ i	Dây cung c (mm)	Góc đặt cánh β	Lực dọc trục F_N	Lực vòng F_T
1	181,0	30,82	0,331	0,250
2	164,0	19,06	0,662	0,313
3	131,1	12,19	0,993	0,331
4	106,0	7,99	1,325	0,337
5	88,1	5,24	1,656	0,337
6	75,0	3,32	1,987	0,336
7	65,1	1,91	2,318	0,333
8	57,5	0,83	2,649	0,330
9	51,4	-0,01	2,980	0,327
10	46,5	-0,70	3,311	0,323

Từ bảng 1, tổng lực dọc trục và tổng mô-men tác dụng trên ba cánh được tính toán như sau:

$$F_N = 3.\sum_{x=i}^{10}(dF_{Ni}) \quad (7)$$

$$T = 3.\sum_{x=i}^{10}(r_i.dF_{Ti}) \quad (8)$$

2.2. Thiết kế máy phát điện

Thiết kế máy phát điện nam châm vĩnh cửu (PMSG) bằng các phương trình dưới đây: Hằng số Arnold:

$$C_A = \frac{60}{\pi^2.\alpha_\delta.k_B.k_0.A.B_\delta} \quad (9)$$

Công suất máy phát điện:

$$S = D^2.L.\frac{n}{C_A} \quad (10)$$

Trong đó: α_δ là hệ số tính toán cung cực từ; k_B là hệ số sóng; k_0 là hệ số dây quấn; A là mật độ dòng điện dài; B_δ là mật độ từ thông trong khe hở không khí; D là đường kính trong của stato; L là bề ngang của stato.

Số vòng dây trong một pha:

$$N = \frac{U_{pha}}{4.k_B.k_0.f.\phi_\delta} \quad (11)$$

Công suất biểu kiến định mức của máy phát được tính theo công thức:

$$S_{đm} = \sqrt{3}.U_d.I_d \quad (12)$$

Trong đó: n là tốc độ quay; f là tần số; ϕ_g là từ thông khe hở không khí; U_d là điện áp trên dây; I_d là dòng điện trên dây.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Máy phát được sử dụng trong nghiên cứu này là bộ truyền động trực tiếp, rô-to bên trong, từ thông hướng tâm và cấu trúc nam châm vĩnh cửu. PMSG là máy có hiệu suất cao, sản xuất dễ dàng, dao động mô-men xoắn thấp và mật độ công suất cao. Máy phát được kết nối trực tiếp với tua-bin gió mà không cần bất kỳ hệ thống bánh răng nào và tính ưu việt đó khiến PMSG thường được sử dụng trong tua-bin gió [3]. Các thông số thiết kế của máy phát điện được tóm tắt trong Bảng 2.

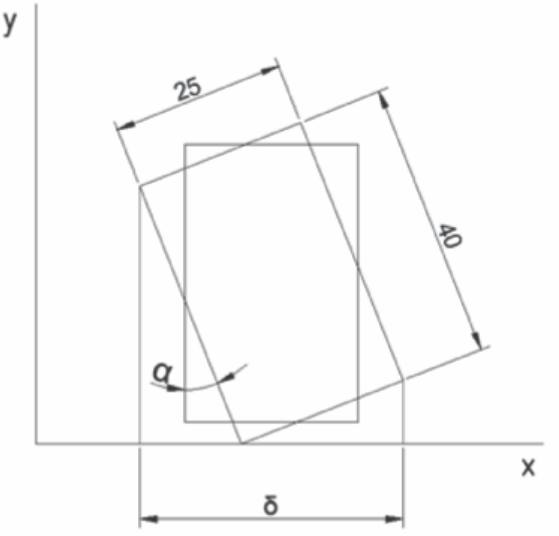
Bảng 2. Thông số thiết kế của PMSG

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
Kiểu máy phát điện	3 pha, đấu Y		
Công suất định mức	300	W	Chọn trước
Tốc độ định mức	365	vg/ phút	Chọn trước
Điện áp dây định mức	48	V	Chọn trước
Nam châm	N42		40x25x10mm
Lõi stato	M19		
Đường kính ngoài của stato	225	mm	Tính toán
Đường kính trong của stato	145	mm	Chọn trước
Bề ngang của stato	40	mm	Tính toán
Khoảng hở không khí	2	mm	
Số cực	12		
Số rãnh của stato	36		Chọn trước

Mô-men xoắn trong máy phát nam châm vĩnh cửu là do tương tác từ giữa stato và nam châm đặt trên rô-to. Hiệu ứng này là không mong muốn vì nó tạo ra tiếng ồn và độ rung trong máy. Giá trị cao của mô-men xoắn ngăn cản rô-to quay và do đó tua-bin gió không thể khởi động ở tốc độ gió thấp. Mô-men xoắn có thể được viết dưới dạng hàm của từ trở, từ thông khe hở không khí và vị trí rô-to [4]:

$$T_{cog} = -\frac{1}{2}\phi_g^2 \frac{dR}{d\theta} \quad (13)$$

Trong đó: ϕ_g là từ thông khe hở không khí; R là từ kháng trên khe hở không khí; θ là vị trí góc của rô-to. Từ công thức (13), ta có thể giảm mô-men xoắn bằng cách giảm từ thông khe hở không khí hoặc là giảm từ kháng trên khe hở không khí.



Hình 2. Góc nghiêng của nam châm N42

Góc nghiêng α được tính sao cho đoạn thẳng δ nhỏ hơn hoặc bằng bước cực.

Từ hình 2, công thức sau được suy ra:

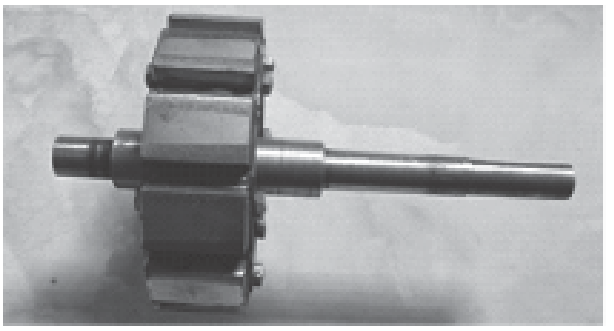
$$\delta = 40.\sin(\alpha) + 25.\cos(\alpha) \quad (14)$$

Bước cực được tính theo công thức:

$$t = \frac{\pi . D}{2p} \quad (15)$$

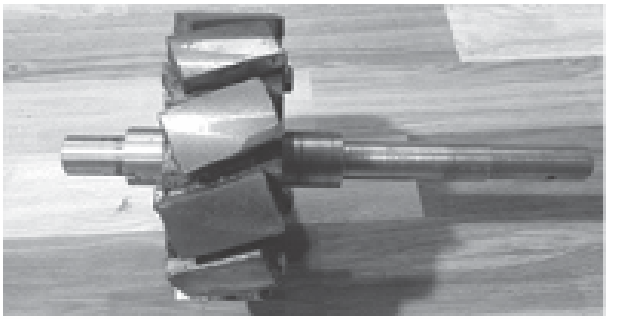
3. THỰC NGHIỆM

Địa điểm chế tạo là xưởng gia công cơ khí, chế tạo máy phát điện và được đo đạc số liệu trên máy tiện có thể thay đổi được tốc độ quay, số liệu được đo đạc bằng đồng hồ VOM.



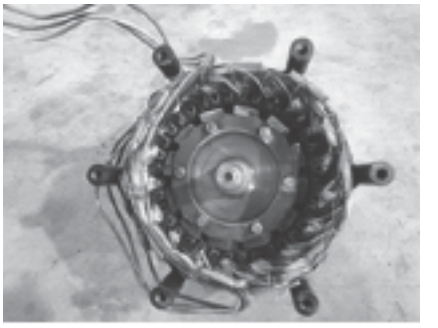
Hình 3. Nam châm đặt thẳng

Sau khi tiến hành đo đạc nam châm thẳng xong, tiến hành gỡ nam châm ra và dán lại theo góc nghiêng như hình dưới đây, góc nghiêng được đặt nghiêng trong bài nghiên cứu này là 21,6°.



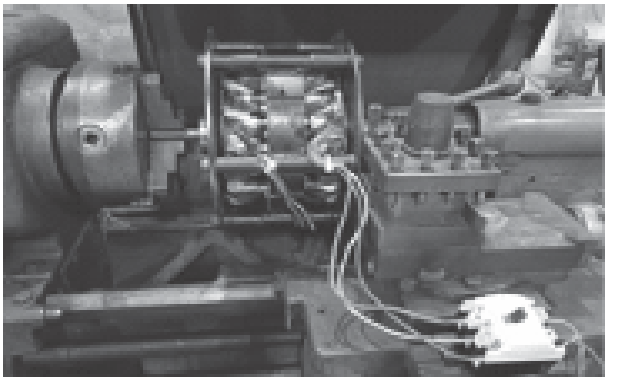
Hình 4. Nam châm đặt nghiêng

Góc nghiêng trong hình 4 được đặt sao cho khoảng cách điểm đầu đến điểm cuối phải nằm trong một cực của cuộn dây ở stato.



Hình 5. Rô-to được đặt vào trong stato

Sau khi lắp xong, máy phát được đưa vào máy tiện để đo dòng điện và điện áp của hai trường hợp nam châm đặt thẳng và đặt nghiêng. Tốc độ quay đo đạc được đo từ 100 vòng/phút tới 650 vòng/phút.

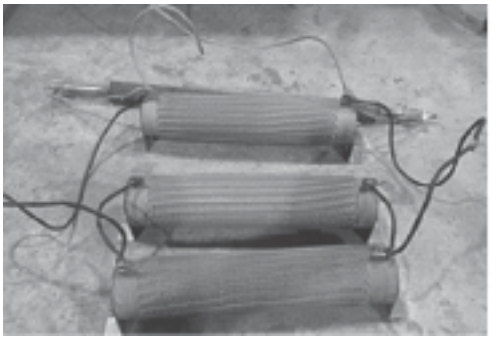


Hình 6. Máy phát được đặt lên máy tiện

Hình 7. Đồng hồ đo tốc độ quay của máy tiện

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Ở đây, cầu diode được sử dụng để chuyển từ điện xoay chiều về một chiều và sử dụng tải là điện trở 9Ω thuộc loại điện trở công suất để thực nghiệm máy phát.



Hình 8. Điện trở công suất

Các số liệu được đo trên đồng hồ VOM, Đồng hồ bên trái dùng để đo cường độ dòng điện và đồng hồ bên phải dùng đo điện áp (hình 9).

Hình 9. Đồng hồ đo số liệu

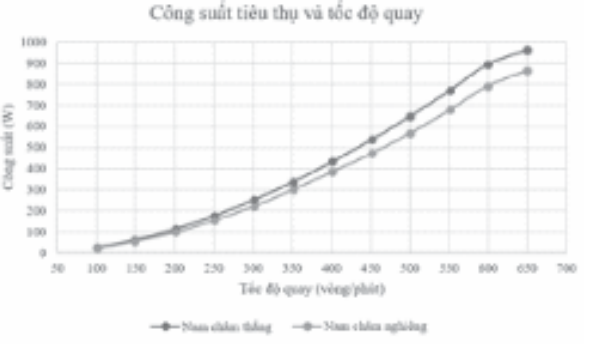
Đối với việc đo đạc mô-men xoắn, do không đủ thiết bị đo đạc mô-men cản khi mang tải nên chỉ có thông số của mô-men khởi động được đo đạc. Phương pháp để đo là sử dụng đồng hồ để đo trọng lượng và từ đó tìm ra được mô-men khởi động. Khoảng cách cánh tay đòn được chọn trước là 0,5 mét.

Hình 10. Gắn cánh để đo mô-men khởi động

Hình 11. Đồng hồ đo trọng lượng

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

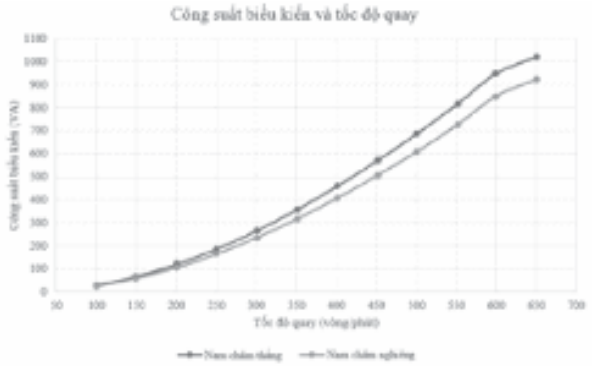
4.1. Kết quả đo công suất của máy phát



Hình 12. Kết quả thực nghiệm theo công suất tiêu thụ

Kết quả đo đạc thu được công suất trên tải từ điện áp và dòng điện khi đã được chuyển về điện một chiều được thể hiện trên hình 12 ☞

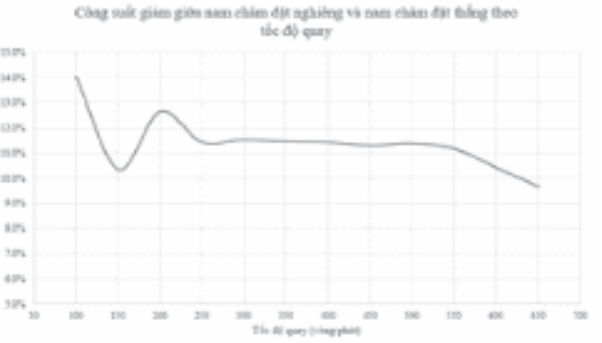
cho thấy được sự chênh lệch giữa nam châm đặt thẳng và nam châm đặt nghiêng. Công suất tiêu thụ trên tải giảm khi nam châm đặt nghiêng.



Hình 13. Kết quả thực nghiệm theo công suất biểu kiến của tải

Kết quả đo đạc thu được công suất trên máy phát xoay chiều được thể hiện trên hình 13. Kết quả từ hình 13 cho thấy được việc đặt nam châm nghiêng công suất sẽ bị giảm đi so với khi đặt nam châm thẳng.

Phần trăm công suất bị giảm đi được lấy dữ liệu từ công suất tại từng tốc độ quay khác nhau để so sánh giữa đặt thẳng và đặt nghiêng của nam châm vĩnh cửu được phân tích ở hình 14.



Hình 14. Phần trăm công suất bị giảm

Công suất tiêu thụ khi nam châm đặt nghiêng giảm từ 10-14% so với khi đặt nam châm thẳng theo từng tốc độ quay. Do góc nghiêng của nam châm được đặt ở vị trí nghiêng nhất có thể nên hình 14 có thể được coi là phần trăm công suất tiêu thụ bị sụt giảm tối đa ứng với từng tốc độ quay khác nhau.

4.2. Kết quả đo mô-men khởi động

Đối với nam châm đặt thẳng, kết quả đo được thể hiện trong hình 15.

Hình 15. Mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt thẳng

Đối với nam châm đặt nghiêng, kết quả đo được thể hiện trong hình 16.

Hình 16. Mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt nghiêng

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Trường hợp nam châm đặt thẳng, mô-men xoắn khởi động được tính như sau:

$T_1 = 0,385.9,81.0,5 = 1,89$ Nm

Trường hợp nam châm đặt nghiêng:

$T_2 = 0,035.9,81.0,5 = 0,17$ Nm

Mô-men xoắn giảm khi nam châm đặt nghiêng:

$$\%T_{de} = 100\left(1 - \frac{0,17}{1,89}\right) = 91\%$$

Như vậy, so sánh mô-men xoắn khởi động giữa hai trường hợp, thì trường hợp nam châm đặt nghiêng thì mô-men xoắn khởi động giảm đi 91% so với nam châm đặt thẳng. Từ thực nghiệm thực tế, nam châm đặt nghiêng rất có lợi cho việc khởi động cũng như hoạt động của tua-bin gió.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy phát điện dùng cho tua-bin gió trục ngang công suất nhỏ. Kết quả thực nghiệm cho thấy công suất của máy phát điện nam châm đặt nghiêng thấp hơn công suất của nam châm đặt thẳng khoảng từ 10-14%. Ngược lại, mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt nghiêng giảm so với nam châm đặt thẳng là 91%. Cùng với đó, hiện tượng răng cưa trong máy phát điện do lực hút giữa lõi stato và nam châm giảm một cách rõ rệt. Việc nam châm vĩnh cửu được đặt nghiêng cũng đồng thời làm giảm sự rung động của máy phát khi vận hành và làm cho máy có tuổi thọ cao hơn. Ứng dụng nam châm đặt nghiêng sẽ mang lại một bước tiến lớn trong ngành sản xuất điện gió vừa và nhỏ ở nước ta.❖

Ngày nhận bài: **17/4/2024**
Ngày phản biện: **12/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Yoo J.H., Park C.S. and Jung T.U. (2017), "*Permanent magnet structure optimization for cogging torque reduction of outer rotor type radial flux permanent magnet generator*", IEEE International Electric Machines and Drives Conference, Miami, FL, USA.

[2]. J. F. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers (2009), "*Wind energy explained theory, design and application*", 2nd ed, John Wiley & Sons Ltd.

[3]. Zala B.O. and Pugachov V. (2017), "*Methods to Reduce cogging torque of permanent magnet synchronous generator used in wind power Plants*", Elektronika Ir Elektrotechnika, 23: 43-48.

[4]. Dosiek L. and Pillay R. (2007), "*Cogging torque reduction in permanent magnet machines*", IEEE Transactions on Industry Applications, 43: 1565-1570.

NGHIÊN CỨU BIẾN DẠNG VÀ ĐẶC TÍNH KIM TƯƠNG HỌC MỐI HÀN TIG LIÊN KẾT GIÁP MỐI VẬT LIỆU COMPOSITE LUYỆN KIM BỘT TRIMETAL HỢP KIM ĐỒNG – THÉP CÁC BON – HỢP KIM ĐỒNG

A RESEARCH ON DEFORMATION AND METALLOGRAPHIC CHARACTERISTIC OF TIG WELDS COMPOSITE TRIMETAL COPPER ALLOY – CARBON STEEL – COPPER ALLOY MADE BY POWDER METALLURGY

ThS. **Nguyễn Văn Mễ** [1, 3], PGS,TS. **Hà Minh Hùng**[1, 2, 4], TS. **Nguyễn Hoàng Quân**[4, 5], TS. **Ngô Trọng Bính**[1], KS. **Đinh Khắc Mác**[4, 5]

[1]Viện Nghiên cứu Cơ khí

[2]Trường Đại học Duy Tân

[3]Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh

[4]Viện Phát triển Kỹ thuật, Công nghệ tiên tiến (IDAT)

[5]Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu đặc tính biến dạng và kim tương học của mối hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite trimetal luyện kim bột hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng để đánh giá tính khả dụng của công nghệ trong việc tạo hình phôi gia công cơ khí chi tiết dạng đĩa có đường kính lớn, chiều dày mỏng. Kết quả thực nghiệm cho thấy mối hàn TIG thử nghiệm mặc dù có đặc tính kim tương học gồm tiêu chí tổ chức thô đại, tổ chức tế vi tốt, nhưng hình thái bề mặt và biến dạng kết cấu hàn vẫn chưa phù hợp với yêu cầu tạo hình phôi hàn phải đảm bảo lượng dư gia công tinh sản phẩm tối ưu.

Từ khóa: *Hàn TIG; Vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng luyện kim bột; Quy hoạch thực nghiệm.*

ABSTRACT

This paper introduces the results of a study on the deformation and metallographic properties of TIG butt welds composite trimetal materials made by powder metallurgy from carbon steel, and copper alloys. The research aims to evaluate the technology's feasibility in shaping large, thin disc-shaped mechanical parts. The results indicate that although the TIG welds display good macroscopic and microscopic metallographic properties, their surface morphology and weld deformation do not meet the required standards. Ensuring optimal finishing residues is crucial for meeting the shaping requirements of the welded workpieces.

Keywords: *TIG welding; Powder Metallurgy Composite Trimetal Copper Alloy – Carbon Steel – Copper Alloy; Design of Experiments.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở ngoài nước, vật liệu luyện kim bột nói chung ngày càng được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng phổ biến trong chế tạo máy móc thiết bị hiện đại. Việc sử dụng các loại vật liệu ma sát luyện kim bột nói riêng để chế tạo các chi tiết máy làm việc ở điều kiện có bôi trơn cưỡng bức trong các cụm thiết bị như: đĩa ly hợp, máy điều tốc, khớp nối truyền động cơ khí có mô-men tới hạn, hệ truyền dẫn thuỷ lực ngày càng được cải tiến nhờ có khả năng điều chỉnh thành phần các nguyên tố hợp kim và phụ gia của nguyên liệu bột đầu vào trước khi thiêu kết. Vật liệu ma sát luyện kim bột đồng thời tạo điều kiện tốt để thiết kế, chế tạo các cụm ma sát có kết cấu mới với hệ số ma sát từ thấp đến cao, khả năng làm việc ổn định, chịu mài mòn, chịu bền nhiệt cao của cả hai chi tiết cặp đôi ma sát [8].

Ở Việt Nam hiện nay đã bắt đầu có nhiều nghiên cứu ứng dụng công nghệ luyện kim bột để chế tạo chi tiết máy chịu mài mòn cao trong các ổ trượt của máy móc, thiết bị nhiều ngành kinh tế hoặc chi tiết phanh trong truyền động cơ khí đã có tiềm năng ứng dụng thực tiễn cao. Gần đây, nhóm chuyên gia tại Viện Nghiên cứu Cơ khí (NARIME) và Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến (IDAT) đã có một số nghiên cứu ứng dụng công nghệ luyện kim bột để chế tạo thành công một số sản phẩm như băng bimetal thép – hợp kim đồng làm bạc trượt [1], [2]; tấm vật liệu composite trimetal trên cơ sở nền đồng làm đĩa ma sát trong bộ ly hợp truyền động xe ô tô vận tải hoặc vật liệu composite trên cơ sở nền bột sắt sử dụng làm phanh cho tàu vận tải khoáng sản bằng đường sắt [3] ÷ [8].

Thử nghiệm hàn MAG giáp mối các tấm vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng có kích thước nhỏ để tạo hình phôi lớn hơn dùng cho gia công đĩa ma sát trong bộ ly hợp truyền động cơ khí công suất lớn mới đây đã được nhóm nghiên cứu thực hiện và có kết quả khả quan. Tuy nhiên, biến dạng kết cấu hàn nhận được còn khá lớn, chưa đạt yêu cầu cần thiết để đảm bảo chi phí gia công tinh sản phẩm nhỏ nhất [8]. Vì vậy, việc thực hiện một số thử nghiệm hàn TIG đối với vật liệu composite này có thể cho phép xác định tính khả thi và so sánh với phương pháp hàn MAG khi tạo hình phôi đĩa thép đối ứng, cũng như phôi đĩa ma sát trong bộ đôi ma sát cần chế tạo là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Vật liệu thí nghiệm gồm: thép SS400 đường kính D = 300 mm, chiều dày δ = 3,0 mm và tấm composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng có kích thước chiều dày tổng cộng 3 lớp x chiều rộng x chiều dài = (2,5 + 2,2 + 2,5) x 50,0 x 200,0 mm. Ký hiệu mác vật liệu hợp kim đồng luyện kim bột quy ước theo hàm lượng % khối lượng của các nguyên tố hợp kim và phụ gia (ngoài nguyên tố cơ sở Cu) là BCu6Sn6Pb3Zn2Cgr$_2$Al$_2$O$_3$. Que hàn sẵn có trên thị trường thương hiệu TIG inox ER308L chất lượng cao có đường kính d = 1,2 mm. Khí bảo vệ sử dụng là Ar. Phôi hàn nguội không gia nhiệt trước khi hàn.

- Sử dụng máy hàn TIG DC: PICOTIG 200 PLUS TG (CHLB Đức) hiện có tại Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh (hình 1).

a) b)

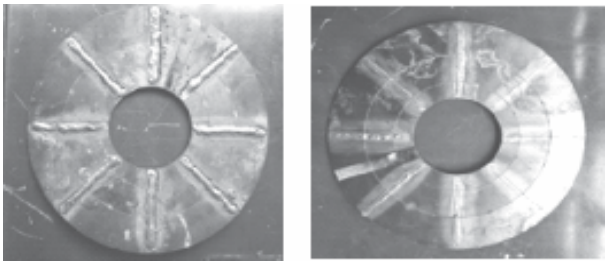
Hình 1. Nguồn hàn TIG DC: PICOTIG 200 PLUS TG (a) và que hàn (b) dùng cho thí nghiệm

- Sơ đồ kết cấu mối hàn đĩa thép đối ứng và mô hình hàn giáp mối hai mảnh ghép từ vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng chọn tương tự như mô tả trong công trình [11] của cùng nhóm tác giả bài báo này.

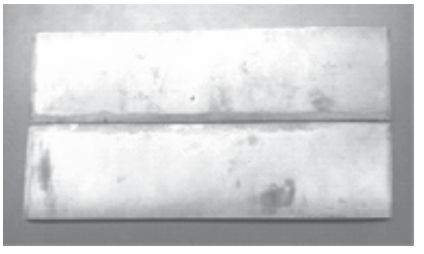
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

3.1. Hình thái bề mặt liên kết hàn TIG

Trên hình 2a, b thể hiện ảnh chụp hình thái bề mặt phôi hàn đĩa thép SS400 lấy ví dụ với kết cấu 4 đường hàn đối xứng qua tâm đĩa từ 8 mảnh ghép tương ứng với bề mặt phía trên và phía dưới của nó. Hình 2c là ảnh nhìn từ một phía kết cấu mối hàn liên kết giáp mối qua 1 đường hàn từ 2 mảnh ghép bằng vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng luyện kim bột.



a) *b)*



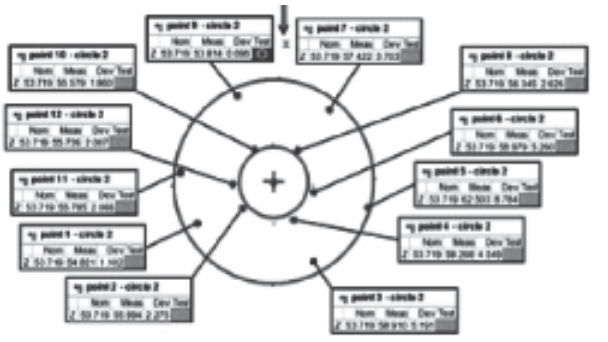
c)

Hình 2. Ảnh mặt trên (a), mặt dưới (b) của đĩa thép đối ứng SS400 sau khi hàn TIG thử nghiệm theo liên kết giáp mối từ 8 mảnh ghép với 4 đường hàn đối xứng qua tâm và kết cấu mối hàn từ 2 tấm vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng (c)

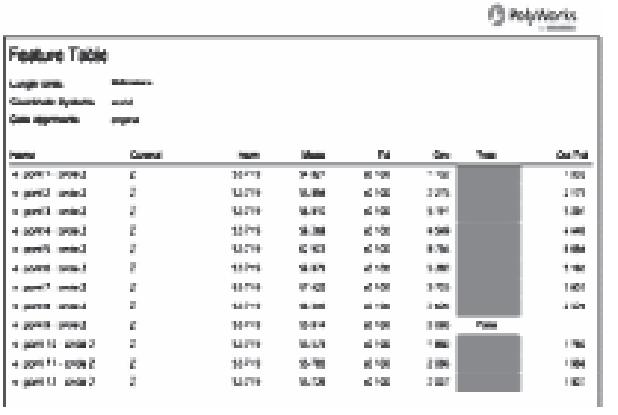
3.2. Phân tích biến dạng liên kết hàn TIG

a) Phôi hàn từ 6 mảnh ghép với 3 đường hàn:

Phôi thí nghiệm được kết cấu từ 6 mảnh ghép và theo 3 đường hàn đối xứng qua tâm. Kết quả phân tích các phép đo không tiếp xúc tại 12 vị trí đo điển hình (hình 3a) bằng phần mềm PolyWorks tích hợp trong thiết bị đo được trích xuất từ máy tính ra ở dạng bảng số liệu cho trên hình 3b.



a)



b)

Hình 3. Mô tả các vị trí đo theo phương Oz trên bề mặt đĩa thép đối ứng với ba đường hàn và 6 mảnh ghép đối xứng qua tâm và trích xuất số liệu 12 điểm đo trên mẫu thí nghiệm No.3

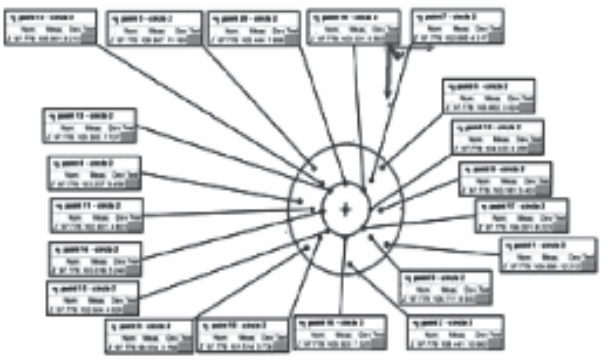
Phân tích số liệu thực nghiệm tại 12 vị trí đo đặc trưng theo phương Oz (hình 3a) trong bảng (hình 3b) cho thấy nếu chọn sai số

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

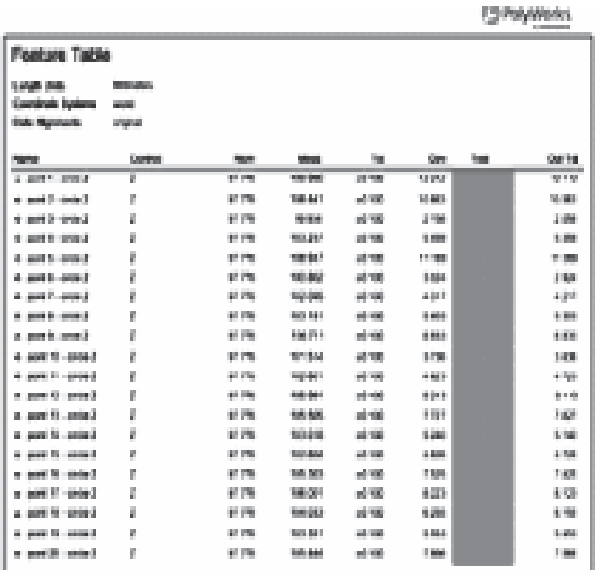
đo quy ước ở mức ± 0,1 mm và lấy điểm chuẩn gốc bắt đầu đo biến dạng liên kết hàn theo mặt phẳng gá kẹp phôi hàn. Biến dạng của phôi đĩa thép sau khi hàn TIG do ảnh hưởng của kết cấu hàn với từ 6 mảnh ghép, 3 đường hàn đối xứng qua tâm đĩa và chế độ hàn khác nhau có giá trị khá lớn trong khoảng f_{z3} = 1,002 ÷ 8,684 mm. Theo tiêu chí này, phôi hàn TIG chưa đạt yêu cầu phải có giá trị nhỏ nhất để đảm bảo không cần phải chỉ định thêm nguyên công biến dạng tạo phẳng của phôi trước khi gia công tinh sản phẩm.

b) Phôi hàn từ 8 mảnh ghép với 4 đường hàn:

Kết quả phân tích các phép đo tại 20 vị trí đo đặc trưng trên mẫu phôi hàn có ký hiệu No.4 (hình 4a) bằng phần mềm PolyWorks tích hợp trong thiết bị đo không tiếp xúc được trích xuất từ máy tính trong bảng ở hình 3b. Sai số đo quy ước cho ở mức ± 0,1 mm. Biến dạng của phôi đĩa thép sau khi hàn TIG do ảnh hưởng của kết cấu hàn với từ 8 mảnh ghép, 4 đường hàn đối xứng qua tâm đĩa và chế độ hàn khác nhau có giá trị trong khoảng fz4 = 2,024 ÷ 12,112 mm, lớn hơn một ít so với phôi hàn từ 6 mảnh ghép với 3 đường hàn đã xét ở trên.



a)



b)

Hình 4. Mô tả các vị trí đo theo phương Oz trên bề mặt đĩa thép đối ứng với 4 đường hàn và 8 mảnh ghép đối xứng qua tâm và trích xuất số liệu 20 điểm đo trên mẫu thí nghiệm No.4

Biến dạng lớn nhất của phôi hàn TIG khảo sát trên mẫu No.4 có giá trị lớn hơn gần 4 lần so với chiều dày ban đầu của các mảnh ghép thép SS400 trước khi hàn là δ = 2,5 mm. Điều đó chứng tỏ mối hàn TIG trong trường hợp này chưa đạt yêu cầu theo tiêu chí biến dạng nhỏ nhất.

3.3. Thử nghiệm hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite

3.3.1. Điều kiện thí nghiệm

Chế độ hàn TIG thử nghiệm chọn sơ bộ tại một số nút theo điều kiện quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu 3 mức 3 yếu tố ($N = 3^3 = 27$) như cho trong bảng 1.

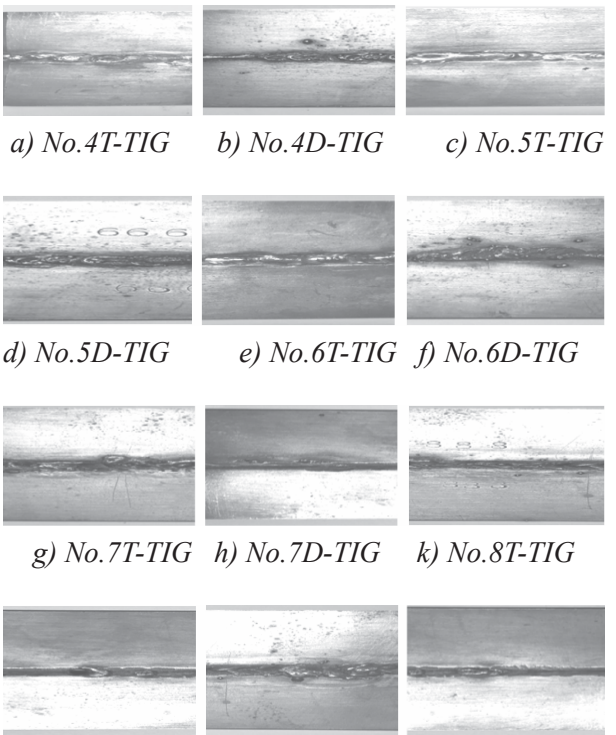
☞

Bảng 1. Điều kiện quy hoạch thực nghiệm hàn TIG vật liệu composite

Thông số công nghệ chính, ký hiệu và đơn vị tính	Mã số QHTN	Mức điều chỉnh			Bước điều chỉnh
		0	1	2	
Cường độ dòng điện hàn, I_h, A	X_1	90	100	110	10
Tốc độ hàn, v_h, cm/ph	X_2	15	20	25	5
Lưu lượng cấp khí bảo vệ, G, l/ph	X_3	15	20	25	5
Thời gian giữ cấp khí bảo vệ khi kết thúc hàn, t, s	X_4	2	3	4	1

3.3.2. Hình thái bề mặt phôi hàn TIG

Hình thái bề mặt được khảo sát trên 06 mẫu thử nghiệm với chế độ hàn khác nhau theo điều kiện quy hoạch thực nghiệm ở bảng 1 cho trên hình 5.



a) No.4T-TIG b) No.4D-TIG c) No.5T-TIG

d) No.5D-TIG e) No.6T-TIG f) No.6D-TIG

g) No.7T-TIG h) No.7D-TIG k) No.8T-TIG

l) No.8D-TIG m) No.9T-TIG p) No.9D

Hình 5. Ảnh hình thái bề mặt phía trên (a, c, e, g, k, m) và phía dưới (b, d, f, h, l, p) của mối hàn TIG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng khảo sát trên các mẫu có ký hiệu tương ứng

Nhận xét: Quan sát hiện trạng bề mặt phía trên và phía dưới mối hàn TIG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng ma sát – thép các bon – hợp kim đồng (hình 5) cho thấy trên các mẫu nhận được sau hàn TIG đều có biểu hiện mức độ điền đầy kim loại hàn khác nhau. Kim loại hàn mối hàn ở bề mặt phía trên các mẫu này đã có sự điền đầy, nhưng vẫn chưa đồng đều theo toàn bộ đường hàn của hai mảnh ghép. Mức độ điền đầy kim loại hàn theo đường hàn ở phía dưới nhỏ hơn nhiều so với phía trên mối hàn. Điều đó dẫn đến chất lượng mối hàn trong các thí nghiệm này khi đánh giá bởi tiêu chí ngoại dạng (hình thái bề mặt) của nó chưa cao và chưa ổn định.

3.3.3. Kết quả gia công mẫu thử độ bền kéo liên kết hàn TIG

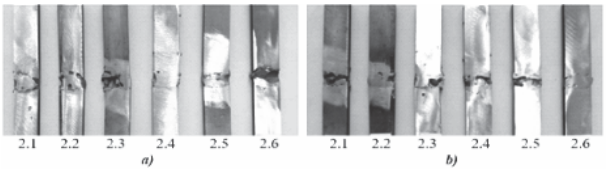
Việc gia công các mẫu thử độ bền kéo mối hàn TIG và mẫu khảo sát đặc tính kim tương học của mối hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng được thực hiện như sau:

- Chọn một số vị trí đặc trưng để cắt lấy phôi gia công mẫu thử phá hủy kéo và mẫu khảo sát các đặc tính kim tương học vật liệu mối hàn. Hình 6 dưới đây là ảnh một số phôi hàn đã được mài sơ bộ phần kim loại lồi ở phía trên và phía dưới mối hàn TIG cần gia công tiếp theo để giám định chất lượng của chúng.

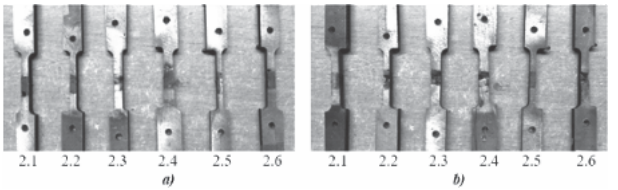
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

- Từ các phôi nhận được trên hình 6 tiến hành gia công tạo hình mẫu thử phá hủy kéo xác định độ bền kéo vật liệu mối hàn TIG như ảnh trên hình 7.

- Những mảnh vật liệu composite trimetal được cắt ra ở phần giữa đường liên kết hàn được sử dụng để gia công thành các mẫu khảo sát đặc tính kim tương học vật liệu mối hàn TIG (hình 8).



Hình 6. Ảnh bề mặt phía trên (a) và phía dưới (b) một số mẫu hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng



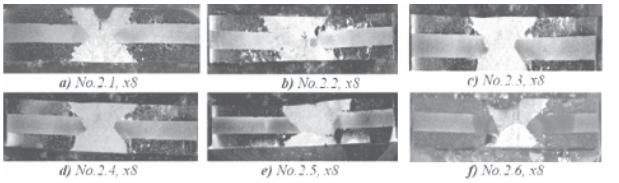
Hình 7. Ảnh bề mặt phía trên (a) và phía dưới (b) một số mẫu thử phá hủy kéo mối hàn TIG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng sau khi cắt dây

3.3.4. Kết quả khảo sát đặc tính kim tương học mối hàn TIG

a) Tổ chức thô đại

Từ 06 phôi hàn TIG cho trên hình 6 sau khi cắt dây đã chọn được 09 mẫu điển hình để đúc khuôn epoxy, mài đánh bóng và tẩm thực để tiến hành nghiên cứu khảo sát đặc tính kim tương học của vật liệu mối hàn. Chế độ tẩm thực mẫu chủ yếu được chọn cho lớp thép các bon mà chưa quan tâm đến các lớp hợp kim đồng luyện kim bột. Tổ chức thô đại mối hàn TIG khảo sát trên 06 mẫu điển hình sau tẩm thực cho trên hình 8. Từ đó, ta có các nhận xét như sau:

- Biên giới liên kết giữa kim loại hàn với hai lớp hợp kim đồng ở cả hai bên mối hàn TIG trên mẫu thí nghiệm ký hiệu No.2.1 (hình 8a) rất tốt, không phát hiện thấy có các khuyết tật như ngậm xỉ hoặc tạp chất bẩn, ngoại trừ một vết nứt nhỏ ở giữa mối hàn ở vùng kim loại hàn đắp vào phía trên mối hàn, còn ở phía dưới mối hàn đã được điền đầy, điều đó dẫn đến độ bền kéo của mối hàn sẽ bị suy giảm. Nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này có thể là do mẫu khảo sát được cắt tại vị trí kim loại hàn bị bắn tóe mạnh và mẫu trước khi hàn không được gia nhiệt trước khi hàn. Các lớp hợp kim đồng không được tẩm thực rõ nét là do chọn quy trình tẩm thực được lựa chọn với mục đích làm rõ vùng cấu trúc mối hàn giữa hai lớp thép các bon ở giữa mẫu khảo sát là chủ yếu;



Hình 8. Ảnh tổ chức thô đại mối hàn TIG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng

- Ảnh tổ chức thô đại mẫu khảo sát No.2.2 (hình 8b) cho thấy: biên giới liên kết giữa kim loại hàn với hai lớp hợp kim đồng ở cả hai bên mối hàn TIG trên mẫu thí nghiệm này đều đạt yêu cầu, không phát hiện thấy có các khuyết tật như ngậm xỉ đáng kể. Tuy nhiên, tại biên giới liên kết của kim loại hàn đắp ở bên phải mối hàn có phát hiện thấy một lỗ xốp tương đối rõ nét, còn ở vùng phía dưới mối hàn đã được điền đầy tốt. Ngoài ra, ở vùng chính giữa mối hàn có phát hiện thấy vết nứt tế vi với xu hướng tiến ra phía dưới mối hàn, điều đó ☞

dẫn đến độ bền kéo của mối hàn sẽ bị suy giảm. Nguyên nhân xảy ra hiện tượng này cũng được giải thích như đối với mẫu No.2.1 ở trên và có thể khắc phục được bằng cách gia nhiệt phôi trước khi hàn;

- Ảnh tổ chức thô đại mẫu khảo sát No.2.3 (hình 8c) cho thấy: biên giới liên kết giữa kim loại hàn với hai lớp hợp kim đồng ở cả hai bên mối hàn TIG trên mẫu thí nghiệm này ở phía dưới mối hàn đều rất tốt. Tại biên giới liên kết của kim loại hàn đắp với các lớp hợp kim đồng ở phía trên mối hàn tuy có phát hiện thấy khuyết tật dạng lỗ xốp (có thể là chúng đã có sẵn trong phôi vật liệu composite trimetal được sử dụng để hàn thử nghiệm). Tại vùng chính giữa mối hàn hoàn toàn không phát hiện thấy khuyết tật dạng vết nứt tế vi nào, điều đó đảm bảo độ bền kéo của mối hàn sẽ có giá trị cao;

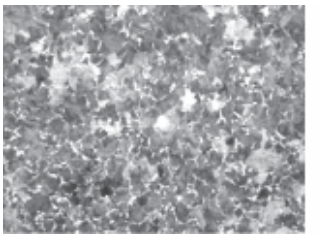
- Ảnh tổ chức thô đại mẫu khảo sát No.2.4 (hình 8d) cho thấy đặc điểm của nó giống như mẫu No.2.3 đã khảo sát: biên giới liên kết giữa kim loại hàn với hai lớp hợp kim đồng ở cả hai bên mối hàn TIG trên mẫu thí nghiệm này ở phía dưới mối hàn đều rất tốt. Tại vùng chính giữa mối hàn cũng hoàn toàn không phát hiện thấy khuyết tật dạng vết nứt tế vi nào, điều đó đảm bảo độ bền kéo của mối hàn sẽ có giá trị cao;

- Ảnh tổ chức thô đại mẫu khảo sát No.2.5 (hình 8e) cho thấy: vùng tổ chức thô đại ở giữa hai đầu giáp mối lớp thép các bon trong phôi vật liệu composite trimetal đã hình thành liên kết kim loại rất tốt, không có các khuyết tật ngậm xỉ hoặc tạp chất bẩn, điều đó đảm bảo độ bền kéo của lớp thép trong mối hàn sẽ có giá trị cao. Liên kết giữa kim loại hàn với các lớp hợp kim đồng ở phía trên mối hàn cũng được hình thành rất tốt, không có khuyết tật. Tuy nhiên, tại biên giới liên kết giữa kim loại hàn và các lớp hợp kim đồng tại các tiểu vùng cấu trúc ở hai bên phía dưới mối hàn có phát hiện thấy vài vết đen kích thước đáng kể, có thể là do lượng kim loại bù đắp vào còn thiếu, điều đó sẽ làm giảm độ bền kéo mối hàn;

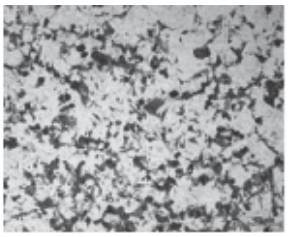
- Ảnh tổ chức thô đại mẫu khảo sát No.2.6 (hình 8f) cho thấy nó có đặc điểm tương tự như mẫu No.2.5 đã xét ở trên. Các lớp thép và hợp kim đồng trong mối hàn đều hình thành được liên kết kim loại rất tốt với hai mặt đầu của phôi hàn từ vật liệu composite trimetal. Ở đây chỉ phát hiện thấy có một lỗ xốp phía bên trái tại vùng biên giới mối hàn và hợp kim đồng ở phía trái mẫu khảo sát. Ngoài ra, trong mối hàn quan sát thấy có vài vết nứt tế vi, nhưng khá cục bộ và không liên tục, điều này có thể sửa chữa bằng xử lý nhiệt ở chế độ phù hợp sau khi hàn.

b) Tổ chức tế vi

Tổ chức tế vi vật liệu mối hàn TIG từ các mảnh ghép composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng được nghiên cứu khảo sát trên 03 mẫu thí nghiệm điển hình có ký hiệu No.2.1; No.2.2 và No.2.3. Kết quả khảo sát chụp ảnh tổ chức tế vi một số mẫu liên kết hàn từ vật liệu composite trimetal trên kính hiển vi quang học tại ba tiểu vùng cấu trúc đặc trưng gồm: kim loại cơ bản (KLCB), ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và mối hàn (MH) cho trên hình 9 dưới đây.

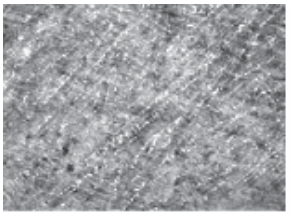


a) No.2.1, x200, KLCB

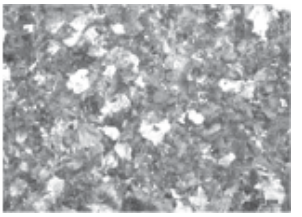


b) No.2.1, x200, HAZ

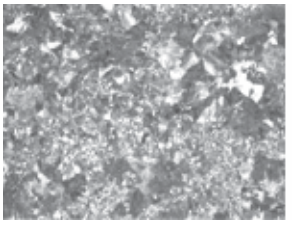
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



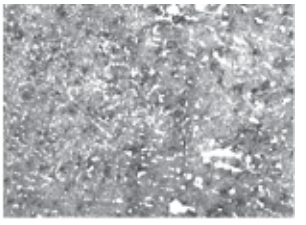
c) No.2.1, x200, MH



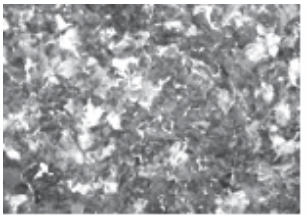
d) No.2.2, x200, KLCB



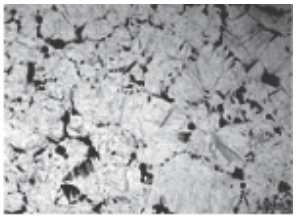
e) No.2.2, x200, HAZ



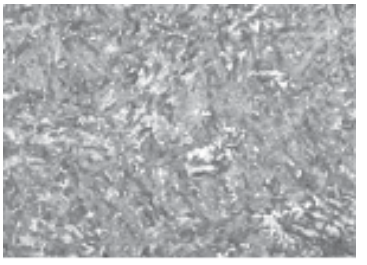
f) No.2.2, x200, MH



g) No.2.3, x200, KLCB



h) No.2.3, x200, HAZ



k) No.2.3, x200, MH

Hình 9. Tổ chức tế vi tại 3 tiểu vùng đặc trưng của mối hàn TIG liên kết giáp mối vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng khảo sát trên mẫu sau tẩm thực

Phân tích kết quả thực nghiệm trên hình 9, ta có nhận xét như sau:

- Ảnh tổ chức tế vi mẫu No.2.1 (hình 9a, b, c) cho thấy: Vùng kim loại cơ bản (KLCB) của lớp thép (hình 9a) có cấu trúc pha đặc trưng của thép các bon rất điển hình, không bị thay đổi do ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn. Tổ chức tế vi của vùng ảnh hưởng nhiệt (vùng HAZ – hình 9b) có đặc điểm các pha cấu trúc hơi bị biến trắng, nhưng phân bố đồng đều, có thể là do có sự ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn thử nghiệm đáng kể. Vùng kim loại mối hàn (hình 9c) có cấu trúc pha mịn hơn nhiều so với vùng HAZ và KLCB, cần được tiếp tục làm rõ hơn bằng phương pháp SEM và phân tích EDX;

- Ảnh tổ chức tế vi mẫu No.2.2 (hình 9d, e, f) cho thấy: vùng KLCB của lớp thép (hình 9d) và vùng HAZ (hình 9e) có cấu trúc pha đặc trưng của thép các bon rất điển hình gần giống nhau. Ở đây tổ chức pha của vùng HAZ hầu như ít bị thay đổi do ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn. Vùng kim loại mối hàn (hình 9f) có cấu trúc pha nhỏ mịn hơn so với các vùng HAZ và KLCB và có phát hiện thấy nhiều tiểu vùng cấu trúc màu trắng phân bố nhiều ở phía bên phải mẫu khảo sát. Nguyên nhân có lẽ vị trí chụp ảnh trên mẫu này đã chọn gần biên giới liên kết giữa mối hàn và lớp thép nền phía bên phải kết cấu hàn giáp mối hai tấm vật liệu composite trimetal;

- Ảnh tổ chức tế vi mẫu No.2.3 (hình 9g, h, k) cho thấy: vùng KLCB của lớp thép (hình 9g) có cấu trúc pha đặc trưng của thép các bon rất điển hình, còn vùng HAZ (hình 9h) thấy có hiện tượng các pha cấu trúc biến trắng khá lớn, xen lẫn các lưới cấu trúc màu đen và phân bố không đồng đều trên toàn bộ bề mặt mẫu khảo sát, có thể là do có sự ảnh hưởng nhiệt trong quá trình hàn thử nghiệm đáng kể. Vùng kim loại mối hàn (MH – hình 9k) có cấu trúc pha nhỏ mịn gần giống với các vùng mối hàn trên mẫu No.2.2 đã xét ở trên.Trong vùng kim loại mối hàn có phát hiện thấy nhiều tiểu vùng cấu trúc màu trắng phân bố khá đồng đều trên bề mặt mẫu khảo sát này. ☞

4. KẾT LUẬN

1) Biến dạng của phôi đĩa thép sau khi hàn TIG do ảnh hưởng của kết cấu hàn từ 6 mảnh ghép và 3 đường hàn đối xứng qua tâm đĩa (mẫu No.3) có giá trị khá lớn trong khoảng f_{z3} = 1,002 ÷ 8,684 mm. Đối với kết cấu mối hàn TIG từ 8 mảnh ghép và 4 đường hàn đối xứng qua tâm đĩa (mẫu No.4), biến dạng của phôi đĩa thép sau khi hàn có giá trị là f_{z4} = 2,024 ÷ 12,112 mm. Nhìn chung, nếu xét theo tiêu chí biến dạng liên kết hàn cần đảm bảo ở mức nhỏ nhất thì chưa đạt yêu cầu kỳ vọng, nhưng vẫn đạt mục đích thăm dò định hướng và sàng lọc công nghệ phù hợp;

2) Các mẫu hàn TIG thử nghiệm đối với vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng ở những chế độ hàn đã chọn tương ứng với các mẫu khảo sát đã đảm bảo được các đặc tính kim tương học gồm tổ chức thô đại và tổ chức tế vi liên kết mối hàn khá tốt. Trong các mối hàn đã khảo sát đều hình thành được liên kết kim loại của lớp thép rất tốt, còn các lớp hợp kim đồng đã có liên kết với kim loại hàn trên biên giới giữa chúng ở cả hai phía trên và dưới mối hàn có thể chấp nhận được.

3) Để làm rõ hơn về cơ chế hình thành liên kết kim loại giữa hai lớp hợp kim đồng (mặt bên 2 phía mẫu) và lớp thép các bon ở giữa các mảnh ghép vật liệu composite luyện kim bột và chất lượng mối hàn TIG thử nghiệm, nhóm nghiên cứu đã thực hiện thêm một số thí nghiệm khảo sát tại các tiểu vùng cấu trúc đặc trưng bằng phương pháp SEM và phân tích EDX, kết quả sẽ được công bố trong một bài báo khác.❖

Ngày nhận bài: **05/5/2024**
Ngày phản biện: **06/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Hà Minh Hùng (2000); "*Nghiên cứu công nghệ tạo băng bimetal thép – hợp kim đồng làm bạc trượt*", Báo cáo tổng kết KHKT đề tài NCKH cấp Nhà nước mã số KHCN 05.06 (Báo cáo Chuyên đề 1), Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.

[2]. Hà Minh Hùng (2000); "*Nghiên cứu ứng dụng công nghệ tạo hình biến dạng thích hợp để chế tạo một số cụm chi tiết quan trọng trong động cơ mô tô hai bánh*", Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Nhà nước mã số KC06.13 CN, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.

[3]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Giáp, Đặng Văn Tuấn (2012); "*Nghiên cứu vật liệu ma sát bộ ly hợp máy động lực, ô tô vận tải hạng nặng trong ngành khai thác khoáng sản*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số T11/2012, trang 114-124.

[4]. Hà Minh Hùng, Trần Tuấn Anh (2013); "*Tính chất vật liệu hợp kim đồng ma sát chế tạo trong nước bằng phương pháp ép – thiêu kết dưới áp lực*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 8, T8/2013, trang 25-34.

[5]. Hà Minh Hùng (2013); "*Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu hợp kim 3 lớp (trimetal) ứng dụng làm đĩa ma sát của bộ ly hợp động cơ máy động lực, máy công trình*", Báo cáo tổng kết KHKT đề tài NCKH cấp Bộ Công Thương năm 2013, mã số 119.13/RD/HĐ-KHCN, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.

[6]. Hà Minh Hùng (2016); "*Nghiên cứu ứng dụng công nghệ phối hợp luyện kim bột và xử lý bề mặt để chế tạo vật liệu trimetal thép – hợp kim đồng – lớp phủ đặc biệt làm bạc trượt động cơ ô tô tải trọng lớn thay thế hàng nhập khẩu*", Báo cáo tổng kết KHKT đề tài NCKH cấp Liên Hiệp các Hội KHKT Việt Nam, mã số 61/HĐ-LHHVN, Viện IDAT, Hà Nội.

[7]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Mễ (2022); "*Lựa chọn các vật liệu đĩa ma sát và chi tiết đối ứng thích hợp dự kiến ứng dụng cho xe ô tô vận tải 15 ÷ 35 tấn*", Báo cáo Chuyên đề 3 thuộc đề tài NCKH cấp Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến (IDAT) năm 2022, mã số: 02RD/IDAT-KHCN 2022.

[8]. Nguyễn Văn Mễ, Hà Minh Hùng (2022); "*Nghiên cứu công nghệ hàn plasma vật liệu composite hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng chế tạo đĩa ma sát bộ ly hợp công suất lớn*", mã số: 02.RD/IDAT-KHCN 2022.

XÁC ĐỊNH TRƯỜNG VẬN TỐC VÀ ÁP SUẤT XUNG QUANH VẬT NGẬP TRONG DÒNG CHẤT LỎNG CHUYỂN ĐỘNG BẰNG PHÉP NỘI SUY VÀ XẤP XỈ HÀM

EVALUATE THE VELOCITY AND PRESSURE FIELDS AROUND AN OBJECT SUBMERGED IN A FLUID STREAM BY INTERPOLATION AND APPROXIMATION METHOD

TS. **Nguyễn Văn Tuệ**
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một phương pháp được sử dụng để mô hình hóa các trường véc-tơ vận tốc của dòng chảy, đó là nội suy và xấp xỉ hàm. Phương pháp này được sử dụng với cơ sở đa thức nội suy là đa thức trực giao của Legendre (1752-1833). Kết quả thu được dưới dạng là trường véc-tơ được mô hình hóa thành các hàm đa thức đa biến. Sau đó, trường gradient áp suất được tính toán bằng phương trình Navier-Stokes. Bước tiếp theo, chúng ta có thể sử dụng phương pháp tích phân tuần tự để tính toán trường áp suất.

Khi áp dụng trên một bộ số liệu thực nghiệm, kết quả thu được cho thấy rằng, độ chính xác của trường vận tốc và trường áp suất được tính toán trên toàn miền của dòng chảy xung quanh profile hoàn toàn tương đồng với cơ sở lý thuyết cũng như khi so sánh với kết quả thu được của các phương pháp nghiên cứu khác.

Từ khóa: *Phương pháp PIV; Đa thức trực giao Legendre; Nội suy và xấp xỉ hàm; Phương trình Navier-Stokes; Trường véc-tơ vận tốc; Trường áp suất.*

ABSTRACT

This article introduces a method used to model flow velocity vector fields, which is Interpolation and Approximation. This method is used with the interpolation polynomial basis which is the orthogonal polynomial of Legendre (1752-1833). The results are obtained as vector fields modeled as multivariate polynomial functions. The pressure gradient fields will then be calculated using the Navier-Stokes equation. After that, we can use the sequential integration method to calculate the pressure field.

When applied to a set of experimental data, the results obtained show that the accuracy of the velocity field and pressure field calculated over the entire region of the flow around the profile is completely similar to the theoretical basis, also when compared with the results obtained by other research methods.

Keywords: *PIV method; Legendre polynomials; Interpolation and approximation; Navier-Stokes equation; Velocity vector field; Pressure field.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu về sự tác động của dòng chảy lên các vật thể ngập bên trong dòng chảy đó luôn là một vấn đề phức tạp. Sự phức tạp do các thông số của dòng chảy luôn biến đổi không ngừng, dẫn đến việc nắm bắt được quy luật của dòng chảy là vô cùng khó khăn. Ngày nay, nhờ tiến bộ của khoa học và sự trợ giúp đắc lực của máy tính, con người đã đạt được những thành tựu hết sức khả quan trong nghiên cứu và ứng dụng các quy luật thuộc về lĩnh vực cơ học chất lỏng.

Trong bài báo này, công việc nghiên cứu được đề cập liên quan đến việc xác định các trường áp suất, từ các số liệu thực nghiệm của trường véc-tơ vận tốc thu được nhờ phương pháp PIV (Particle Image Velocimetry). Trong phương pháp nội suy và xấp xỉ hàm, đa thức được sử dụng để xấp xỉ các trường véc-tơ vận tốc là họ đa thức trực giao của Legendre [1, 2]. Sau đó, trường gradient áp suất được tính toán theo phương trình Navier-Stokes. Cuối cùng, từ các trường gradient áp suất, chúng ta đi xác định trường áp suất bằng phương pháp tích phân tuần tự [4, 5].

2. MÔ HÌNH HÓA VÀ TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CỦA DÒNG CHẢY

Trong phần này, ta thực hiện mô hình hóa các trường véc-tơ vận tốc bằng các đa thức trực giao đa biến, dựa trên phương pháp trước đây đã được phát triển trong luận án tiến sĩ của Martin Druon [1, 2].

2.1. Xấp xỉ các trường véc-tơ vận tốc

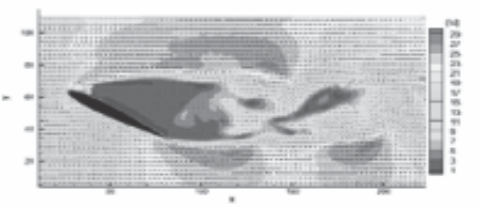
Trong công việc của chúng tôi, một trường véc-tơ vận tốc hai chiều được xác định như sau:

$$\vec{\mathcal{F}}: [-1,+1] \times [-1,+1] \times \mathbb{R}^+ \to \mathbb{R}_2(X,Y,t) \to \big(u(x,y,t), v(x,y,t)\big) \quad (1)$$

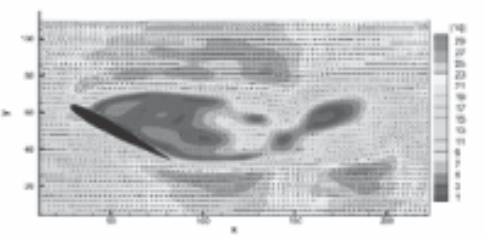
Để mô hình hóa một trường véc-tơ, mỗi thành phần của trường véc-tơ được xấp xỉ bằng một kết hợp tuyến tính với các hàm đa thức Legendre.

$$u(x,y,t) \cong U_n(X,Y,t) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n-i} U_{ij}(t)P_{ij}(X,Y)$$
$$v(x,y,t) \cong V_n(X,Y,t) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n-i} V_{ij}(t)P_{ij}(X,Y) \quad (2)$$

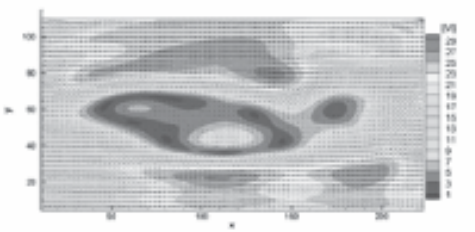
Trong đó: $U_{ij}(t)$ và $V_{ij}(t)$ là các hệ số chiếu tại thời điểm t; $P_{ij}(X,Y)$ là các đa thức 2D Legendre.



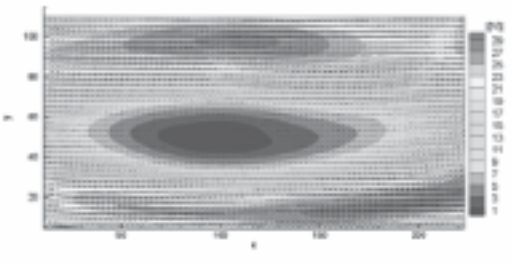
a)
Trường véc-tơ gốc



b)
Trường véc-tơ tái tạo (bậc 25)



c)
Trường véc-tơ tái tạo (bậc 15)



d)

Trường véc-tơ tái tạo (bậc 5)

Hình 1. Trường véc-tơ gốc và các trường véc-tơ tái tạo với cơ sở đa thức có bậc 5, 15 và 25.

Trên Hình 1a là hình ảnh thu được bằng PIV, trường véc-tơ vận tốc bao quanh một profile NACA 0012 ngập trong nước, với góc tấn 30°, dòng chảy với số Reynolds Re = 1000, ta tạm gọi là trường véc-tơ gốc. Trên các Hình 1b, c và d là kết quả của phép xấp xỉ trường véc-tơ gốc bằng các hàm đa thức với bậc của đa thức lần lượt là 25, 15 và 5.

Từ kết quả thu được, ta thấy: với cơ sở đa thức có bậc 25 (Hình 1b), cấu trúc của trường véc-tơ vận tốc được tái tạo bằng hàm đa thức là khá chính xác so với trường véc-tơ gốc ban đầu (Hình 1a). Trong quá trình nghiên cứu, bậc của đa thức đã được thử nghiệm với bậc 30 nhưng kết quả hầu như không đổi so với bậc 25. Mặt khác, thời gian xử lý của máy tính khi thực hiện các phép tính với đa thức bậc quá cao cũng là một vấn đề nan giải. Do đó, bậc đa thức được sử dụng trong phép nội suy và xấp xỉ hàm tạm dừng lại ở bậc 25.

2.2. Tính toán trường gradient áp suất

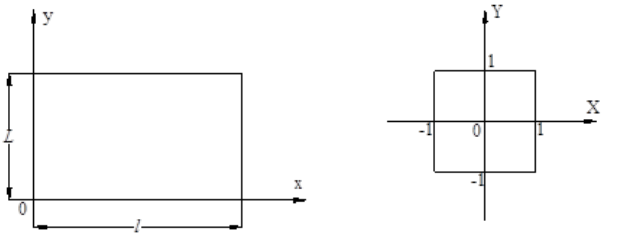
Ý tưởng của phương pháp được đề xuất là thay thế các thành phần của trường véc-tơ vận tốc trong phương trình Navier-Stokes, bằng các xấp xỉ của chúng dưới dạng các hàm đa thức. Từ đó, ta có thể dễ dàng tính được trường gradient áp suất.

Cụ thể, với trường véc-tơ $\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}}(x,y)$= (u(x,y,t),v(x,y,t)) sẽ được thay thế bằng hàm $\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}}_{\boldsymbol{n}}(X,Y,t)$ = (U_n(X,Y,t),V_n(X,Y,t)) trong phương trình Navier-Stokes:

$$\vec{\nabla}p = -\rho\left(\frac{\partial\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}}}{\partial t} + \left(\nabla\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}}.\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}}\right) - \nu\Delta\vec{\boldsymbol{\mathcal{F}}} - \vec{g}\right) \quad (3)$$

Lưu ý: Từ miền quan sát của dòng chảy (x, y) $\in$ [0, l] × [0, L] (Hình 2a), khi được điều chỉnh sang miền đa thức Legendre (X, Y) $\in$ [–1, +1] × [–1, +1] (Hình 2b), hệ số chuyển đổi sẽ có dạng như sau:

$$X = \frac{2}{l}x - 1; \qquad Y = \frac{2}{L}y - 1 \quad (4)$$



a) *b)*

Hình 2. Miền của dòng chảy và miền của đa thức.

Lúc này, các trường gradient áp suất nhận được như sau:

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{2}{l}\frac{\partial p}{\partial X} = -\rho\left(\frac{\partial U_n}{\partial t} + \frac{2}{l}U_n\frac{\partial U_n}{\partial X} + \frac{2}{L}V_n\frac{\partial U_n}{\partial Y} - \nu\left(\frac{4}{l^2}\frac{\partial^2 U_n}{\partial X^2} + \frac{4}{L^2}\frac{\partial^2 U_n}{\partial Y^2}\right) - g_x\right)\\ \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{2}{L}\frac{\partial p}{\partial Y} = -\rho\left(\frac{\partial V_n}{\partial t} + \frac{2}{l}U_n\frac{\partial V_n}{\partial X} + \frac{2}{L}V_n\frac{\partial V_n}{\partial Y} - \nu\left(\frac{4}{l^2}\frac{\partial^2 V_n}{\partial X^2} + \frac{4}{L^2}\frac{\partial^2 V_n}{\partial Y^2}\right) - g_y\right)\end{aligned} \quad (5)$$

Trong bước tính này, chúng ta sử dụng 5 trường véc-tơ liên tiếp để tính trường gradient áp suất. Ví dụ, với 5 trường véc-tơ tại các thời điểm t_1, t_2, t_3, t_4 và t_5, bước thời gian giữa hai trường liên tiếp là Δt. Trường gradient áp suất tại thời điểm t_3 được tính như sau:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho\left(\frac{U_{n(t_5)} - U_{n(t_1)}}{4 * \Delta t} + \frac{2}{l}U_{n(t_3)}\frac{\partial U_{n(t_3)}}{\partial X} + \frac{2}{L}V_{n(t_3)}\frac{\partial U_{n(t_3)}}{\partial Y} - \nu\left(\frac{4}{l^2}\frac{\partial^2 U_{n(t_3)}}{\partial X^2} + \frac{4}{L^2}\frac{\partial^2 U_{n(t_3)}}{\partial Y^2}\right) - g_x\right)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho\left(\frac{V_{n(t_5)} - V_{n(t_1)}}{4 * \Delta t} + \frac{2}{l}U_{n(t_3)}\frac{\partial V_{n(t_3)}}{\partial X} + \frac{2}{L}V_{n(t_3)}\frac{\partial V_{n(t_3)}}{\partial Y} - \nu\left(\frac{4}{l^2}\frac{\partial^2 V_{n(t_3)}}{\partial X^2} + \frac{4}{L^2}\frac{\partial^2 V_{n(t_3)}}{\partial Y^2}\right) - g_y\right) \quad (6)$$

Biểu diễn dưới dạng các hàm đa thức:

$$\frac{\partial p(x,y,t)}{\partial x} = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N-i} p_{ij}'^{1}(t)\, x^i y^j$$

$$\frac{\partial p(x,y,t)}{\partial y} = \sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N-j} p_{ij}'^{2}(t)\, x^i y^j \quad (7)$$

Trong đó, N = 2n – 1 và các hệ số $p_{ij}'^{1}(t)$ và $p_{ij}'^{2}(t)$ được thể hiện dưới dạng các hàm của các hệ số $U_{ij}(t)$ và $V_{ij}(t)$.

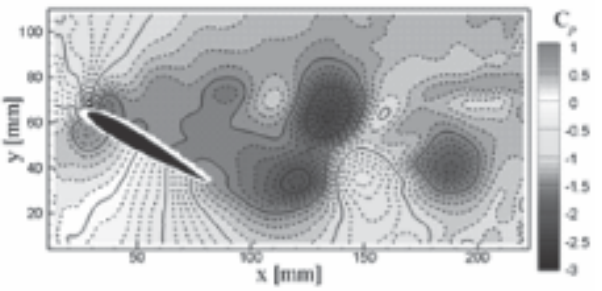
2.3. Tính toán trường áp suất (tích phân trực tiếp từ trường gradient áp suất)

Các trường áp suất được tính toán bằng cách tích phân các trường gradient áp suất đã tính trong phần trước. Phương pháp tích phân tuần tự được áp dụng dựa trên các phương pháp của Thibaut cùng các cộng sự [4] và Young Jin cùng các cộng sự [5].

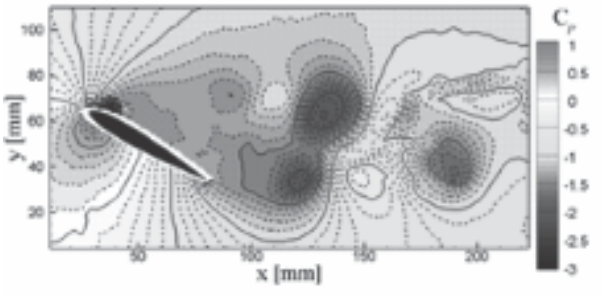
3. KẾT QUẢ

Mô hình thực nghiệm cho công việc tính toán được trình bày chi tiết trong nghiên cứu của Leroux và các cộng sự [3]. Ở đó, một dòng chảy bao quanh một profile NACA 0012 có chiều dài dây cung c = 60 mm, số Reynolds của dòng chảy Re = 1000, góc tấn 30° được đặt trong ống thủy động có tiết diện mặt cắt ngang vuông (160mm × 160mm). Phép đo PIV được thực hiện với nguồn laser Nd-YAG Quantel (năng lượng xung 2 × 120 mJ), máy ảnh tốc độ cao với cảm biến có độ phân giải 2.048 × 2.048 pixels, các hạt polyamide được sử dụng có đường kính trung bình 15 µm. Khối lượng riêng của nước ρ = 0,000001 kg/mm^3; hệ số nhớt động $\nu = \frac{\mu}{\rho} = 1$ mm^2/s; thời gian giữa hai files ảnh liên tiếp Δt = 0,07813 s.

Hình 3a minh họa kết quả của trường áp suất tại thời điểm t_3 = 10 Δt được tính toán từ 5 trường véc-tơ liên tiếp tại các thời điểm t_1 = 8 Δt, t_2 = 9 Δt, t_3 = 10 Δt, t_4 = 11 Δt và t_5 = 12 Δt. Hình 3b là kết quả tính toán bằng phương pháp FTEE + tích phân tuần tự (FTEE_ Fluid Trajectory Evaluation based on Ensemble-averaged Cross-correlation) của một nhóm nghiên cứu khác [5].



a)



b)

Hình 3. Trường áp suất bao quanh profile được tính bằng hai phương pháp khác nhau.

4. KẾT LUẬN

Trên đây, chúng ta đã được giới thiệu

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

về một phương pháp xấp xỉ hàm bằng cơ sở đa thức trực giao, dùng cho việc tính toán trường gradient áp suất kết hợp với phương pháp tích phân tuần tự. Phương pháp này dường như là một giải pháp hữu hiệu đối với việc tính toán các trường áp suất, áp dụng cho các số liệu thu được bằng phương pháp thực nghiệm PIV.

Phần tiếp theo, việc tính toán trường áp lực xung quanh profile cánh sẽ tương đối thuận lợi. Hơn nữa, phương pháp này hoàn toàn có thể mở rộng đối với trường hợp dòng chảy trong không gian ba chiều (3D).

Lời cảm ơn:

Xin được gửi lời cảm ơn đến Giáo sư Laurent DAVID, Tiến sĩ Frédéric PONS, Tiến sĩ Benoit TREMBLAIS và bạn bè đồng nghiệp trong Viện Pprime, Trường Đại học Poitiers, Cộng hòa Pháp, những người đã tận tình giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi để công tác nghiên cứu này được hoàn thành.❖

Ngày nhận bài: **18/4/2024**
Ngày phản biện: **12/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. M. Druon, B. Tremblais and B. Augereau. *Vector Fields Modelization Using Basis of Polynomials: Application to the Analysis of Simple Face Movements.* In Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), (2006).

[2]. M. Druon. *Modélisation du mouvement par polynômes orthogonaux: application à l'étude d'écoulements fluides.* PhD thesis, Université de Poitiers, (2009).

[3]. R. Leroux, L. Chatellier, L. David. *Bayesian inference applied to spatio-temporal reconstruction of flows around a NACA0012 airfoil.* Exp Fluids 55:1699 (2014).

[4]. T. Tronchin, L. David, A. Farcy. *Loads and pressure evaluation of the flow around a flapping wing from instantaneous 3D velocity measurements*. Exp Fluids 56:7 (2015).

[5]. Y.J. Jeon, T. Tronchin, L. Chatellier and L. David. *3D extension of the fluid trajectory evaluation based on an ensembleaveraged cross-correlation (FTEE) for acceleration and pressure evaluation of the flow around a flapping wing*. Lisbon, Portugal, (2014).

NGHIÊN CỨU TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH BÌNH CHỮA CHÁY XÁCH TAY Phần 2 – ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KIỂM ĐỊNH BÌNH CHỮA CHÁY XÁCH TAY TỰ ĐỘNG

STUDY ON AUTOMATION OF PORTABLE FIRE EXTINGUISHER INSPECTION Part 2 – PROPOSED SOLUTION OF AUTO PORTABLE FIRE EXTINGUISHER TESTING

Đặng Trung Kiên[1, 3], Phan Hoàng Long[1, 2, 3], Dương Văn Tú[1, 2, 3], Nguyễn Tấn Tiến[1, 2, 3]
[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[2]DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trong phần 1, các tiêu chí kiểm nghiệm bình chữa cháy xách tay đã được nghiên cứu làm cơ sở 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 bình chữa cháy xách tay.

Từ khóa: *Bình chữa cháy (BCC) xách tay; Tự động hóa kiểm định; Phòng cháy chữa cháy (PCCC).*

ABSTRACT

In part 1, we studied the criteria for testing portable fire extinguisher. On this basis, the article presents flowcharts of the test process and proposes a solution to combine the criteria, suitable for portable fire extinguisher automating testing.

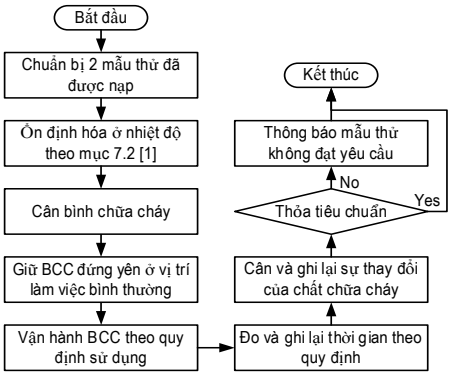
Keywords: *Portable fire extinguisher; Automatic testing; Fire protection.*

1. TỔNG QUAN

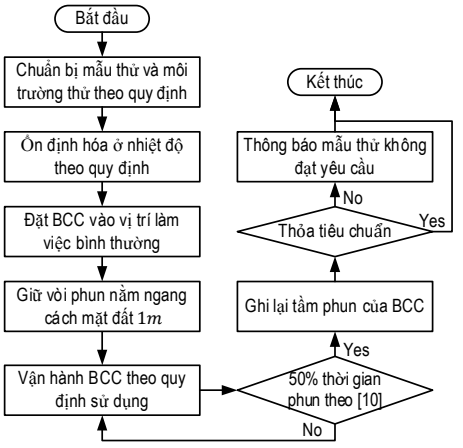
Trong phần 1 [5], nhóm nghiên cứu đã trình bày tổng quan về bình chữa cháy và lượng hóa các bước của các tiêu chí kiểm định bình chữa cháy xách tay theo TCVN 7026:2013. Trên cơ sở này, bài báo xây dựng các lưu đồ biểu diễn quy trình các phép thử theo TCVN 7026:2013. Từ các điểm chung của các tiêu chí, 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 bình chữa cháy xách tay.

2. QUY TRÌNH KIỂM NGHIỆM

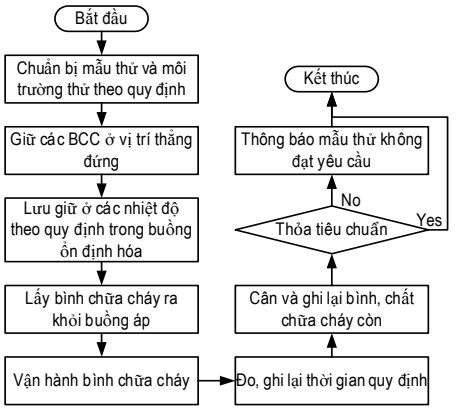
2.1. Thử thời gian phun nhỏ nhất



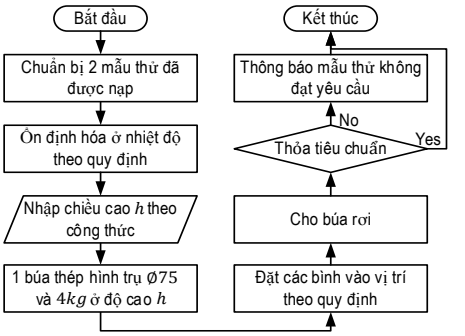
2.2. Thử tầm phun



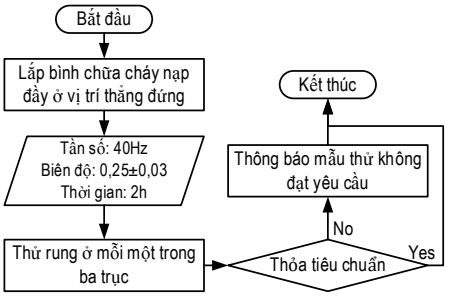
2.3. Độ bền với thay đổi nhiệt độ



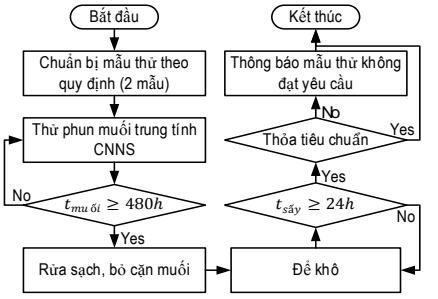
2.4. Độ bền chịu va đập



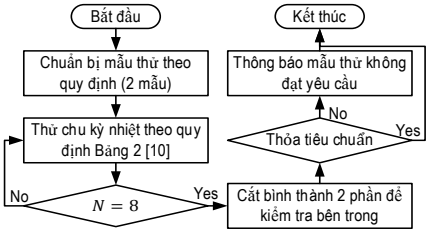
2.5. Độ bền chịu rung động



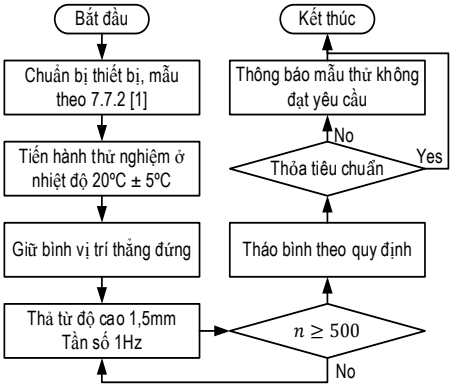
2.6. Độ bền chịu ăn mòn bên ngoài



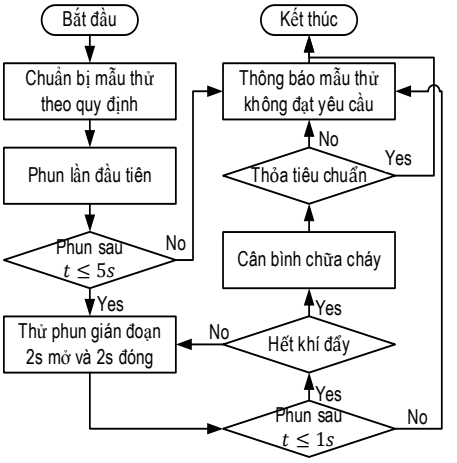
2.7. Độ bền chịu ăn mòn bên trong (bình chữa cháy gốc nước)



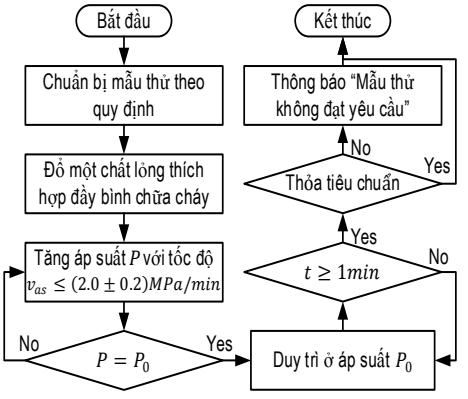
2.8. Thử rơi nhẹ



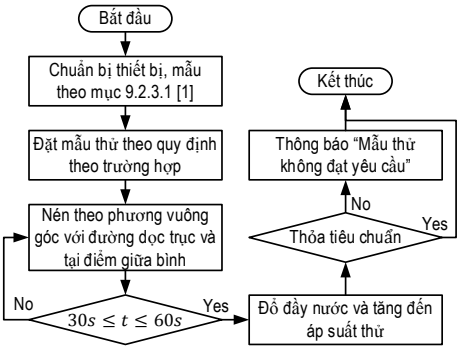
2.9. Thử phun gián đoạn



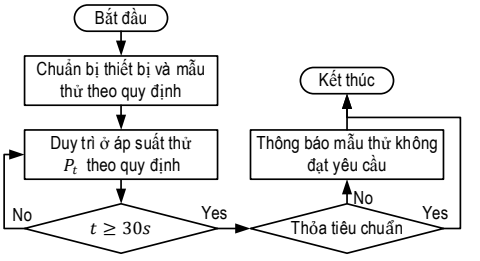
2.10. Thử nổ



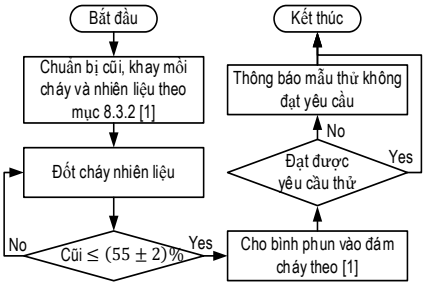
2.11. Thử nén ép



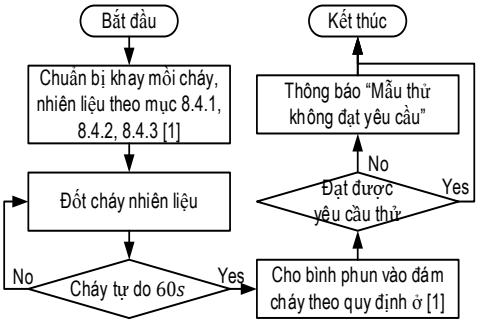
2.12. Thử giãn nở dư theo thể tích



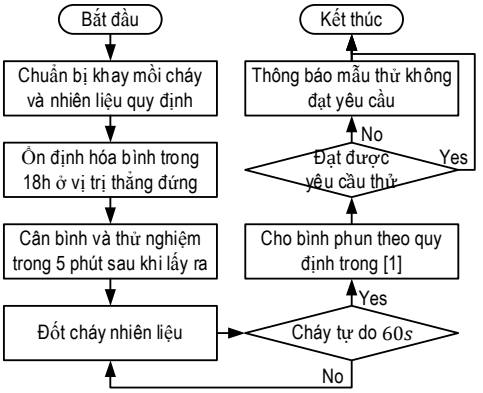
2.13. Thử với đám cháy loại A



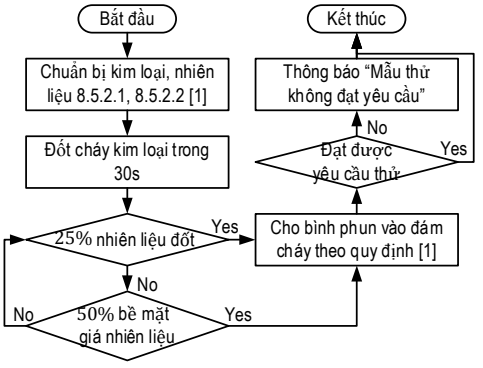
2.14. Thử với đám cháy loại B



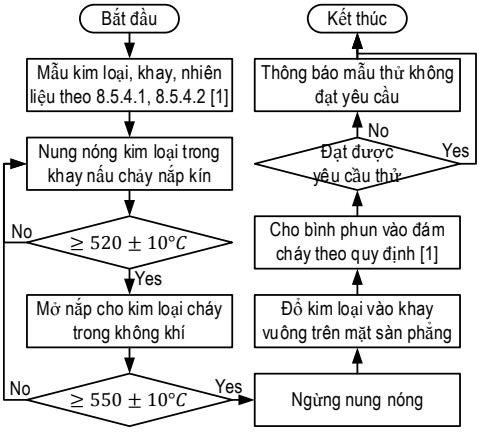
2.15. Thử với đám cháy loại B ở nhiệt độ thấp



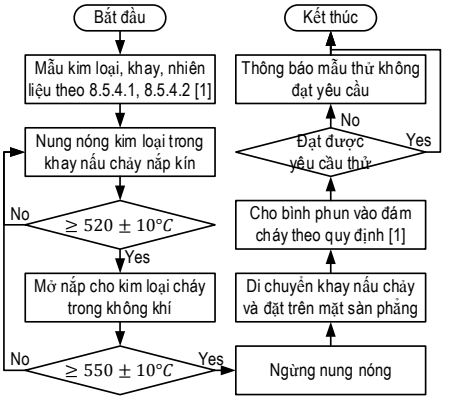
2.16. Thử với đám cháy loại D – Đám cháy bột hoặc bụi kim loại, đám cháy mảnh vụn kim loại hoặc phoi tiện



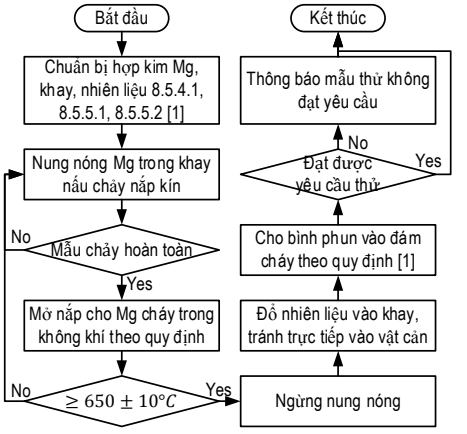
2.17. Thử với đám cháy loại D – Đám cháy lớp mỏng kim loại lỏng – Đám cháy lan



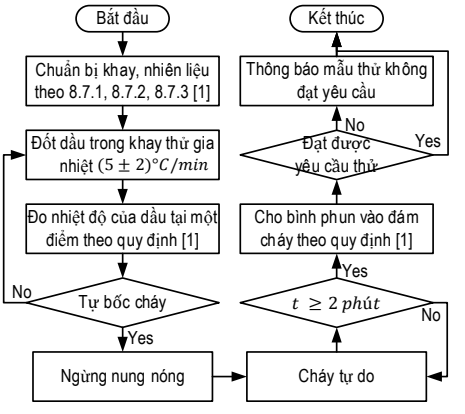
2.18. Thử với đám cháy loại D – Đám cháy lớp mỏng kim loại – Đám cháy của khay



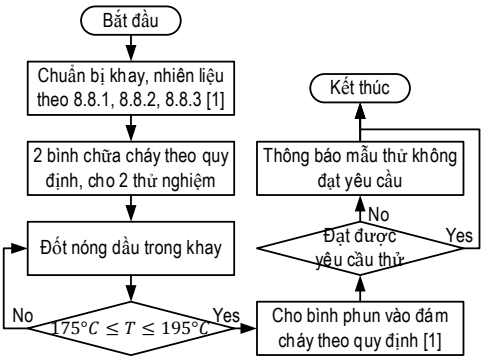
2.19. Thử với đám cháy loại D – Đám cháy đúc mô phỏng



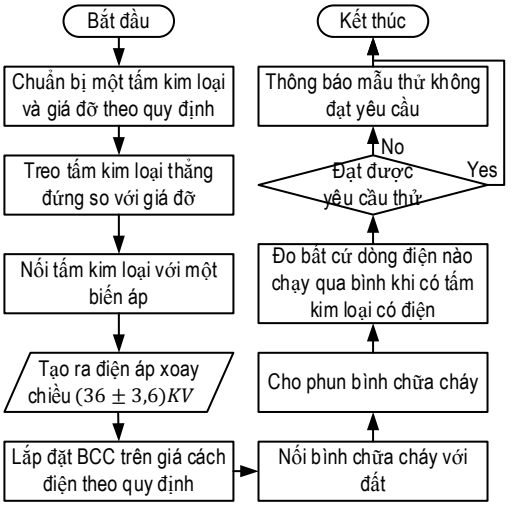
2.20. Thử với đám cháy loại F



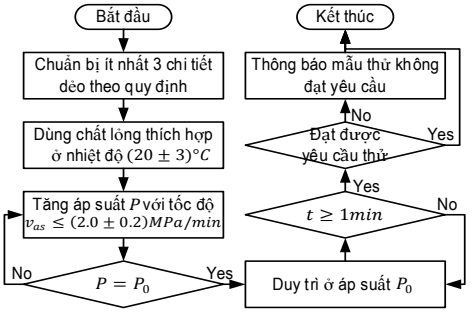
2.21. Thử bắn tóe đám cháy loại F



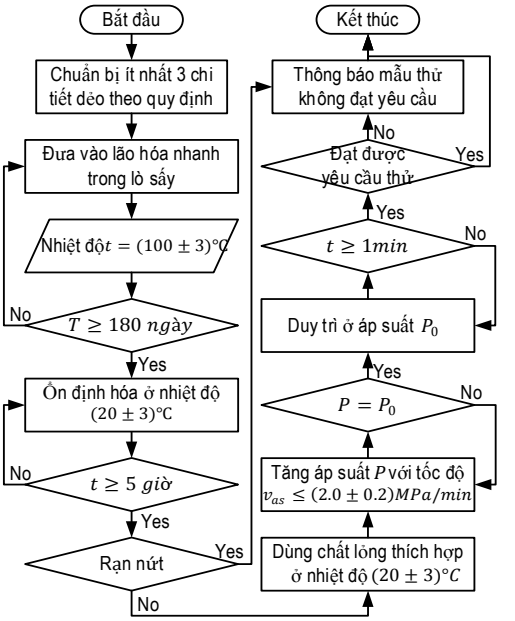
2.22. Thử tính dẫn điện của việc phun bình chữa cháy



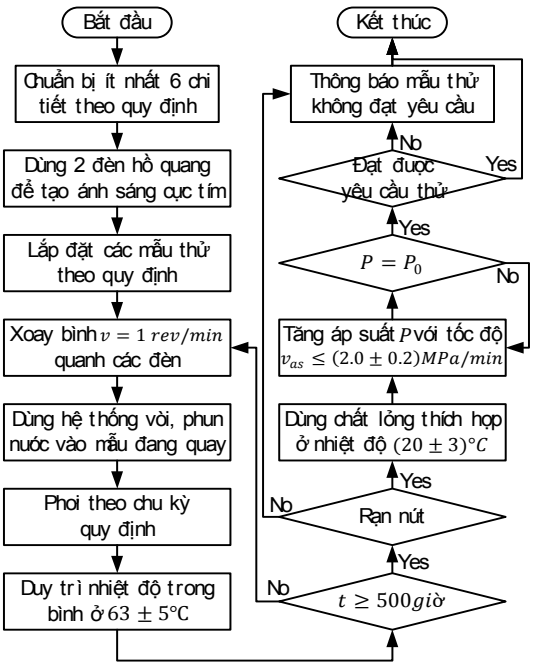
2.23. Thử độ bền chống nổ – Yêu cầu đối với các chi tiết bằng chất dẻo – Các chi tiết chịu áp bình thường và cụm ống mềm



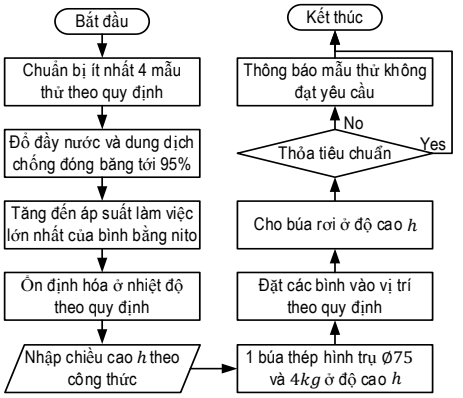
2.24. Lão hóa trong lò sấy – Yêu cầu đối với các chi tiết bằng chất dẻo – Các chi tiết chịu áp bình thường



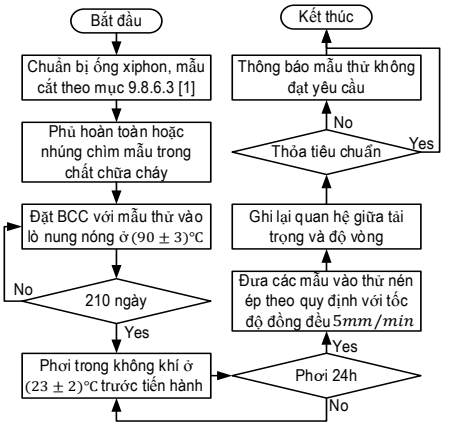
2.25. Thử phơi ánh sáng tím – Yêu cầu đối với các chi tiết bằng chất dẻo



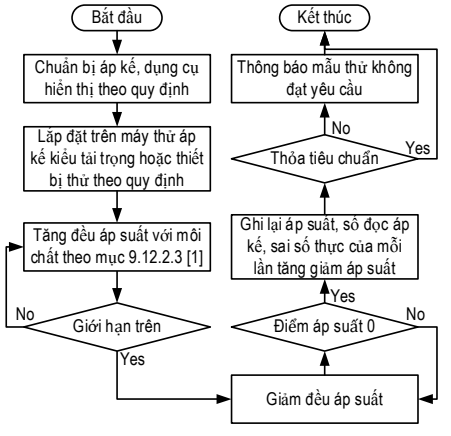
2.26. Độ bền chịu va đập – Yêu cầu đối với các chi tiết làm bằng chất dẻo



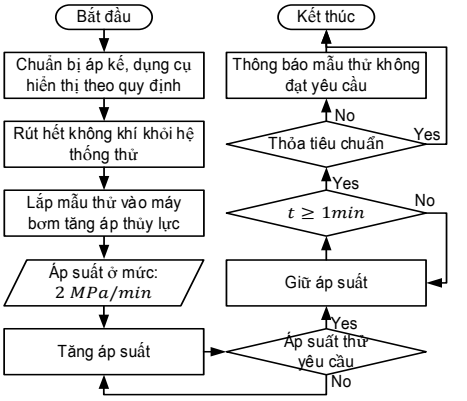
2.27. Thử phơi trong chất chữa cháy



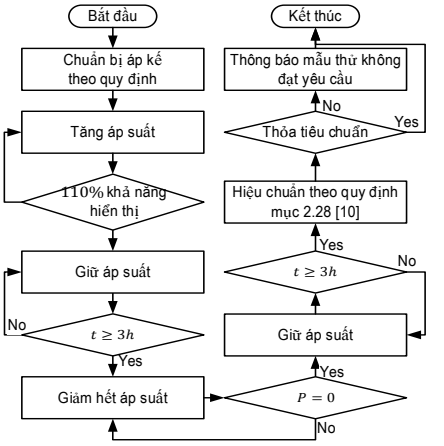
2.28. Thử hiệu chuẩn – Áp kế và dụng cụ chỉ báo



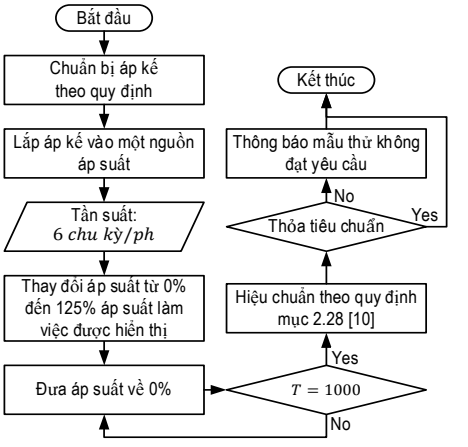
2.29. Thử độ bền chống nổ – Áp kế và dụng cụ chỉ báo



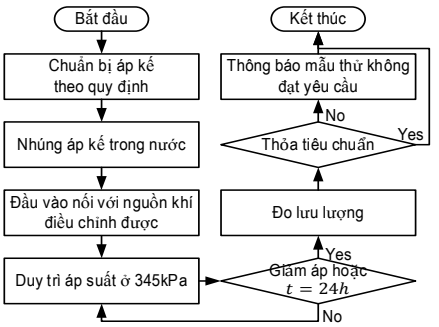
2.30. Thử quá áp – Áp kế



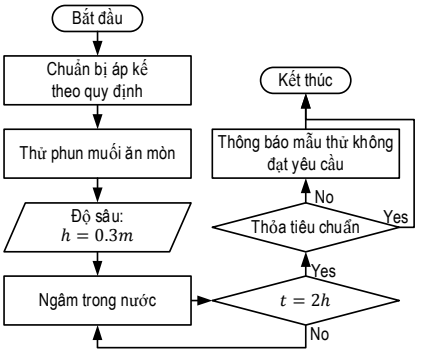
2.31. Thử bằng xung – Áp kế



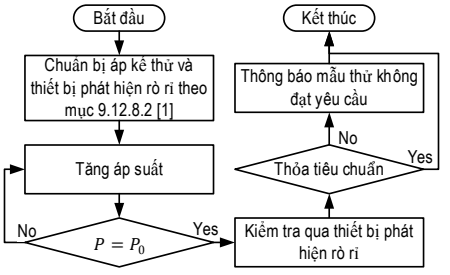
2.32. Thử sự giảm áp – Áp kế



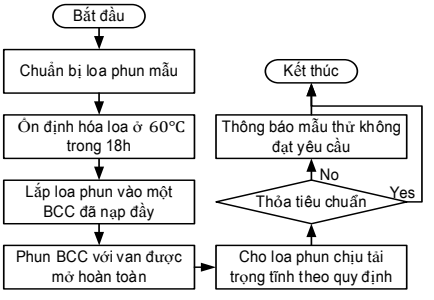
2.33. Thử chịu nước – Áp kế



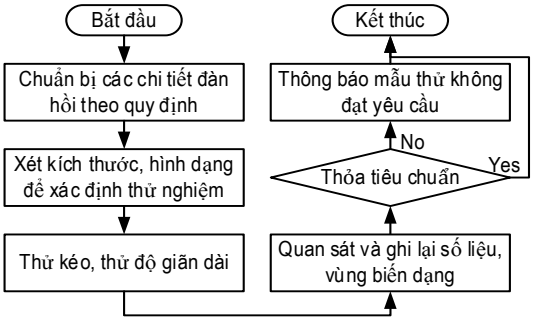
2.34. Thử rò rỉ - Áp kế và dụng cụ chỉ báo



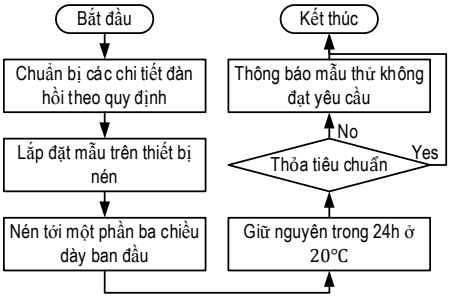
2.35. Thử loa phun – Yêu cầu đặc biệt đối với bình chữa cháy dùng CO_2



2.36. Thử giới hạn bền kéo, độ giãn dài, độ lớn nhất và độ cứng – Yêu cầu đối với đệm kín và vòng chữ O



2.37. Thử nén – Yêu cầu đối với đệm kín và vòng chữ O



3. PHƯƠNG ÁN

Mỗi phép thử đều nhằm kiểm tra ảnh hưởng của các tác động từ yếu tố và môi trường đến độ bền của bình chữa cháy. Trong đó, một số quy trình kiểm nghiệm có tính tương đồng với nhau, một số khác lại có yêu cầu đặc biệt về thiết bị kiểm định. Để tối ưu hóa công năng của các máy kiểm nghiệm và tối ưu hóa quá trình kiểm nghiệm, có thể nhóm các tiêu chí lại như sau:

- Nhóm 1: Gồm các bài (10), (11), (12), (23), (24), (25), (28), (29), (30), (31), (32) và (34). Những bài kiểm tra này đều yêu cầu máy thử có thể tạo ra và duy trì môi trường áp suất

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

với các áp suất và tốc độ tăng áp có thể điều chỉnh được.

- Nhóm 2: Gồm các bài thử (4), (8), (11), (26), (27), (35) và (37). Các bài kiểm tra này yêu cầu test khả năng nén, kéo và thả rơi mẫu thử.

- Nhóm 3: Gồm các bài thử (1), (2), (3), (9), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22) và (35). Những bài thử trong nhóm này có yêu cầu về vận hành bình chữa cháy theo chu kỳ hoặc duy trì vận hành suốt thời gian quy định.

- Nhóm 4: Gồm các bài thử: (6) và (33). Các bài thử yêu cầu có phun muối trung tính CNNS trong thời gian quy định.

- Các bài thử đơn: Bài thử (5) 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 bài thử này.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định đầu báo nhiệt. Tiếp theo phần 1 [5], 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 bình chữa cháy xách tay. 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: **10/3/2024**
Ngày phản biện: **25/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. TCVN 7026:2013; *Chữa cháy – Bình chữa cháy xách tay – Tính năng và cấu tạo.*
[2]. QCVN 03:2021/BCA; Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phương tiện phòng cháy và chữa cháy.
[3]. Xuan Quang Ngo et. al., *Design of mobile manipulator for fire extinguisher testing. Part I: Key specifications and conceptual design,* The 7th Int'l Conference on Advanced Engineering – Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.1-10, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
[4]. Thai Nguyen Chau et. al., *Design of mobile manipulator for fire extinguisher testing. Part II: Design and simulation,* The 7th Int'l Conference on Advanced Engineering – Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.11-20, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
[5]. Đặng Trung Kiên và cộng sự; *Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy. Part 1: Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7026: 2013*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM CREO ĐỂ THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH KHUÔN CHO SẢN PHẨM CÓ REN NGOÀI VÀ REN TRONG

APPLICATION OF CREO SOFTWARE TO DESIGN AND ANALYZE MOLDS FOR PRODUCTS WITH EXTERNAL AND INTERNAL THREADS

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

TÓM TẮT

Trong nội dung bài báo này, chúng tôi trình bày về ứng dụng của phần mềm PTC Creo để thiết kế khuôn cho sản phẩm phức tạp có cả ren ngoài và ren trong đồng thời tiến hành phân tích CAE cho dòng chảy trong khuôn. Kết quả nghiên cứu là các hình ảnh của bộ khuôn sau khi thiết kế kèm theo đó là các biểu đồ liên quan đến nhiệt độ, áp suất. Từ các kết quả phân tích có thể biết được các thông số thích hợp cho việc ép ra sản phẩm, đồng thời dự báo trước được các khuyết tật có thể xảy ra để lên được phương án thiết kế tối ưu nhất.

Từ khóa: *Ren phức tạp; Ren ngoài và ren trong; Phần mềm Creo; Thiết kế khuôn.*

ABSTRACT

In this article, we present the application of PTC Creo software to design molds for complex products with both external and internal threads and conduct CAE analysis for flow in the mold. The results of the study are the images of the mold set after design, accompanied by diagrams related to temperature, pressure, and flow. From the analysis results, it is possible to know the appropriate parameters for product extrusion and predict the possible defects to come up with the most optimal design plan.

Keywords: *Intricate threads; External and internal threads; Creo software; Mold design.*

1. GIỚI THIỆU

1.1. Giới thiệu về công nghệ ép phun

Công nghệ ép phun là một phương pháp gia công phổ biến để tạo ra các sản phẩm từ nhựa. Công nghệ ép phun là một phương pháp gia công phổ biến với nhiều ưu điểm như năng suất cao, độ chính xác cao, tiết kiệm vật liệu. Tuy nhiên, công nghệ này cũng có một số nhược điểm như chi phí đầu tư cao, yêu cầu kỹ thuật cao. Công nghệ ép phun được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như sản xuất đồ gia dụng, linh kiện điện tử, đồ chơi, phụ tùng ô tô, thiết bị y tế.

Quá trình này bao gồm các bước sau: Nhựa nguyên liệu dạng hạt hoặc viên được nung nóng đến trạng thái nóng chảy trong máy ép phun; Tiếp đến nhựa nóng chảy được ép vào khuôn dưới áp suất cao gọi là quá trình ép phun; Và đến quá trình làm mát thì khuôn được làm

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

mát để nhựa đông cứng lại; Sau khi nhựa đông cứng thì sản phẩm được lấy ra khỏi khuôn.

1.2. Phân loại khuôn ép phun

Hiện nay, thị trường gia công khuôn đúc nhựa có rất nhiều loại, điển hình như khuôn 2 tấm, khuôn 3 tấm, khuôn nhiều tầng.

- Khuôn 2 tấm: Khuôn 2 tấm có kết cấu đơn giản được nhiều doanh nghiệp sử dụng. Ưu điểm của loại khuôn này là tiết kiệm được vật liệu do kênh dẫn nhựa ngắn. Tuy nhiên, công đoạn lấy sản phẩm mất thêm một bước để tách riêng sản phẩm vì khi ra khỏi khuôn nó dính liền với kênh dẫn nhựa và cổng nhựa.

- Khuôn 3 tấm: Khuôn 3 tấm khi mở sẽ xuất hiện 2 khoảng trống, một khoảng để lấy sản phẩm, khoảng còn lại để lấy kênh dẫn nhựa. Mẫu khuôn này tốn vật liệu do kênh dẫn nhựa dài.

- Khuôn nhiều tầng: Mẫu khuôn nhiều tầng có 3 cụm khuôn, khuôn giữa thì ở cả hai mặt là lòng khuôn. Khi khuôn mở sẽ tạo ra 2 khoảng trống và cả 2 khoảng đều để sản phẩm rơi ra. Ưu điểm của khuôn này là cho năng suất cao và giảm lực kẹp của máy.

1.3. Một số phần mềm được sử dụng cho việc phân tích khuôn

- Phần mềm PTC Creo: PTC Creo là giải pháp CAD/CAM/CAE toàn diện được phát triển bởi hãng phần mềm nổi tiếng toàn cầu Parametric Technology Corporation (PTC). PTC Creo cung cấp một bộ đầy đủ các khả năng thiết kế (CAD), phân tích (CAE) và sản xuất (CAM).

- Phần mềm Moldflow: Moldflow là một phần mềm của hãng Autodesk. Moldflow có khả năng tích hợp với các phần mềm mô phỏng của Autodesk để tính toán độ bền của sản phẩm sau khi ép nhựa, từ đó gợi ý vị trí đặt miệng phun, vật liệu phù hợp nhất để đảm bảo điều kiện làm việc của sản phẩm.

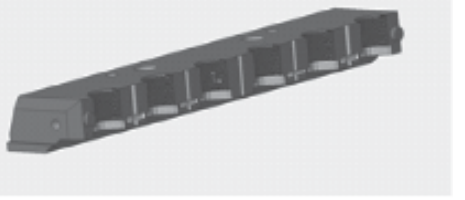
- Phần mềm Moldex3D: Moldex3D có thể giúp thực hiện việc mô phỏng chuyên sâu với phạm vi rộng rãi nhất của các quá trình ép phun và tối ưu hóa thiết kế cũng như chế tạo sản phẩm. Các kết quả mô phỏng có thể hạn chế các khuyết tật, các dạng sai hỏng thường gặp trong quá trình thiết kế khuôn ép nhựa.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ sử dụng các công cụ của phần mềm PTC Creo để thiết kế và phân tích bộ khuôn của sản phẩm có ren ngoài và ren trong, cụ thể là chi tiết lơ nhựa (Hình 1).

Hình 1. Chi tiết lơ nhựa.

2. THIẾT KẾ KHUÔN TRÊN PHẦN MỀM CREO

2.1. Hệ thống con trượt tạo ren ngoài



Hình 2. Con trượt để tạo ren ngoài

2.2. Hệ thống thanh răng bánh răng xoay tạo ren trong

Hệ thống thanh răng bánh răng để tạo ren trong bao gồm các yêu cầu sau:

• Thanh răng không được quá dài vì khi hoạt động có nguy cơ rủi ro bị cấn đụng với sàn hoặc nóc của máy ép phun.

• Cặp bánh răng ăn khớp để tạo ren trong cần thiết kế theo hướng tăng tốc nhằm tiết kiệm được công suất cũng như có lợi về khả năng tải.

Ở đây, sản phẩm có 10 vòng ren trong nên trục để xoay tạo ren trong cần quay 10 vòng.

Thông số của bộ truyền bánh răng bao gồm:

• Module m = 2,5.
• Đường kính vòng chia: d = 37,5 mm.
• Số răng z = 15 răng.

Đối với bánh răng trung gian:

• Module m = 2,5.
• Số răng z = 50 răng.
• Đường kính vòng chia: d = 125 mm.

Tỉ số truyền:

$$u = \frac{50}{15} = 3{,}33$$

Khoảng cách trục:

$$a = m.\frac{(z_1 + z_2)}{2} = 2{,}5.\frac{50 + 15}{2} = 81{,}25\ mm$$

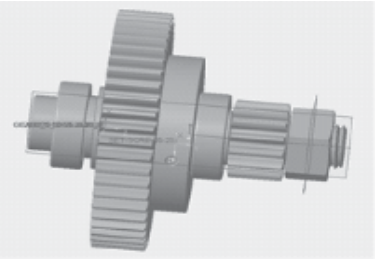
Khi bánh răng nhỏ trên trục trung gian xoay được 1 vòng thì thanh răng sẽ di chuyển được một đoạn đường là:

$$x = \pi.m.z = \pi.2{,}5.15 = 117{,}81\ mm$$

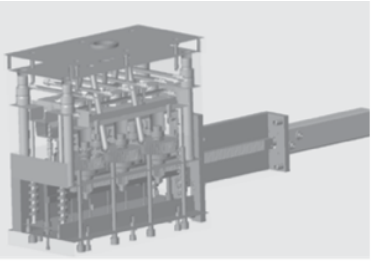
Khi xoay hết 10 vòng ren thì thanh răng sẽ dịch chuyển được một đoạn đường là:

$$x = \frac{10}{3{,}33}.117{,}81 = 353{,}96\ mm$$

Để dẫn động thanh răng thì ta sẽ sử dụng xy-lanh khí nén có hành trình là 375 mm.



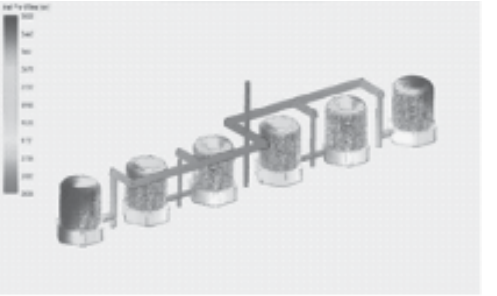
Hình 3a. Trục trung gian cấp nhanh.



Hình 3b. Kết cấu bộ khuôn.

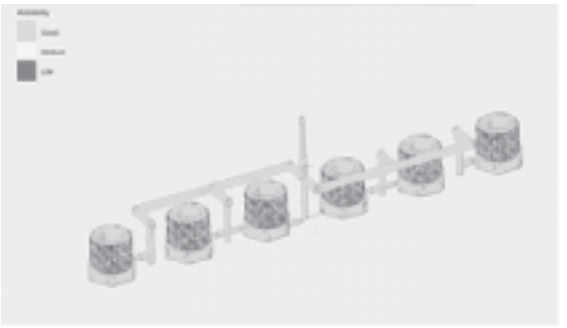
2.3. Phân tích dòng chảy và các thông số liên quan

Thực hiện phân tích trên phần mềm PTC Creo:

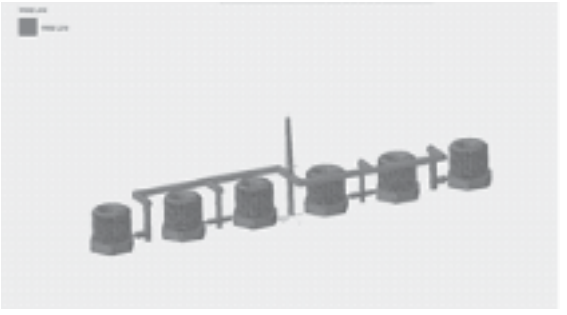


Hình 4a. Thời gian điền đầy.

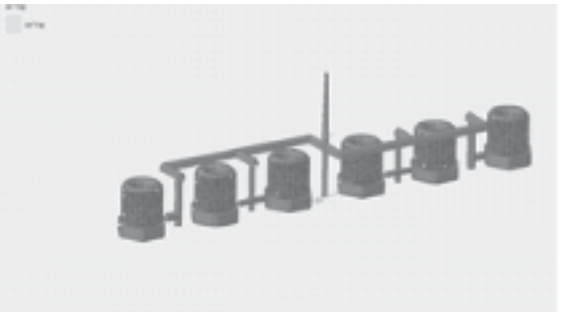
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



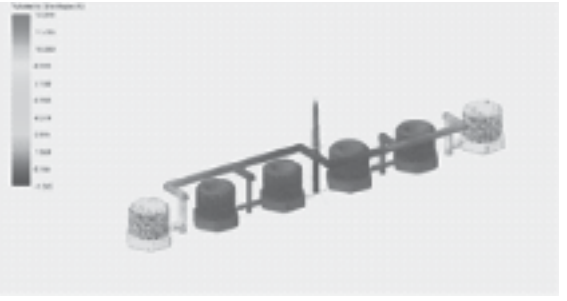
Hình 4b. Khả năng điền đầy của sản phẩm.



Hình 5a. Khuyết tật đường hàn.



Hình 5b. Khuyết tật rỗ khí.



Hình 6a. Sự co rút thể tích.

Hình 6b. Giá trị nhiệt độ tại các vị trí trên sản phẩm.

Nhận xét chung: Từ những kết quả có được về áp suất, nhiệt độ, được kiểm tra bằng phần mềm PTC Creo, ta có thể thấy rằng các kết quả sau khi phân tích cho ta được các thông số liên quan đến bộ khuôn cũng như là dự báo trước được các khuyết tật có thể xảy ra của sản phẩm trong quá trình ép phun. Từ đó, ta có thể điều chỉnh các thông số cho phù hợp và lên phương án thiết kế để có thể hạn chế phế phẩm, giúp tiết kiệm được thời gian và chi phí.

3. KẾT LUẬN

Việc ứng dụng các phần mềm CAE để tính toán và phân tích khuôn ép phun là cần thiết và hiệu quả trong ngành công nghiệp khuôn nhựa hiện nay. Tuy nhiên, cần phải áp dụng đúng phương pháp để đảm bảo tính chính xác, chất lượng và năng suất của quá trình thiết kế. Qua bài báo này, chúng tôi đã trình bày những vấn đề tính toán thiết kế và phân tích khuôn cho sản phẩm có ren phức tạp bằng phần mềm PTC Creo dựa trên những thông số kỹ thuật đã biết. Kết quả của bài báo có thể được sử dụng để nghiên cứu liên quan đến phần mềm PTC Creo để phân tích khuôn.

Một số ưu điểm của việc sử dụng phần mềm CAE bao gồm:

• Tăng độ chính xác và độ tin cậy của thiết kế khuôn. ☞

• Tiết kiệm thời gian và chi phí.

• Tính linh hoạt và dễ dàng thay đổi thiết kế.

Tuy nhiên, việc sử dụng phần mềm CAE cũng có một số hạn chế nhất định:

• Yêu cầu kỹ năng chuyên môn và kiến thức về lĩnh vực khuôn mẫu để sử dụng phần mềm hiệu quả.

• Cần có phần mềm và phần cứng máy tính phù hợp để đáp ứng yêu cầu tính toán và thiết kế.

• Ngoài ra, phần mềm vẫn còn một số hạn chế về mặt phân tích CAE nên cần cân nhắc về việc sử dụng thêm phần mềm phân tích CAE khác để kiểm tra kết quả.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.❖

Ngày nhận bài: **11/4/2024**
Ngày phản biện: **21/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Osayoghoghome Peter Aigbogun, *Comparative Study of Plastic Injection Mould Filling Analysis using ANSYS General-Purpose CFD Software and Specialised Injection Moulding Simulation Software,* International Journal of Engineering Research & Technology, 2022.

[2]. Shakir Azim, Sahar Noor, Rehman Akhtar, *Modeling and Analysis of an Injection MOULD Deploying CREO Parametric and Analysis System*, International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 2016.

[3]. TS. Phạm Minh Sơn, ThS. Trần Minh Thế Uyên; *Giáo trình thiết kế và chế tạo khuôn ép nhựa*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2014.

[4]. Cao Văn Thắng, Lương Đức Tại, Trần Xuân Tiệp, Nguyễn Đức Thịnh, Phạm Việt Tiến Anh, Nguyễn Việt Hùng; *Nghiên cứu thiết kế khuôn và mô phỏng quá trình ép phun sản phẩm thấu kính trong suốt của máy ảnh trên phần mềm NX,* Sinh viên nghiên cứu Khoa học, số 11-2021.

THIẾT KẾ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG CƠ KHÍ VỚI CÁC PHẦN MỀM CAD

DESIGN OF MECHANICAL TRANSMISSION SYSTEMS WITH CAD SOFTWARE

Nguyễn Hữu Lộc, Lê Thúy Anh, Nguyễn Văn Thạnh
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trong nội dung bài báo này, trình bày xu thế phát triển thiết kế cơ khí trong tương lai, trong đó vai trò quan trọng là các nghiên cứu về ứng dụng phần mềm CAD để tính toán thiết kế các chi tiết máy trong các hệ thống truyền động cơ khí. Kết quả nghiên cứu là các bảng thông số tính toán và bản vẽ 2D và mô hình 3D các chi tiết máy. Từ các kết quả tính toán, đảm bảo hệ số an toàn, ta chọn vật liệu thích hợp và xây dựng mô hình 3D, bản vẽ 2D bằng các phần mềm Autodesk Inventor và AutoCAD Mechanical.

Từ khóa: *Chi tiết máy; Hệ thống truyền động; Gear; Phần mềm CAD.*

ABSTRACT

In the content of this article, presenting the development trends of mechanical design in the future, in which the important role is the application of CAD software to calculate the design of machine elements in mechanical transmission systems. Research results are calculation data sheets and 2D drawings and 3D modelings of machine elements and transmission systems. From the calculation results, ensuring the safety factor, we select the appropriate materials and build 3D models, 2D drawings using Autodesk Inventor and AutoCAD Mechanical software.

Keywords: *Machine elements; Transmission system; Gear; CAD software.*

1. GIỚI THIỆU

Thiết kế cơ khí là một lĩnh vực phát triển không ngừng, thích ứng liên tục với công nghệ mới và thay đổi của nhu cầu xã hội. Hiện nay, trong giai đoạn của kỷ nguyên liên tục được thúc đẩy bởi sự đổi mới sáng tạo, các nhà thiết kế phải định hướng theo các xu thế phát triển công nghệ mới, và đang định hình lại tương lai phát triển trong lĩnh vực thiết kế cơ khí. Xu thế này bao gồm [1]:

1) Tự động hóa và trí tuệ nhân tạo (AI);
2) Generative Design;
3) Công nghệ bồi đắp vật liệu (in 3D);
4) Thiết kế bền vững;
5) Thiết kế lấy con người làm trung tâm.

Trong các xu thế trên, các hệ thống CAD/CAE đóng vai trò rất quan trọng và liên tục phát triển theo sự phát triển các công nghệ mới. Thiết kế hỗ trợ máy tính (CAD) là việc sử dụng phần mềm máy tính để hỗ trợ mô hình hóa 3D và bản vẽ 2D, tính toán phân tích, rà soát ☞

kết quả tính toán và lập tài liệu thiết kế. Các giải pháp CAD tiên tiến liên tục phát triển để thích ứng với các xu hướng Generative Design và công nghệ mới hiện nay. Ngày nay, lợi ích của CAD có thể được nâng cao khi gia tăng ứng dụng AI và học máy (machine learning) trong tối ưu hóa thiết kế, phát triển theo hướng đến việc tích hợp thực tế tăng cường (AR) cho trải nghiệm thiết kế ảo và công nghệ chế tạo mới như in 3D. AI có thể tạo ra một giao diện đồ họa thông minh và thay đổi các quy trình thiết kế tẻ nhạt thành những quy trình tinh tế [2]. Xu hướng thiết kế mới là sử dụng các hệ thống CAD thiết kế online. Các hệ thống CAD là các công cụ thiết kế hiện đại, có các đặc điểm nổi bật sau:

- Chính xác và độ tin cậy thiết kế hệ thống cơ khí;

- Năng suất cao do giảm thời gian thiết kế và tính toán;

- Linh hoạt và dễ dàng thay đổi thiết kế, dễ dàng trao đổi dữ liệu với các phần mềm khác.

Hiện nay, trên thế giới đã có hàng ngàn phần mềm CAD trên máy tính cá nhân, ví dụ: AutoCAD, Inventor, Solidworks, Solid Edge, Fusion 360, TurboCAD, SketchUp, PTC Creo, CATIA, Siemens NX…, tuy nhiên trong thiết kế hệ thống truyền động cơ khí và máy thì bộ phần mềm AutoCAD Mechanical và Autodesk Inventor được sử dụng phổ biến. Với lý do đó, từ năm 2011, Hội Cơ học đã sử dụng các bộ phần mềm AutoCAD Mechanical và Autodesk Inventor trong Olympic Cơ học toàn quốc môn "Ứng dụng tin học trong Chi tiết máy" và đến nay đã tổ chức được 11 lần [3].

2. HỆ THỐNG CAD TRONG THIẾT KẾ MÁY

Ngoài phần mềm AutoCAD được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật, trong lĩnh vực cơ khí, ta sử dụng AutoCAD Mechanical. Phần mềm này chuyên dụng cho thiết kế cơ khí, ngoài các tính năng như AutoCAD còn có các công cụ hỗ trợ, thường biểu diễn trên menu Content (Hình 1) [4]:

- Tăng năng suất thiết kế: Hệ thống quản lý lớp thông minh được đặt tên sẵn, được hiệu chỉnh dễ dàng bằng cách chọn và nhấp kép chuột; Các lệnh tạo các đối tượng điển hình trong các bản vẽ cơ khí…;

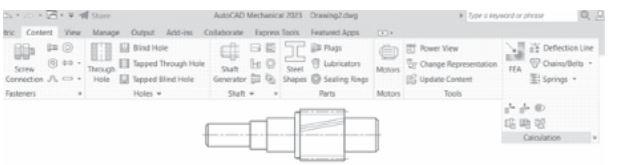
- Cung cấp các công cụ vẽ theo nhiều tiêu chuẩn khác nhau bao gồm thư viện các chi tiết tiêu chuẩn;

- Công cụ ghi kích thước và các yêu cầu kỹ thuật cho các bản vẽ lắp, bản vẽ chi tiết;

- Công cụ tạo bản kê chi tiết, dễ dàng tạo các bản vẽ lắp theo tiêu chuẩn;

- Có các công cụ hỗ trợ tính toán phân tích và mô phỏng: tính trục, mô-men quán tính, mối ghép ren, cơ cấu cam, ổ lăn, trục, phân tích phần tử hữu hạn FEA…;

- Công cụ cho in 3D (lệnh 3Dprint), theo hộp thoại 3D Print Options, là công cụ giúp ta chuẩn bị mô hình 3D phù hợp máy in 3D và vật liệu cụ thể.



Hình 1. Menu Content trên AutoCAD Mechanical

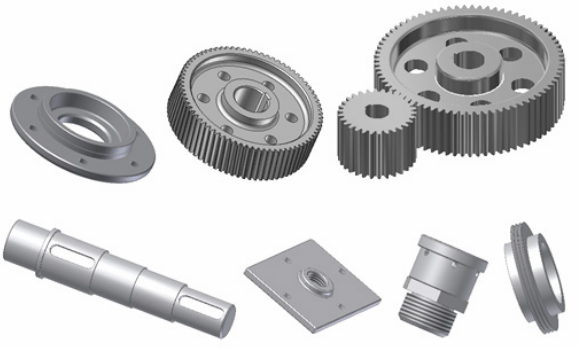
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Do đó, AutoCAD Mechanical là công cụ hỗ trợ thiết kế cho các sản phẩm cơ khí nói chung và hệ thống truyền động cơ khí nói riêng [3].

Autodesk Inventor là một trong những bộ phần mềm chuyên nghiệp của hãng Autodesk. Autodesk Inventor không những tăng khả năng, năng suất thiết kế mà còn tối ưu quá trình thiết kế bằng việc tạo mối liên kết giữa mô hình 3D và bản vẽ 2D. Các dữ liệu mô hình 3D của Autodesk Inventor dễ dàng chuyển sang các hệ thống CAE và CAM khác. Các ứng dụng chính Autodesk Inventor [5, 6]:

1) Mô hình 3D chi tiết (Part Modeling):

Là môi trường mô hình hóa chi tiết 3D (Hình 2) bằng các công cụ của phần mềm. Khi thiết kế chi tiết, ta sử dụng ràng buộc hình học và ràng buộc kích thước cho các biên dạng, là cơ sở thiết kế mô hình theo tham số. Trong môi trường này, ta có thể thiết kế kim loại tấm (sheet metal) và phân tích ứng suất chi tiết (stress analysis).



Hình 2. Mô hình 3D chi tiết [5]

2) Mô hình lắp ráp (Assembly Modeling):

Là môi trường để lắp ráp các chi tiết đã mô hình hóa trong Part Modeling thành các cụm lắp ráp hoặc kết cấu máy hoàn chỉnh. Những cơ cấu, kết cấu phức tạp được lắp ráp dễ dàng trong môi trường Autodesk Inventor, sử dụng các ràng buộc lắp ráp thông minh. Các ràng buộc lắp ráp duy trì vị trí của các thành phần so với nhau trong một lắp ráp. Sử dụng lệnh Assemble để tạo các ràng buộc bằng cách chọn hình học trước và sau đó chọn kiểu ràng buộc. Hình học bạn chọn xác định loại ràng buộc có sẵn. Ta chỉ có thể hạn chế một thành phần tại một thời điểm với Assemble. Các ràng buộc lắp ráp thiết lập định hướng của các chi tiết trong mô hình lắp và mô phỏng các mối quan hệ cơ học giữa các thành phần. Ví dụ, ta có thể:

- Ràng buộc hai mặt đồng phẳng;
- Ràng buộc đồng trục hai mặt trụ tròn;
- Ràng buộc tiếp xúc giữa hai mặt cầu.

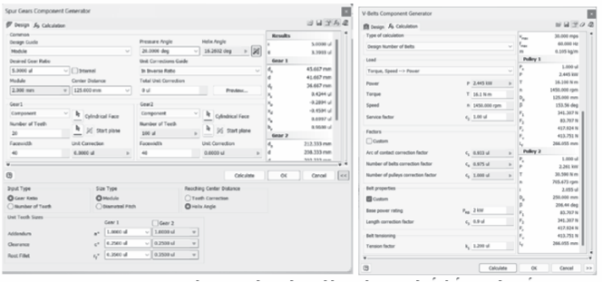
Mỗi lần cập nhật lắp ráp, các ràng buộc lắp ráp sẽ được thực hiện lại. Có các loại ràng buộc khác nhau trong tab Assembly: Mate, Angle, Tangent, Insert và Motion (rotation-rotation, rotation-translation).

Các chi tiết lắp ráp có thể được tạo trong cùng một bản vẽ hoặc có thể nhập từ các bản vẽ khác. Quá trình lắp được thể hiện rõ ràng, trực quan trên môi trường Autodesk Inventor và có thể mô phỏng lắp ráp trên Presentation.

3) Xuất bản vẽ 2D từ mô hình 3D: Tạo bản vẽ kỹ thuật 2D từ mô hình 3D solid, kim loại tấm, lắp ráp và trình diễn lắp ráp… một cách nhanh chóng, chuẩn xác. File bản vẽ vẫn giữ sự liên kết với các file gốc, tuy nhiên bản vẽ 2D cần phải hiệu chỉnh phù hợp các tiêu chuẩn hiện hành và công việc này tốn nhiều thời gian. Tạo bản vẽ kỹ thuật phụ thuộc vào hệ thống chiếu: hệ thống A (góc chiếu thứ ba) hoặc hệ thống E (góc chiếu thứ nhất). Bản vẽ của các hình cắt, hình chiếu riêng phần, đến bản vẽ lắp ☞

tạo bảng kê cho vật liệu, đánh số vị trí cho các chi tiết lắp, thêm kích thước, các ký hiệu liên quan về độ nhám, dung sai hình dạng và kích thước…

4) Tính toán thiết kế chi tiết máy: Trong môi trường này bao gồm: Design – tính toán và mô hình hóa các chi tiết máy (Hình 3), các chi tiết ghép… và Wedment Assembly – lắp các chi tiết bằng mối ghép hàn và Frame Generator để tạo kết cấu khung, bao gồm hầu hết các dạng thép định hình tiêu chuẩn và tính toán khung giàn. Ngoài ra, trong phần này còn có cả phân tích dung sai (Tolerance Analysis).



Hình 3. Các hộp thoại khi tính toán thiết kế các chi tiết máy

5) Mô phỏng động học, động lực học cơ cấu:

Kỹ thuật mô hình hóa lắp ráp cũng là một đặc tính quan trọng của Autodesk Inventor. Từ Autodesk Inventor 11 bao gồm cả Dynamic Simulation cho phép mô phỏng động học và động lực học.

6) Phân tích ứng suất, tối ưu hóa sản phẩm:

Sử dụng phân tích trong phần mềm Inventor cho phép ta biết được trường ứng suất và biến dạng trong chi tiết dưới tác dụng của các loại tải trọng khác nhau (lực tập trung, lực phân bố, mô-men, thể tích…), ngoài ra còn phân tích dao động. Phần mô phỏng chuyển động tích hợp với phân tích ứng suất (Dynamic and Stress Analysis) được dùng để mô phỏng và dự đoán trước ứng xử của thiết kế đối với các tác động vật lý trong môi trường thực, nhờ đó tối ưu kết cấu cần thiết kế.

7) Thiết kế sản phẩm nhựa và làm khuôn (Mold design): Được tích hợp phần mềm Moldflow chuyên dùng cho phân tích tính toán toàn bộ hệ thống khuôn, đạt độ chính xác cao, phân tích sản phẩm nhựa đa vật liệu, phân tích quá trình ép phun, tương tác biến đổi trường nhiệt độ của sản phẩm và toàn bộ hệ thống khuôn.

8) Lập trình gia công cơ khí: Đầu năm 2014, hãng Autodesk phát triển một công cụ CAM là Inventor HSM. Đây là giải pháp về CAM cho Inventor, và sau đó phát triển thành Inventor CAM với phiên bản mới nhất là 2025, được tích hợp hoàn toàn trong Autodesk Inventor và với đầy đủ đường chạy dao.

Ngoài ra, Autodesk Inventor còn có các chức năng đặc biệt như thiết kế hệ thống đường ống, thiết kế hệ thống điện – điện tử... cho phép sử dụng một thư viện các loại đường ống, dây điện và cáp điện để thiết kế hệ thống đường ống, chạy dây với bán kính uốn phù hợp trong các thiết kế điện.

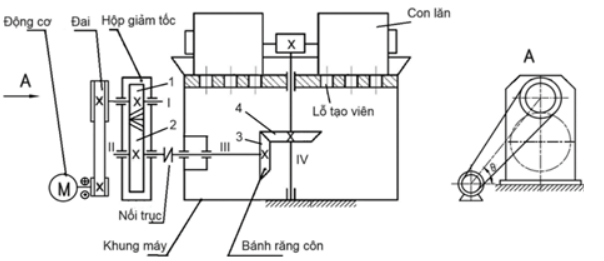
Từ Inventor 2016 phát triển AnyCAD cho phép người sử dụng có thể mở và kết nối dữ liệu với các định dạng 3D khác, cho phép nhập và làm việc với file bản vẽ 2D trong môi trường part, assembly và drawing. AnyCAD là công cụ hỗ trợ mạnh để giúp ta tiết kiệm thời gian và nâng cao hiệu suất làm việc trong quá trình thiết kế.

Do đó, Autodesk Inventor và AutoCAD Mechanical là những phần mềm phổ biến nhất dùng để thiết kế sản phẩm cơ khí, đặc biệt là thiết kế máy. Các phiên bản mới nhất hiện nay là Autodesk Inventor 2025 và AutoCAD Mechanical 2025.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. ỨNG DỤNG HỆ THỐNG CAD TRONG THIẾT KẾ MÁY

Trong mục này giới thiệu ứng dụng Autodesk Inventor và AutoCAD Mechanical trong thiết kế hệ thống truyền động cơ khí của máy. Ví dụ thiết kế Hệ thống dẫn động máy tạo viên thức ăn gia súc như Hình 4 gồm: Động cơ, bộ truyền đai thang (tỉ số truyền $u_{đai} = 2$, góc nghiêng $\theta = 45°$), hộp giảm tốc 1 cấp bánh răng nghiêng 1-2 (tỉ số truyền $u_{12} = 5$), nối trục đàn hồi, khung máy, bộ truyền bánh răng côn hở 3-4 (tỉ số truyền $u_{34} = 2$) và con lăn ép tạo viên [7].



Hình 4. Sơ đồ động máy tạo viên thức ăn gia súc.

Máy làm việc hai ca, 1 năm làm việc 300 ngày, 1 ca làm việc 8 giờ. Tải trọng xem như không đổi. Thời gian phục vụ $L_a = 7$ năm. Cấp chính xác các cặp bánh răng 7. Thông số kỹ thuật cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật

Thông số	Trục				
	Động cơ	I	II	III	IV
Tỉ số truyền u	$u_{đai} = 2$	$u_{12} = 5$		1	$u_{34} = 2$
Số vòng quay n, rpm	1450	725	145	145	72,5
Mô men xoắn T, Nm	16,1	30,7	147,5	141,6	253,4

Với bảng thông số kỹ thuật trên, ta thiết kế bộ truyền bánh răng trụ răng nghiêng, bộ truyền bánh răng côn, bộ truyền đai, tính các trục, chọn then và ổ lăn.

Sau khi tính toán thiết kế, thỏa mãn các yêu cầu thiết kế trên Autodesk Inventor và với thông số kỹ thuật như Bảng 1, ta thu được các kết quả như Bảng 2 đến Bảng 6.

Bảng 2. Kết quả thiết kế bộ truyền bánh răng trụ răng nghiêng

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Khoảng cách trục a_w, mm	125	Mô-đun pháp m, mm	2
Số răng bánh dẫn z_1	20	Số răng bánh bị dẫn z_2	100
Góc nghiêng răng, độ	16,26	Đường kính vòng chia:	
Chiều rộng vành răng: - Bánh dẫn $b_{1,}$ mm; - Bánh bị dẫn $b_{2,}$ mm	40 40	Bánh dẫn d_1, mm Bánh bị dẫn d_2, mm	41,67 298,33
Vận tốc vòng v, m/s	1,582	Lực vòng (tiếp tuyến) F_{t1}, N	1473,60
Lực hướng tâm F_{r1}, N	558,69	Lực dọc trục F_{a1}, N	429,80

Hệ số an toàn theo độ bền tiếp xúc $S_H = 1,204$ theo độ bền uốn $S_F = 3,992$ và hệ số chiều rộng vành răng $\psi_{ba} = b/a = 0,32$ đều thỏa các yêu cầu.

Bảng 3. Kết quả thiết kế bộ truyền bánh răng côn

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Mô-đun vòng chia ngoài m_e, mm	3	Góc mặt côn chia bánh dẫn δ_3, độ	26,56
Số răng bánh dẫn z_4	20	Số răng bánh bị dẫn z_4	40
Chiều rộng vành răng b, mm	20	Đường kính vòng chia ngoài: Bánh dẫn d_{e3}, mm Bánh bị dẫn d_{e4}, mm	 60 120
Vận tốc vòng v, m/s	0,38	Lực vòng (tiếp tuyến) $_{Ft3}$, N	5546,88
Lực hướng tâm F_{r3}, N	1805,76	Lực dọc trục F_{a3}, N	902,88

Hệ số an toàn theo độ bền uốn bánh dẫn $S_F = 1,301$ và hệ số chiều rộng vành răng $\psi_{be} = b/R_e = 0,2981$ đều thỏa các yêu cầu.

Bảng 4. Kết quả tính toán thiết kế bộ truyền đai thang

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Tiết diện đai (size)	DIN 13x1120	Vận tốc đai, m/s	9,49
Đường kính bánh bị dẫn d_2, mm	250	Lực căng đai ban đầu, N	106,25
Số dây đai z	2	Lực tác dụng lên trục, N	417,92
Chiều dài đai, mm	1120	Lực vòng có ích, N	257,60
Góc ôm đai bánh dẫn, độ	153,56	Lực trên nhánh căng, N	341,31
Chiều rộng bánh đai dẫn, mm	35	Lực trên nhánh chùng, N	83,71

Để tính trục, ta lấy kết quả lực từ tính toán thiết kế bộ truyền bánh răng và bộ truyền đai. Sau đó, ta tính sơ bộ đường kính các đoạn đầu trục I và II:

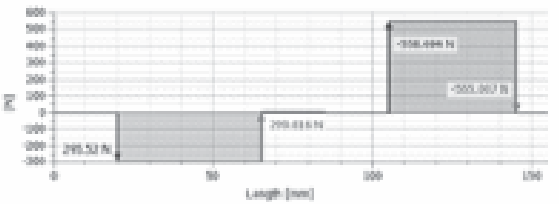
$d_{1I} = 10\sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}} = 18,44$ mm; chọn $d_{1I} = 20$ mm và trục II: $d_{1II} = 31,11$ mm; chọn $d_{1II} = 32$ mm.

Bảng 5. Bảng kích thước phác thảo các đoạn trục

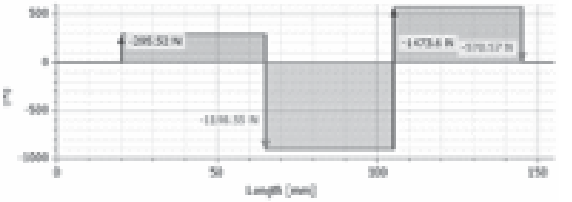
	Kích thước d_i - đường kính, l_i - chiều dài các đoạn trục, mm								
Kích thước trục I	$d_1 \times l_1$	$d_2 \times l_2$	$d_3 \times l_3$	$d_4 \times l_4$	$d_5 \times l_5$	$d_6 \times l_6$	$d_7 \times l_7$	...	...
Giá trị, mm	20x40	25x15	30x25	40x5	35x40	30x30			
Kích thước trục II	$d_1 \times l_1$	$d_2 \times l_2$	d3 x l3	$d_4 \times l_{24}$	$d_5 \times l_5$	$d_6 \times l_6$	$d_7 \times l_7$		
Giá trị, mm	40x30	45x40	50x5	40x25	35x15	32x40			

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Ta có thể sử dụng AutoCAD Mechanical hoặc Autodesk Inventor để tính trục. Kết quả tính trên Autodesk Inventor cho các biểu đồ như các Hình 5 và Hình 6 và giá trị trong Bảng 6.

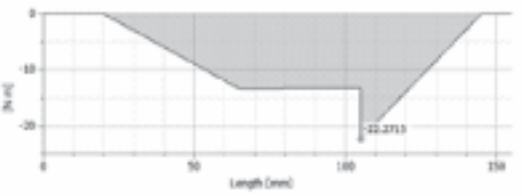


a) Biểu đồ lực trên YZ plane

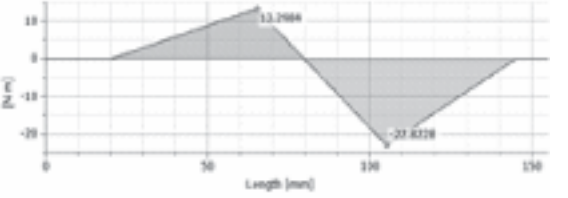


b) Biểu đồ lực trên XZ plane

Hình 5. Biểu đồ lực



a) Mô-men uốn trên YZ Plane



b) Mô-men uốn XZ Plane

Hình 6. Biểu đồ mô-men uốn

Bảng 6. Kết quả tính mô-men

Vị trí	Mô-men uốn M_X, Nm	Mô-men uốn M_Y, Nm	Mô-men xoắn T, Nm	Mô-men tương đương, Nm
Vị trí A	13,292	13,298	30,7	32,564
Vị trí B	0	0	0	0
Vị trí D	22,276	22,823	30,7	41,518

Ứng suất lớn nhất: 35,565 MPa; Đường kính tại vị trị trí nguy hiểm nhất: 17,84 mm, d_{max} = 20,27 mm.

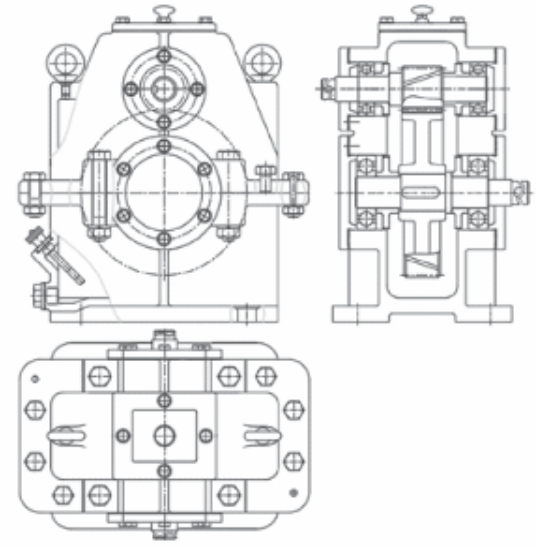
Trên Autodesk Inventor, ta chọn then và ổ lăn cho trục I có kết quả như sau:

- Kích thước then: 6 x 6 x 32 mm;

- Ký hiệu và kích thước ổ lăn: 6206 d x D x B = 30 x 62 x 16.

Theo các kết quả tính toán, ta thực hiện mô hình hóa 3D các chi tiết tạo mô hình lắp 3D và tạo các bản vẽ 2D từ mô hình 3D và hiệu chỉnh phù hợp các tiêu chuẩn. Ngoài ra, theo kết quả tính toán thiết kế, ta có thể tạo các bản vẽ 2D trên AutoCAD Mechanical với việc sử dụng các công cụ vẽ và thư viện các chi tiết máy một cách nhanh chóng. Ví dụ, Hình 7 là bản vẽ phác 2D hình chiếu cạnh hộp giảm tốc 1 cấp của hệ thống truyền động (Hình 4) được thực hiện trên AutoCAD Mechanical. Bản vẽ hình chiếu cạnh bao gồm: 2 trục có then nằm trong mặt phẳng thẳng đứng, cặp bánh răng, chèn 2 cặp ổ lắp trên cấp nhanh và cấp chậm, ☞

ngoài ra vẽ các chi tiết khác để hoàn chỉnh bản vẽ phác hình chiếu này.



Hình 7. Bản vẽ phác hình chiếu cạnh hộp giảm tốc

4. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Việc ứng dụng các phần mềm CAD để tính toán và thiết kế hệ thống truyền động cơ khí là cần thiết và hiệu quả. Qua bài này, nhóm nghiên cứu đã trình bày những vấn đề tính toán liên quan đến hệ thống truyền động cơ khí sử dụng phần mềm Autodesk Inventor và AutoCAD Mechanical. Một số ưu điểm của việc sử dụng phần mềm CAD bao gồm: chính xác cao, năng suất cao, linh hoạt và dễ thay đổi thiết kế. Tuy nhiên, việc sử dụng phần mềm CAD cũng có một số hạn chế nhất định: yêu cầu kiến thức chuyên môn về lĩnh vực thiết kế để sử dụng phần mềm hiệu quả, cần có bản quyền phần mềm và trang bị phần cứng máy tính phù hợp để đáp ứng yêu cầu tính toán và thiết kế. Việc lựa chọn bộ phần mềm AutoCAD Mechanical và Autodesk Inventor trong đào tạo giúp sinh viên nâng cao kiến thức chuyên môn về lĩnh vực thiết kế, giúp các em tiếp cận và sử dụng thành thạo các phần mềm CAD hiện đại và tạo tinh thần hứng khởi trong học tập, để sau khi ra trường áp dụng ngay vào thực tế trong lĩnh vực thiết kế kỹ thuật nói chung và kỹ thuật cơ khí nói riêng.

Với việc sử dụng các hệ thống CAD lĩnh vực thiết kế cơ khí có rất nhiều cơ hội cho các nhà thiết kế sáng tạo, đổi mới và có kỹ năng giải quyết vấn đề mạnh mẽ [6]. Ngoài ra, việc nắm vững các hệ thống CAD này đóng một vai trò quan trọng và giúp nhà thiết kế tiếp cận nhanh xu thế phát triển và đổi mới ở tương lai trong lĩnh vực thiết kế cơ khí.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **16/4/2024**
Ngày phản biện: **21/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. The Future of Mechanical Design: *Trends to Watch* (isopara.com), https://isopara.com/mechanical-blogs/future-of-mechanical-design-trends-to-watch
[2]. *Best mechanical engineering design software in 2024* (sculpteo.com).
[3]. Nguyễn Hữu Lộc, Lê Văn Uyển; *Chi tiết máy và Ứng dụng tin học trong Chi tiết máy,* 2014. NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2016.
[4]. Nguyễn Hữu Lộc; *Thiết kế cơ khí với AutoCAD Mechanical,* NXB. TP. Hồ Chí Minh, 2007.
[5]. Nguyễn Hữu Lộc (2023); *Giáo trình mô hình hóa hình học*. NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
[6]. Nguyễn Hữu Lộc (2021); *Thiết kế máy và chi tiết máy*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
[7]. Hội Cơ học Việt Nam (2024); *Kỷ yếu Olympic Cơ học toàn quốc 2024*. NXB. Đại học Bách khoa Hà Nội.

THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ KẾT CẤU SÀN RUNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG THU GOM RÁC CHO XE QUÉT RÁC TỰ ĐỘNG PHỤC VỤ TRONG KHUÔN VIÊN TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT VĨNH LONG

EXPERIENCE TO DETERMINATE THE EFFECT OF SOME STRUCTURAL VIBRATION FLOORING PARAMETERS ON WASTE COLLECTION QUALITY FOR AUTOMATIC SWEEPER TRUCK SERVING ON THE CAMPUS OF VINH LONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY EDUCATION

Trần Hữu Danh
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

TÓM TẮT

Bài báo tiến hành thử nghiệm trên sàng rung để khảo sát ảnh hưởng của một số thông số: góc nghiêng sàng (α), khoảng cách giữa 2 tâm lỗ sàng (L) và số vòng quay động cơ rung (n) của cơ cấu sàng rung đến chất lượng thu gom rác, sau đó quy hoạch thực nghiệm bằng phương pháp Box-Behnken và sử dụng phần mềm Minitab xử lý số liệu, giải bài toán tối ưu để xác định các thông số α, L, n hợp lý để đạt được chất lượng thu gom rác là lớn nhất. Kết quả đạt được của bài báo có thể làm số liệu tham khảo trong tính toán, thiết kế và chế tạo nhằm hoàn thiện cơ cấu thu gom và phân loại rác cho xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật (SPKT) Vĩnh Long.

Từ khóa: *Xe quét rác; Sàn rung; Góc nghiêng sàng; Động cơ rung.*

ABSTRACT

The article conducts a test on a vibrating sieve to investigate the influence of a number of parameters: the sieve tilt angle (α), the distance between the two sieve hole centers (L) and the number of revolutions of the vibrating motor (n) of the sieve mechanism. to determine the quality of garbage collection, then experimentally plan by Box-Behnken method and use Minitab software to process data, solve optimization problems to determine reasonable parameters (α), L, n to achieve the highest garbage collection quality. The obtained results of the paper can serve as reference data in the calculation, design and manufacture to complete the garbage collection and classification structure for the automatic sweeper truck serving on the campus of Vinh Long University of Technology Education.

Keywords: *Sweeper truck; Main sweeper chain; Conveyor belt; Vibrating floor.*

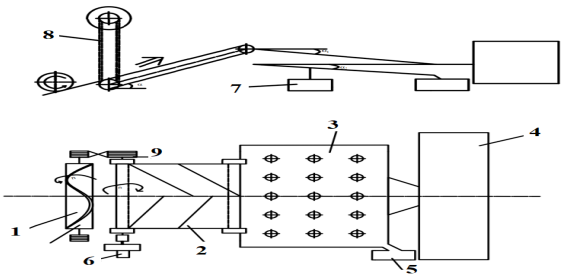
1. GIỚI THIỆU

Tổng quan tìm hiểu về các công trình nghiên cứu khoa học trong và ngoài nước, nhận thấy phần lớn các xe quét rác do nước ngoài chế tạo thường là quét và hút lọc bụi, hoặc quét xong đưa lên băng tải mang đến thùng chứa rác, tự đổ rác bằng tay hoặc đổ rác tự động chứ không có cơ cấu sàng rung phân loại rác. Trong nước chưa có một công trình hay đề tài khoa học nào nghiên cứu về thiết kế, chế tạo hoàn chỉnh xe quét rác có thể ứng dụng vào thực tế quét – thu gom rác, mà chỉ có một vài phát minh tự chế với một số mô hình đơn giản, hoặc mới chỉ nghiên cứu thiết kế mà chưa có một cá nhân hay tổ chức doanh nghiệp nào có thể tự chế tạo được xe quét rác hoàn toàn bằng công nghệ sản xuất và lắp ráp trong nước nên việc nghiên cứu chế tạo cơ cấu sàn rung phân loại rác của tác giả còn khá mới mẻ cần được nghiên cứu chế tạo, hướng tới làm chủ khả năng công nghệ chế tạo xe quét rác trong nước, góp phần vào sự phát triển chung của đất nước.

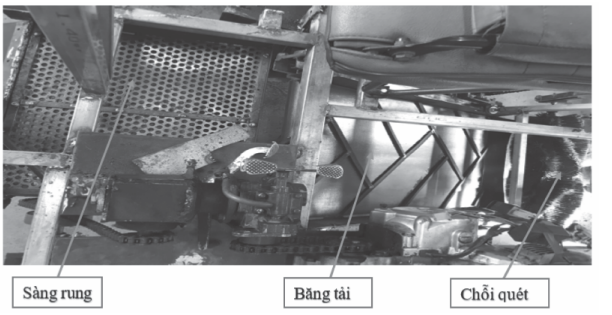
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Sơ đồ nguyên lý cơ cấu thu gom và tự động phân loại rác

Rác được chổi chính cuộn lên băng tải, chuyển lên phía trên băng tải rồi qua cơ cấu sàng rung. Tại đây, sàng rung sẽ phân loại rác theo kích thước định sẵn loại rác nhờ động cơ rung để những loại rác có kích thước nhỏ lọt qua lỗ sàng đến thùng chứa thứ nhất, rác lớn còn lại qua thùng chứa thứ 2.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý cơ cấu:
1 - Chổi quét chính; 2 - Băng tải; 3 - Sàng rung; 4 - Thùng rác lớn; 5 - Thùng rác nhỏ; 6 - Động cơ băng tải; 7 - Động cơ rung; 8 - Xích; 9 - Đai.



Hình 2. Chế tạo và lắp ghép hoàn chỉnh

2.2. Thử nghiệm và kết quả đạt được

Thử nghiệm nhằm mục đích khảo sát để xác định ảnh hưởng của các thông số: góc nghiêng sàng α = 5, 10, 15 (độ), khoảng cách giữa hai tâm lỗ (Φ10) trên sàng L = 15, 18, 20 (mm), Tốc độ quay của động cơ rung n_1 = 3000 (vòng/phút); n_2 = 3300 (vòng/phút); n_3 = 3600 (vòng/phút) ảnh hưởng tới chất lượng thu gom rác (tỉ lệ %). Thông số cần đạt được gồm: Tỉ lệ (%) rác có kích thước nhỏ hơn 10mm (R_1) và Tỉ lệ (%) rác có kích thước lớn hơn 10mm (R_2) sau khi 100% rác ban đầu được chuyển đến sàng phân loại rác.

Mô hình thử nghiệm để xác định được tỉ lệ (%) rác thu được sau sàng phân loại sau khi chổi chính quét rác đưa lên băng tải mang rác đến sàng phân loại và đưa vào hai thùng chứa rác.

Hình 3. Mô hình thử nghiệm

Quy hoạch, xử lý số liệu thực nghiệm và giải bài toán tối ưu để xác định α, L, n hợp lý.

Bảng 1. Bố trí thí nghiệm theo mô hình Box-Behnken

STT	α	L	n	N_1 (%)			N_2 (%)		
				1	2	3	1	2	3
1	5	15	3300	72.2	74.6	70.6	74.6	75.1	73.6
2	15	15	3300	69.2	70.3	73.5	70.3	71.5	66.5
3	5	21	3300	62.4	67.2	64.1	67.2	68.2	63.2
4	15	21	3300	52.5	53.2	51.4	53.2	54.2	50.4
5	5	18	3000	83.8	85.2	81.1	85.2	86.2	82.1
6	15	18	3000	59.6	60.2	61.4	60.2	61.2	63.4
7	5	18	3600	79.5	80.5	81.6	80.5	82.5	81.2
8	15	18	3600	64.2	63.5	62.2	63.5	64.3	61.2
9	10	15	3000	85.4	86.2	84.6	86.2	87.3	84.2
10	10	21	3000	64.5	65.2	66.8	65.2	67.3	65.6
11	10	15	3600	79.5	80.2	78.3	80.2	82.2	80.3
12	10	21	3600	60.6	58.7	59.5	58.7	60.7	64.5
13	10	18	3300	89.3	90.5	91.2	90.5	89.8	91.2
14	10	18	3300	90.5	91.1	89.3	91.1	91.3	89.3
15	10	18	3300	90.1	89.4	91.3	89.4	90.4	92.3

2.2.1. Tỷ lệ phần trăm rác có kích thước nhỏ hơn 10 mm: R_1 (%)

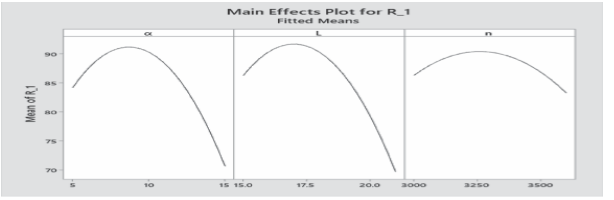
Kết quả phân tích phương trình hồi quy, phân tích phương sai (ANOVA), tiến hành đánh giá các thông số R2, R2-(adj) và R2-(pred) của phương trình hồi quy m.

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.55138	93.10%	91.79%	89.09%

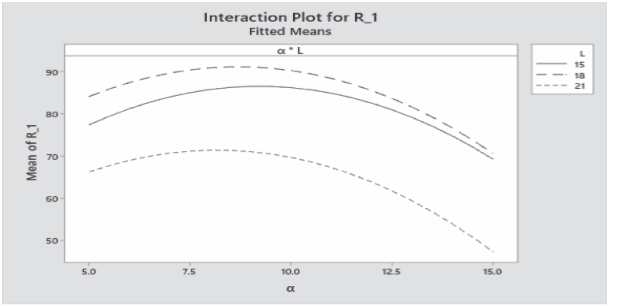
Nhận thấy ba thông số này đều lớn hơn 85%, từ đó phương trình tìm được khá phù hợp để mô tả dữ liệu thực nghiệm. Phương trình hồi quy dưới dạng tự nhiên có dạng:

$$R_1 = -1026 + 12.18\alpha + 48.32L + 0.3999n - 0.5152a^2 - 1.369L^2 - 0.000061n^2 - 0.1789\alpha L$$

Ảnh hưởng của các thông số đầu vào lên nhân tố đầu ra bằng các biểu đồ Factorial Plot:



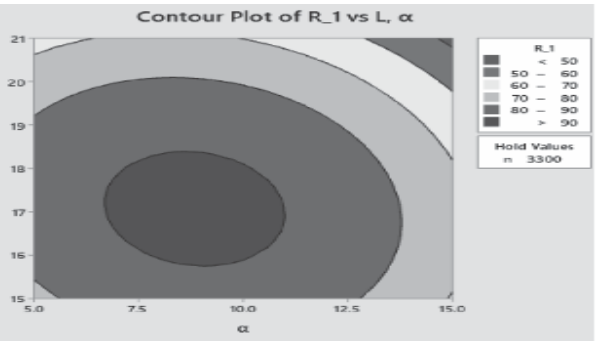
Hình 4. Đồ thị phân tích ảnh hưởng thông số α, L, n của R_1



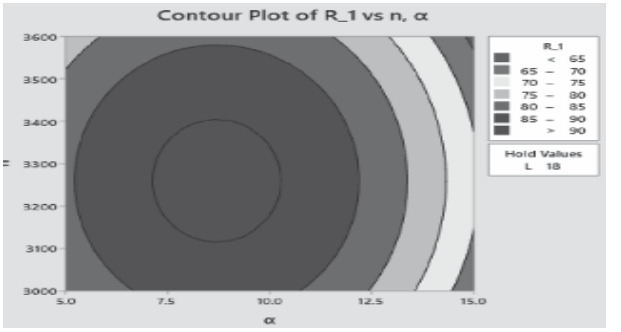
Hình 5. Đồ thị ảnh hưởng thông số L với α của R_1

Kết quả nhận thấy hình 4 khi tăng lần lượt ba thông số: α, L (ϕ10), n, thì R1 (%) thu được biến đổi theo dạng đường thẳng Hypepol và đạt khoảng từ 90-95% ở giá trị α = 7-10 (độ), L (ϕ10) trên sàng L = 16-18 (mm), n = 3100-3300 (vòng/phút). Tương tự khi biến đổi đồng thời hai thông số α và L (ϕ10) trên sàng L (Hình 5).

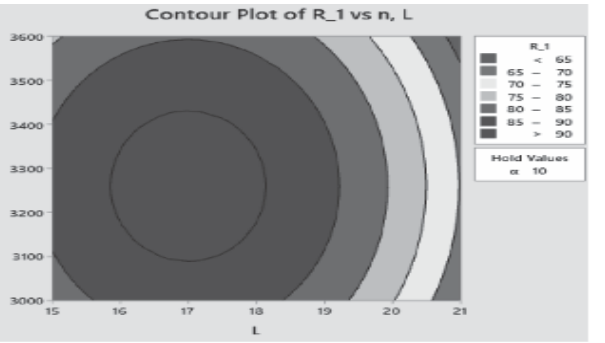
Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của các thông số đầu vào lên nhân tố đầu ra:



Hình 6. Biểu đồ ảnh hưởng L, α khi n = 3300 của R_1

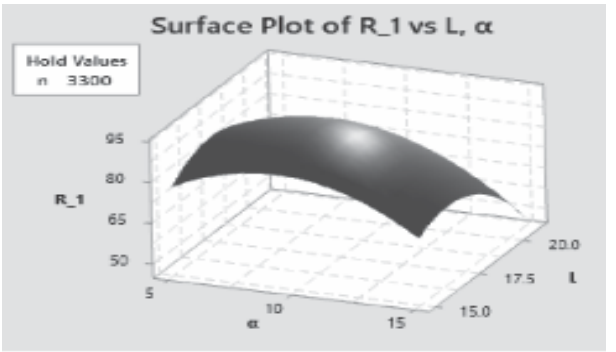


Hình 7. Biểu đồ ảnh hưởng n, α khi L = 18 của R_1

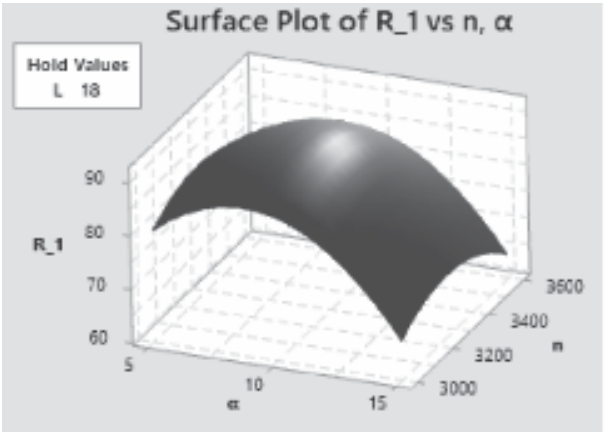


Hình 8. Biểu đồ ảnh hưởng n, L khi α = 10 của R_1

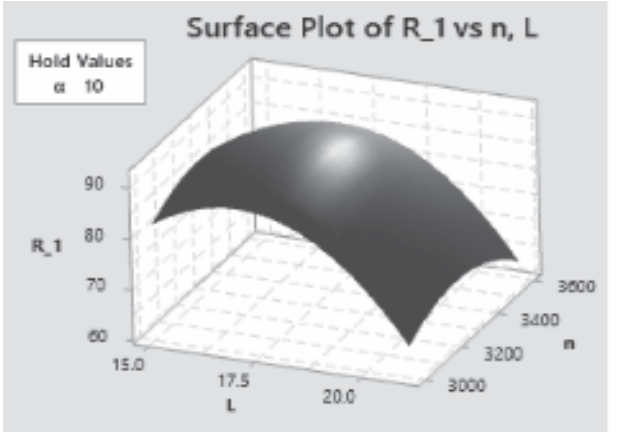
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 9. Biểu đồ Surface khi n = 3300 của R_1



Hình 10. Biểu đồ Surface khi L = 18 của R_1



Hình 11. Biểu đồ Surface khi α = 10 của R_1

Từ hình 6 có thể thấy R1 (%) thu được thấp nhất (<50%) khi L = 20-21 (mm) và α = 13-15 (độ), còn R1 (%) đạt cao nhất (>90%) khi L = 16-18 (mm) và α = 7-10 (độ); Từ hình 7 có thể thấy R1 (%) thu được thấp nhất (<65%) khi n = 3400-3600, 3000-3100 (vòng/phút) và α = 13-15 (độ), còn R1 (%) thu được cao nhất (>90%) khi n = 3150-3350 (vòng/phút) và α = (7-10 (độ); Từ hình 8 có thể thấy R1 (%) thu được thấp nhất (<65%) khi n = 3400-3600, 3000-3100 (vòng/phút) và L = 20,5-21 (mm), R1 (%) thu được cao nhất (>90%) khi n = 3150-3350 (vòng/phút) và L= 16-18 (mm).

2.2.2. Tỉ lệ phần trăm rác có kích thước lớn hơn 10 mm: R2 (%)

Tương tự, ta tiến hành phân tích dữ liệu thực nghiệm với nhân tố đầu ra R2 (%).

Phương trình hồi quy dưới dạng tự nhiên có dạng:

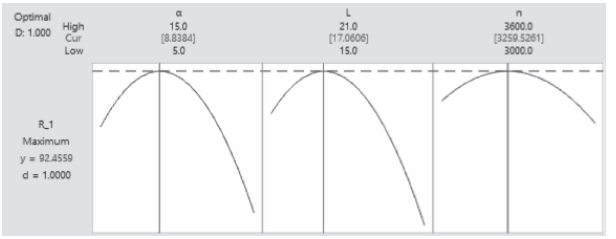
$$R_2 = -951 + 11.41\alpha + 46.77L + 0.3655n - 0.5166a^2 - 1.334L^2 - 0.000056n - 0.1433\alpha L$$

Kết quả đạt được khi tăng lần lượt ba thông số (α), L (Φ10), n thì R2 (%) thu được biến đổi theo dạng đường thẳng Hypepol và đạt khoảng từ 90-95% ở giá trị α = 7-9 (độ), L (Φ10) trên sàng L = 16-18 (mm), n = 3100-3300 (vòng/phút).

Tương tự, khi biến đổi đồng thời hai thông số (α) và L (Φ10) trên sàng, kết quả cho thấy R2 (%) thu được thấp nhất (<50%) khi L = 20-21(mm) và α = 13-15 (độ), còn R2 (%) đạt cao nhất (>90%) khi L = 16-18 (mm) và α = 7-10 (độ); Đồng thời kết quả cho thấy R2 (%) thu được thấp nhất (<65%) khi n = 3400-3600, 3000-3100 (vòng/phút) và α = 13-15(độ), còn R2 (%) thu được cao nhất (>90%) khi n = 3150-3350 (vòng/phút) và α = 7-10 (độ); R2 (%) thu được thấp nhất (<65%) khi n = 3400-3600, 3000-3100 (vòng/ phút) và L = 20.5-21 (mm), còn R2 (%) thu được cao nhất (>90%) khi n = 3150-3350 (vòng/phút) và L = 16-18 (mm). ☞

2.2.3. Tối ưu hoá nhân tố đầu ra

Dùng module tối ưu hoá của Minitab sẽ tính toán và cho ra nghiệm tối ưu R_1 đạt cực đại tại: α = 8.838380 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 3259.53 (vòng/phút). Giá trị cực đại đạt được là: $R1_{max}$ = 92.4559%.

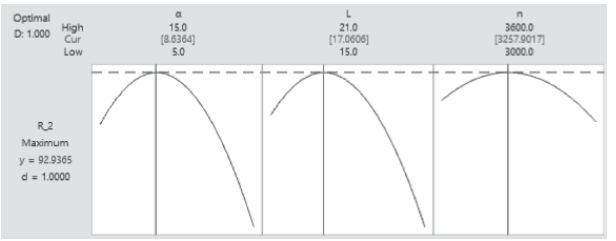


Hình 12. Biểu đồ tối ưu R_1

Bảng 2. Nghiệm tối ưu R_1 cực đại

Solution	α	L	n	R_1 Fit	Composite Desirability
1	8.83838	17.0606	3259.53	92.4559	1

R2 (%) cực đại, Minitab sẽ tính toán và cho ra nghiệm tối ưu:



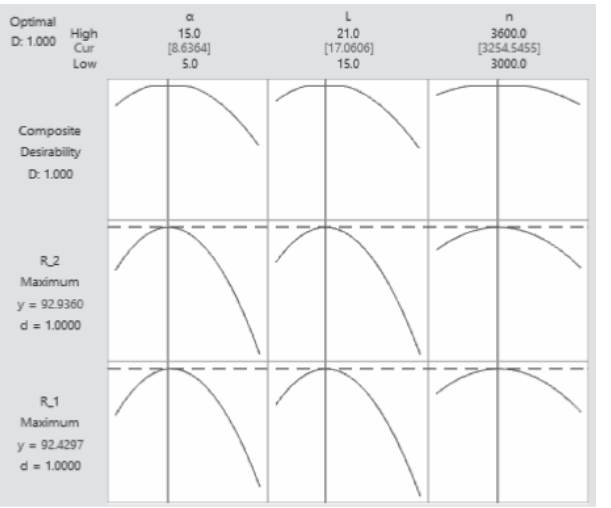
Hình 13. Biểu đồ tối ưu R_2

Bảng 3. Nghiệm tối ưu R_2 cực đại

Solution	α	L	n	R_2 Fit	Composite Desirability
1	8.63636	17.0606	3257.90	92.9365	1

Kết luận Minitab đã tìm được nghiệm tối ưu R_2 đạt cực đại tại: α = 8.636360 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 3257.90 (vòng/phút). Giá trị cực đại đạt được là: R_2_{max} = 92.9365%.

Tối ưu hoá thông số R_1 (%) và R_2 (%) cùng lớn nhất. Kết quả Minitab đã tìm được nghiệm tối ưu R_1 (%) và R_2 (%) cùng lớn nhất tại α = 8.636360 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 3254.55 (vòng/phút). Giá trị tối ưu đạt được là: R'1 = 92.4297% , R'2 = 92.9360%.



Hình 14. Biểu đồ nghiệm tối ưu

Bảng 4. Nghiệm tối ưu R_1 (%) và R_2 (%)

Solution	α	L	n	R_2 Fit	R_1 Fit	Composite Desirability
1	8.63636	17.0606	3254.55	92.9360	92.4297	1

2.3. Kết luận

Thực nghiệm trên sàng rung với các thông số: α = 5, 10, 15 (độ); L = 15, 18, 20 (mm); n_1 = 3000 (vòng/phút), n_2 = 3300 (vòng/phút), n_3 = 3600 (vòng/phút), quy hoạch thực nghiệm bằng phương pháp Box-Behnken và sử dụng phần mềm Minitab xử lý số liệu xác định được $R1_{max}$ = 92.4559% đạt giá trị lớn nhất tại: α = 8.838380 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 3259.53 (vòng/phút); $R2_{max}$ = 92.9365%

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

đạt giá trị lớn nhất tại: α = 8.636360 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 3257.90 (vòng/phút); R'1 = 92.4297% và R'2 = 92.9360% cùng đạt giá trị lớn nhất tại α = 8.636360 (độ), L = 17.0606 (mm), n = 32545 (vòng/phút).

Kết quả nghiên cứu đạt được sẽ là cơ sở khoa học cho việc thiết kế chế tạo cơ cấu sàng rung phân loại rác nhằm hoàn thiện cơ cấu thu gom và phân loại rác, tiến tới chế tạo hoàn chỉnh xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên trường đại học.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long. Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu, quý thầy, cô đồng nghiệp đã hỗ trợ để tác giả hoàn thành công trình nghiên cứu; xin chân thành cảm ơn đến Tạp chí Cơ khí Việt Nam tạo điều kiện để tác giả tham gia bài báo.❖

Ngày nhận bài: **06/4/2024**
Ngày phản biện: **24/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Trịnh Chất; *Cơ sở thiết kế máy và chi tiết máy,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.

[2]. GS,TS. Nguyễn Trọng Hiệp; *Chi tiết máy - Tập 1, tập 2,* NXB. Giáo dục, 1997.

[3]. Nguyễn Hữu Lộc; *Giáo trình cơ sở thiết kế máy,* NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2016.

[4]. Nguyễn Hữu Lộc; *Quy hoạch và phân tích thực nghiệm,* NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2011.

[5]. Hà Văn Vui, TS. Nguyễn Chí Sáng, ThS. Phan Đăng Phong; *Sổ tay thiết kế cơ khí - Tập 1, 2, 3,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.

[6]. Nguyễn Chí Hùng; *Hướng dẫn lắp ráp và xuất bản vẽ Inventor, 2014*.

[7]. Trần Yến; *Hướng dẫn thiết kế kim loại tấm Inventor, 2014.*

[8]. Trần Văn Tình; *Mô phỏng động lực học Autodesk Inventor, 2015.*

[9]. Trần Yến; *Phân tích động lực học với Inventor Simulation, 2014.*

[10]. Heinz Holsten, Fintel; Joachim Bahnemann, Bad Oldesloe, both of Fed. Rep. of Germany, *Hand-guided sweeping machine.*

[11]. Roland Schick, Auenwald; Uwe Urban, Weinstadt; Eberhard Veit, Göppingen, all of Germany, *Road sweeping machine.*

[12]. Gregory J. Engel, Plymouth, MN Gregory J. Engel, Plymouth, MN (US); Theodore J. Olsonoski, Rogers, MN (US), *Street sweeper with dust control.*

[13]. Gene R. Center, San Diego. *Escalator sweeping mechanism.*

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ THIẾT BỊ MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG VÀ HÀNH VI CỦA TRIỆU CHỨNG RUN Ở CÁNH TAY NGƯỜI

STUDY ON THE DESIGN OF DEVICE SIMULATING MOTION AND BEHAVIOR OF TREMORS IN THE HUMAN ARM

Đặng Trung Kiên[1, 3], Trịnh Hoài Ân[4], Nguyễn Tấn Tiến[1, 2, 3]
[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[2]DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[4]Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Ngày nay, nhiều thiết bị y tế được ứng dụng công nghệ tiên tiến nhằm nâng cao hiệu quả điều trị và quá trình khám chữa bệnh. Để phục vụ nghiên cứu và phát triển những thiết bị đó cần có hệ thống thử nghiệm, mô phỏng nhằm ngăn ngừa rủi ro, nguy hiểm cho con người. Trong nghiên cứu này, robot mười bậc tự do sẽ được nghiên cứu thiết kế dựa trên sự kết hợp của cánh tay máy sáu bậc tự do với robot bốn bậc tự do và đề xuất phương án thử nghiệm thiết bị vật lý trị liệu cho các bệnh lý liên quan đến cánh tay như khó khăn trong di chuyển hay triệu chứng run.

Từ khóa: *Robot mười bậc tự do; Thử nghiệm; Thiết bị vật lý trị liệu; Run tay.*

ABSTRACT

These days, there are numerous medical devices using cutting-edge technology to improve the effectiveness of treatment and healing process. In order to mitigate risks and dangers to human, it is necessary to have testing and simulation systems for research and development. In this study, a ten-degree-of-freedom robot model will be researched and designed based on the combination of a six-degree-of-freedom manipulator with a four-degree-of-freedom robot and propose testing programs to evaluate rehabilitation equipment for tremor or troubles moving arm.

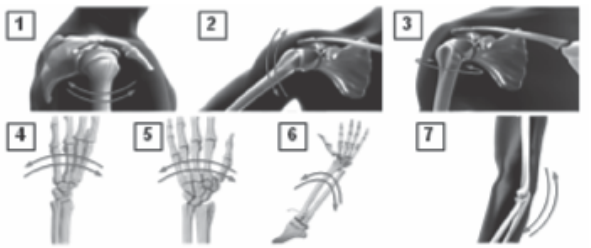
Keywords: *Ten degree-of-freedom robot; Testing; Rehabilitation equipment; Tremor.*

1. TỔNG QUAN

Thiết bị y tế như máy tập vật lý trị liệu, máy đo hoạt động của cánh tay,... đóng một vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ đảm bảo sức khỏe và đời sống của con người. Trong quá trình phát triển và sản xuất các thiết bị trong lĩnh vực y tế thì các quá trình thử nghiệm, kiểm tra các thiết bị luôn được đặt lên hàng đầu để đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật. Để đảm bảo được tính an toàn và sự hiệu quả trong điều trị, phục hồi đối với các bệnh nhân có triệu chứng run ở tay, một hệ thống mô phỏng các chuyển động và hành vi triệu chứng run ở tay người sẽ được đề xuất nghiên cứu thiết kế trong bài báo này.

1.1. Tìm hiểu về cánh tay người

Cánh tay con người được chia thành bốn phần: Vai, cánh tay trên, cẳng tay và bàn tay. Các bộ phận của cánh tay tạo nên 7 bậc tự do với 7 khớp xoay và 3 bậc tự do được tạo ra giữa liên kết của khớp vai và cơ thể khi di chuyển. Các bậc tự do và khớp xoay của cánh tay sẽ được biểu thị trong Hình 1.



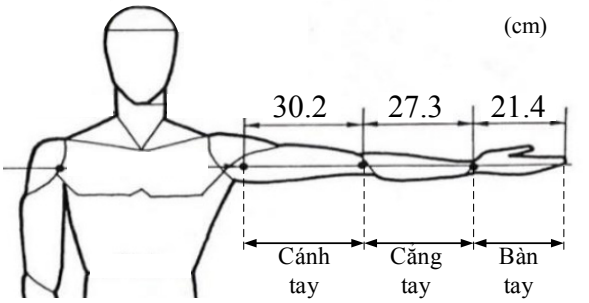
Hình 1. Bảy bậc tự do của khớp vai, khớp khuỷu tay và khớp cổ tay.

Theo nghiên cứu [1], [2], các giới hạn góc tương ứng với 7 khớp ở Hình 1 được nêu rõ ở Bảng 1.

Bảng 1. Giới hạn góc quay của bảy khớp cánh tay

Khớp	Giới hạn góc, °
Khớp vai (1)	–60 ÷ 180
Khớp vai (2)	–75 ÷ 180
Khớp vai (3)	–45 ÷ 135
Khớp cổ tay (4)	–75 ÷ 80
Khớp cổ tay (5)	–35 ÷ 45
Khớp cổ tay (6)	–75 ÷ 60
Khớp khuỷu tay (7)	40 ÷ 180

Việc nghiên cứu các chỉ số liên quan đến độ dài, khối lượng và trọng tâm các phần cánh tay sẽ đưa ra yêu cầu thiết kế robot giống với thực tế nhất. Trong nghiên cứu [3], tác giả đã chỉ ra độ dài của cánh tay trên, cẳng tay và bàn tay của một người đàn ông cao 180cm.



Hình 2. Chiều dài từng phần cánh tay

Mặc dù vậy, chiều dài của cánh tay con người có sự khác biệt giữa các cá nhân với nhau như vùng miền, thể trạng hay di truyền. Thay vào đó, một số nghiên cứu về chiều dài của cánh tay đã chỉ ra rằng có mối liên hệ giữa chiều cao và chiều dài của từng phần trên cánh tay [4], [5]. Kết hợp với thông tin tổng hợp từ các nghiên cứu về con người tại Việt Nam [6], thông số về chiều dài cho từng phần của cánh tay được chọn như Bảng 2, ngoài ra theo báo cáo [7], trọng tâm của từng phần được biểu thị theo chiều dài của phần đó như Hình 3.

Bảng 2. Chiều dài từng phần của cánh tay

Bộ phận	Chiều dài, cm
Cánh tay trên, L_{UA}	30.2
Cẳng tay, L_{FA}	27.3
Bàn tay, L_{H}	21.4

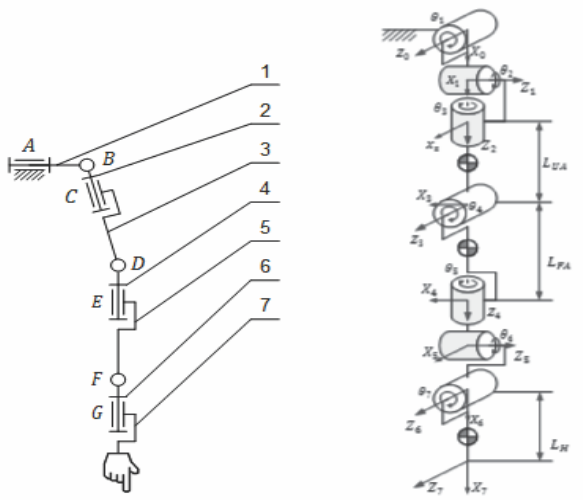
Hình 3. Trọng tâm của từng phần cánh tay

Những báo cáo về khối lượng của từng phần cánh tay với các phương pháp đo lường khác nhau trong [8], [9], [10] chỉ ra được khối lượng trung bình và mối liên hệ giữa khối lượng cơ thể và khối lượng của từng phần cánh tay. Qua đó, ta xác định khối lượng thiết kế cho từng phần của cánh tay như mô tả ở Bảng 3. ☞

Bảng 3. Khối lượng từng phần của cánh tay

Bộ phận	Khối lượng, kg
Cánh tay trên	1.65
Cẳng tay	1.05
Bàn tay	0.41

Qua đó, ta xác định được sơ đồ nguyên lý, xây dựng động học thuận và vùng làm việc theo các giới hạn cho 7 bậc tự do của cánh tay người:



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý 7 bậc tự do của cánh tay

Tiếp đó, chúng ta có được bảng Denavit Hartenberg:

Bảng 4. Bảng Denavit-Hartenberg của cánh tay người 7 bậc tự do

Liên kết	a_i, m	α_i, rad	d_i, mm	θ_i, rad
1	0	$-\pi/2$	0	θ_1
2	0	$-\pi/2$	0	θ_2
3	0	$\pi/2$	L_{UA}	θ_3
4	0	$-\pi/2$	L_{FA}	θ_4
5	0	$\pi/2$	0	θ_5
6	0	$\pi/2$	0	θ_6
7	L_H	0	0	θ_7

Mỗi ma trận biến đổi ${}^{i-1}_{i}T$ sẽ được viết dưới dạng tổng quát:

$${}^{i-1}_{i}T = R_{Z,\theta_i} Trans_{Z,d_i} Trans_{X,a_i} R_{X,\alpha_i} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} c(\theta_i) & -s(\theta_i)c(\alpha_i) & s(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i c(\theta_i) \\ s(\theta_i) & c(\theta_i)c(\alpha_i) & -c(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i s(\theta_i) \\ 0 & s(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Với:

$c(\theta_i) = \cos(\theta_i)$

$s(\theta_i) = \sin(\theta_i)$

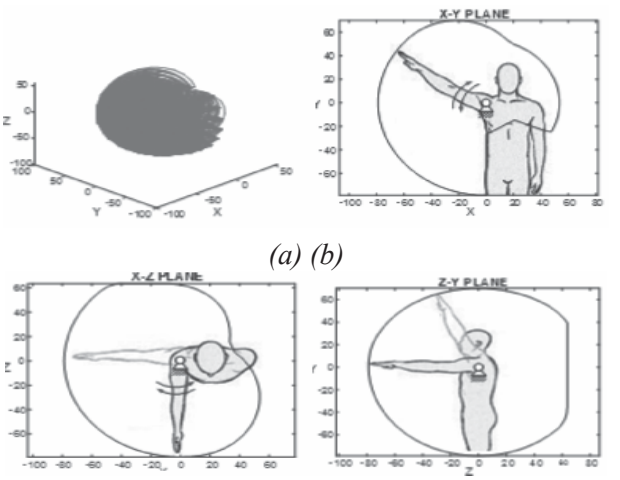
$c(\alpha_i) = \cos(\alpha_i)$

$s(\alpha_i) = \sin(\alpha_i)$

Ma trận biến đổi cuối cùng cho điểm cuối và hệ cơ sở:

$${}^{0}_{7}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T\,{}^{3}_{4}T\,{}^{4}_{5}T\,{}^{5}_{6}T\,{}^{6}_{7}T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Từ đây, ta có thể tính được vùng hoạt động của cánh tay người bằng cách sử dụng phần mềm Matlab.



(a) (b)

(c) (d)

Hình 5. Vùng hoạt động của cánh tay (a), trong mặt phẳng X-Y (b), trong mặt phẳng X-Z (c), trong mặt phẳng Z-Y (d).

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

1.2. Bệnh lý run của tay người

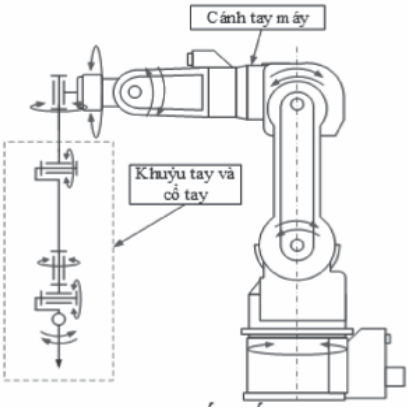
Run là một chuyển động không thể kiểm soát được, có tần số và biên độ khác nhau do nhiều yếu tố khác nhau. Mặc dù không có hại nhưng run có thể làm suy giảm các chức năng hàng ngày, chẳng hạn như run tay, cánh tay, đầu, chân và giọng nói, gây khó khăn trong các hoạt động như viết hoặc cầm đồ vật. Ngoài ra, sự suy giảm trong việc di chuyển cánh tay cũng tạo ra không ít khó khăn cho người mắc phải.

Qua các báo cáo [11], [12], [13], bệnh lý của người mắc chứng run tay được chia thành năm loại chính: run khi nghỉ, run khi chuyển động, run do tác động, run khi giữ tư thế và run khi làm một hoạt động cụ thể. Tần số rung của các bệnh nhân thu được từ 4 ÷ 12 Hz với biên độ rung từ 0.0059 ÷ 0.19cm [14].

2. ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ

2.1. Mô hình cơ khí

Với những yêu cầu kĩ thuật được nêu ở trên, phương án thiết kế được đề xuất kết hợp giữa mô hình sáu bậc tự do của cánh tay máy và bốn bậc tự do của khuỷu tay và cổ tay như Hình 6.

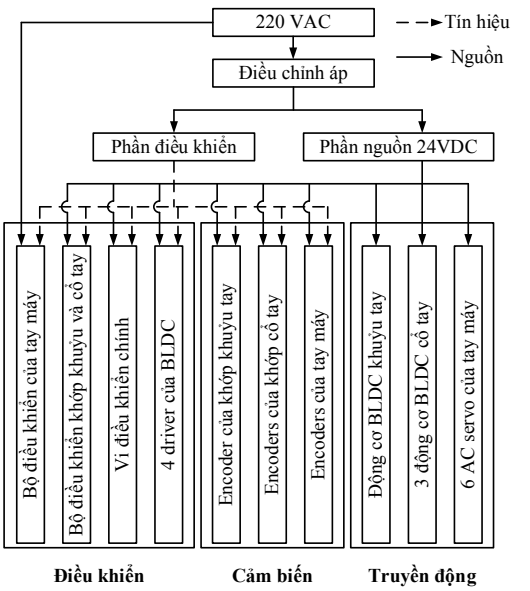


Hình 6. Phương án thiết kế robot 10 bậc tự do

Với các thiết bị y tế, tập luyện vật lý trị liệu cho các bệnh lý liên quan đến cánh tay hiện nay, đa phần được thiết kế để đeo hoặc có cấu trúc phù hợp với phần cánh tay từ khớp cầu vai đến bàn tay. Vì vậy, thay vì phải thiết kế hoàn toàn mười bậc tự do của robot, nhóm nghiên cứu đề xuất phương án sử dụng một cánh tay robot với sáu bậc tự do mô phỏng ba bậc tự do của cơ thể và ba bậc tự do của khớp vai, kết hợp với robot bốn bậc tự do mô phỏng khớp khuỷu tay và khớp cầu của cổ tay.

2.2. Mạch điện

Bộ điều khiển của cánh tay máy 6 bậc tự do sử dụng nguồn 220VAC còn với bộ điều khiển động cơ của 4 bậc tự do cẳng tay và bàn tay sử dụng điện áp 24VDC. Sơ đồ khối của mạch điện trong mô hình robot mười bậc tự do được biểu thị như Hình 7.

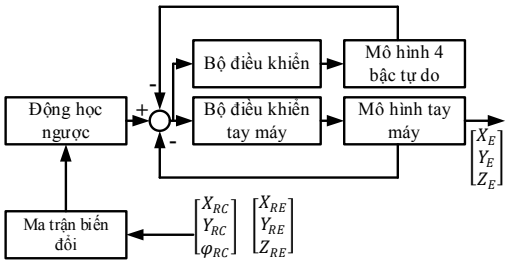


Hình 7. Sơ đồ khối mạch điện

2.3. Điều khiển

Trong quá trình mô phỏng, robot cần phải bám theo quỹ đạo tham chiếu hoặc rung ☞

theo biên độ vị trí thiết lập. Phương pháp điều khiển của robot được đề xuất như mô tả ở Hình 8:

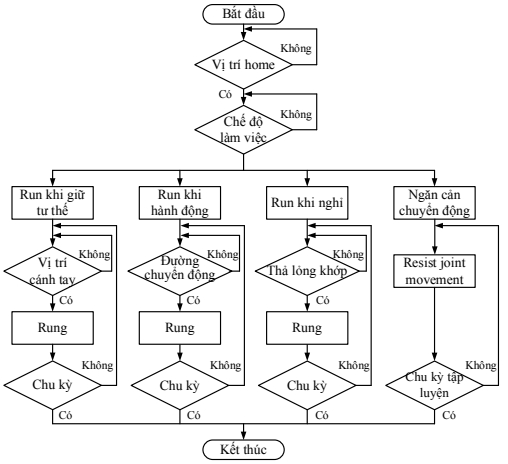


Hình 8. Sơ đồ khối phương pháp điều khiển

Với đầu vào là vị trí cuối của bàn tay robot, được biến đổi qua ma trận tính toán đưa về góc của các khớp. Các động cơ sẽ đáp ứng, đưa robot tiến đến vị trí mong muốn và thực hiện hành vi run được thiết lập trong chu kỳ hoạt động.

2.4. Giải thuật

Robot được điều khiển theo bốn chương trình làm việc nhằm mục đích mô phỏng lại hành vi run và hiện tượng các khớp khó di chuyển của người bệnh bao gồm: run khi nghỉ, run khi hành động, run khi giữ tư thế và ngăn cản chuyển động của các khớp cánh tay.



Hình 9. Sơ đồ giải thuật của robot

3. MÔ HÌNH THIẾT KẾ 3D

Dựa trên những đề xuất trong phần trước, nhóm nghiên cứu đã thiết kế mô hình 3D của các cánh tay bằng phần mềm Solidworks. Các thông số của mô hình thiết kế đề xuất được mô tả trong bảng sau:

Bảng 5. Thông số cánh tay robot bốn bậc tự do

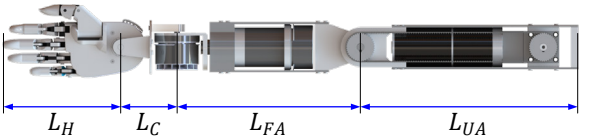
Thông số cánh tay	Giá trị
Loại	4 trục
Chiều dài, mm	L_{UA} = 292, L_{FA} = 231, L_H = 184, L_C = 74
Tần số rung, Hz	4 ÷ 15 Hz
Giới hạn góc quay, °	Khuỷu tay: –90 ÷ 140 Cổ tay (1): 0 ÷ 360 Cổ tay (2): –90 ÷ 90 Cổ tay (3): –90 ÷ 90

Cánh tay máy 6 bậc tự do của Denso với mã hiệu DENSO VC6353-E.

Bảng 6. Thông số cánh tay máy VC6353-E DENSO

Thông số tay máy	Giá trị
Loại	6 trục
Vận tốc tối đa, m/s	0,004
Tần số rung, Hz	4 ÷ 15 Hz
Giới hạn góc quay, °	J_1: ±160, J_2: +90, J_3: +145, J_4: ±170, J_5: ±120, J_6: ±360

Chiều dài của mô hình cánh tay bốn bậc tự do được phân bố như Hình 10:



Hình 10. Chiều dài các phần của cánh tay robot bốn bậc tự do

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Mô hình 3D của robot sau khi được lắp như trên hình sau:

Hình 11. Robot sau khi được lắp đặt

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày tổng quan về thiết kế đề xuất cho mô hình cánh tay và hành vi của triệu chứng run ở tay người, qua đó xác định được các thông số thiết kế dựa trên cánh tay thật và các thông số liên quan đến triệu chứng run tay. Nhóm nghiên cứu đã đề xuất phương án cho mô hình cơ khí, mạch điện, điều khiển và giải thuật điều khiển cho robot mười bậc tự do mô phỏng chuyển động và hành vi của triệu chứng run tay ở người.

Đây là bước đầu tiên của hướng nghiên cứu, nên một số đề xuất chưa được tối ưu, nhiều vấn đề cần cải thiện liên quan đến cả kĩ thuật và các yêu cầu đặc biệt để phù hợp với các thiết bị y tế trong khi thử nghiệm và đánh giá. Dựa trên kết quả đạt được trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục cải tiến, phát triển mô hình và giải thuật điều khiển để tiến hành các bước thực nghiệm và ứng dụng vào 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: **10/3/2024**
Ngày phản biện: **12/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Korayem M. *Kinematics and dynamic modelling of the human shoulder*, International Journal of Engineering, 14(13), 247-254 (2001).

[2]. Gull M, Bai S, Bak T. *A Review on Design of Upper Limb Exoskeletons*, Robotics 2020, 9(1), 16 (2020).

[3]. Gurminder Singh, Ashsh Singla, *Gurvinder S. Virk. Modeling and Simulation of a Passive Lower-Body Mechanism for Rehabilitation,* Conference on Mechanical Engineering, IIT (BHU), Varanasi, pp.900-904 (2016).

[4]. K. Renu; Y. P. Kumar (2016). *Estimation of stature from different anthropometric measurements in Kori population of North India,* Egyptian Journal of Forensic Sciences, 6(4), pp. 468-477. doi:10.1016/j.ejfs.2016.12.001.

[5]. M. Abay, S. Bereket (2021). *Estimation of Stature from Arm Span, Arm Length and Tibial Length among Adolescents of Aged 15-18 in Addis Ababa,* Ethiopia, Ethiop J Health Sci. 2021, 31 (5), pp: 1053-1060. doi:10.4314/ejhs.v31i5.18.

[6]. Thanh Phượng (2023). *Chiều cao người Việt có sự cải thiện,* 29/02/2024, from: https://vov2.vov.vn/suc-khoe/chieu-cao-nguoi-viet-co-su-cai-thien-45532.vov2.

[7]. L. Zhuorui, X. Xiangmin, Z. Shaolin (2017). *The smallest target size for a comfortable pointing in freehand space: human pointing precision of freehand interaction*, Universal ☞

Access in the Information Society, 16(2), pp. 381–393. doi:10.1007/s10209-016-0464-1.

[8]. R. Drillis, R. Contini, M. Bluestein (1964). *Body Segment Parameters, A Survey of Measurement Techniques*, Artificial limbs, 8, pp. 44–66.

[9]. C. D. Chamorro-R, N. G. Caicedo-D, J. I. Garcia-M. (2018). *Design, development and implementation of an assistive technology device for shoulder telerehabilitation via the Internet,* DYNA, 85(206), pp. 95-104. doi:https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.64889.

[10]. Clauser, Charles E., et al. (1969). *Weight, Volume, and Center of Mass of Segments of the Human Body, Air Force Systems Command,* Aerospace Medical Division, Aerospace Medical Research Laboratory.

[11]. A. Anouti, W. C. Koller (1995). *Tremor disorders: Diagnosis and management,* Western journal of medicine, 162(6), pp. 510-513.

[12]. E. J. Sternberg, R. N. Alcalay, O. A. Levy, E. D. Louis. (2013). *Postural and Intention Tremors: A Detailed Clinical Study of Essential Tremor vs. Parkinson's Disease,* Frontiers in Neurology, 4 (51), doi:10.3389/fneur.2013.00051.

[13]. J. S. Lou, J. Jankovic. (1991). *Essential tremor: clinical correlates in 350 patients,* Neurology, 41(2), pp: 234.

[14]. S. Calzetti, M. Baratti, M. Gresty, L. Findley (1987). *Frequency/amplitude characteristics of postural tremor of the hands in a population of patients with bilateral essential tremor: implications for the classification and mechanism of essential tremor.* Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 50(5), pp. 561–567. doi:10.1136/jnnp.50.5.561.

NGHIÊN CỨU VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC BỐ TRÍ CẢM BIẾN HỒNG NGOẠI DÀNH CHO XE DÒ LINE

STUDY ON EFFECT OF DIFFERENT IR-SENSOR LAYOUTS ON EXTRACTING RELEVANT INFORMATION FOR LINE FOLLOWER.

Trịnh Vương Quang Huy[2, 3], Dương Văn Tú[1, 2, 3], Nguyễn Huy Hùng[2, 3, 4], Nguyễn Tấn Tiến[1, 2, 3]
[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[2]DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
[4]Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu về sự thay đổi tín hiệu phản hồi từ cảm biến hồng ngoại, được ứng dụng rộng rãi trong xe dò line, theo cách bố trí cảm biến. Việc bố trí một cách hợp lí các cảm biến hồng ngoại trong xe dò line đóng vai trò quan trọng đối với việc xử lí tín hiệu cảm biến và đơn giản hóa bộ điều khiển, tăng hiệu quả cho toàn hệ thống. Nghiên cứu cho thấy một trong những cách bố trí hiệu quả là sắp xếp các cảm biến theo một đường thẳng, hợp với phương tiếp tuyến của xe một góc 30 độ để tạo sự chênh lệch giữa giá trị nhận được khi xe chếch sang trái và sang phải so với phương thẳng của line. Kết quả mô phỏng bằng Matlab cho thấy sự ảnh hưởng rõ rệt của việc bố trí này đối với việc xử lí tín hiệu phản hồi từ cảm biến hồng ngoại.

Từ khóa: *Cảm biến hồng ngoại; Bố trí cảm biến; Xe đua dò line.*

ABSTRACT

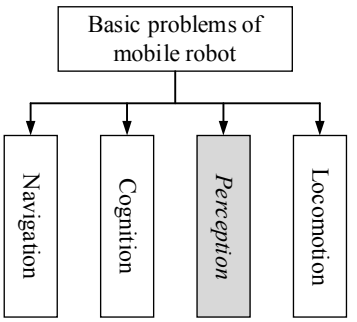
This paper presents research on the change in response signals from infrared sensors, widely used in line detectors, according to the sensor arrangement. Proper arrangement of infrared sensors in the line detector plays an important role in processing sensor signals and simplifying the controller, increasing the efficiency of the entire system. Research shows that one of the effective arrangements is to arrange the sensors in a straight line, at a 30-degree angle to the vehicle's tangent direction to create the difference between the value received when the vehicle leans left and right to the reference line. Simulation results using Matlab show a clear influence of this arrangement on the processing of feedback signals from the infrared sensor.

Keywords: *Infrared sensors; Sensor layout; Line tracking racing car.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Là một đầu bài có đầy đủ tất cả yếu tố của một sản phẩm Cơ Điện tử như: cơ khí, điện tử, điều khiển và lập trình; thiết kế xe đua dò line đã trở thành một trong những đề tài phổ biến mang tính thách thức trong các cuộc thi quốc tế và trong giảng đường đại học kỹ thuật giảng dạy chuyên ngành Cơ Điện tử tại Việt Nam [1].

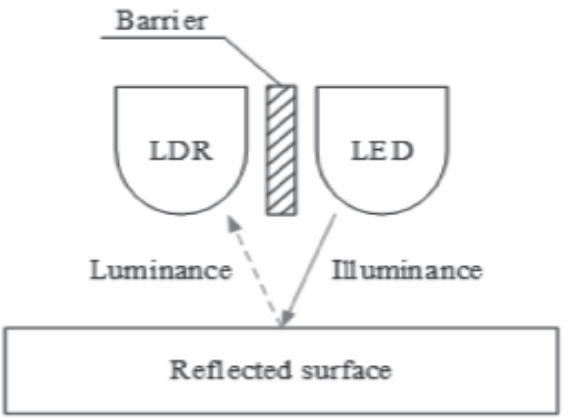
Để giải quyết được bài toán lớn là thiết kế xe đua bám đường đua cho trước và chạy với vận tốc nhanh nhất, một trong những cách tiếp cận chính là chia nhỏ các vấn đề cần được giải quyết thành những bài toán nhỏ, dựa trên những khía cạnh nền tảng của một mobile robot [2] được miêu tả như Hình 1: locomotion (sự vận động) – giải quyết các vấn đề về chuyển động; perception (sự nhận biết) – liên quan đến việc thu nhận và xử lí tín hiệu từ hệ thống cảm biến; cognition (sự nhận thức) – bộ điều khiển quyết định, tính toán tín hiệu đầu ra dựa trên những dữ liệu đã được tổng hợp; navigation (sự định hướng) – liên quan đến kĩ năng định vị (navigation skill), hoạch định chuyển động (path planning), lập bản đồ và bản địa hóa (localization and mapping).



Hình 1. Các vấn đề nền tảng của mobile robot

Bài báo này tập trung giải quyết một khía cạnh duy nhất của xe dò line là perception (sự nhận biết), trong đó có một bước đóng vai trò chủ đạo trước khi bắt đầu quá trình thiết kế chính là lựa chọn cảm biến. Đối với bài toán dò line, cảm biến hồng ngoại thường được sử dụng do độ phổ biến, đa dạng trên thị trường với nhiều loại giá thành, độ phức tạp của thuật toán xử lí thấp hơn so với các loại cảm biến khác [3], [4].

Về cấu tạo, cảm biến hồng ngoại thông dụng sẽ bao gồm LED (Light Emitting Diode – Đi-ốt phát quang) và LDR (Light Dependent Resistor – Điện trở quang) được ngăn cách bởi Barrier (lá chắn). Tín hiệu thu được từ cảm biến sẽ phụ thuộc vào công suất phát của bóng LED, và bề mặt phản quang (Reflected surface) được mô tả như Hình 2.



Hình 2. Cấu tạo của một cảm biến hồng ngoại điển hình

Marc E. Schiler đã đề cập chi tiết về sự khác biệt giữa 2 khái niệm Luminance (độ chói) và Illuminance (độ rọi), cũng như mối quan hệ giữa chúng trong bài báo của mình [5] thông qua công thức:

$$L_v = E_v.\rho \quad (1)$$

Trong đó, L_v (lux) và E_v (lux) là độ chói sáng và độ rọi sáng; ρ là hệ số phản quang của bề mặt, giá trị này sẽ phụ thuộc vào vật

liệu và màu sơn của bề mặt phản quang như trong nghiên cứu của Loe D. Rowlands E. và Mansfield K. [6] được thể hiện qua Bảng 1.

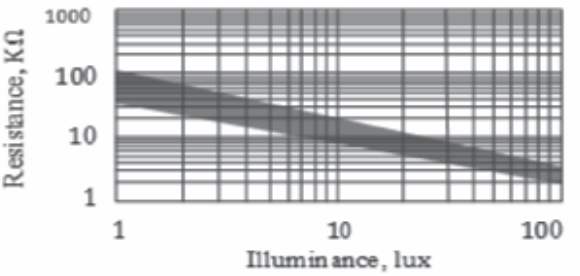
Bảng 1. Hệ số phản quang của các bề mặt hoàn thiện khác nhau

Màu sơn bề mặt	**Hệ số phản quang**
Trắng	0.85
Kem	0.8
Xám nhạt	0.7
Xám đen	0.15
Đen	0.05
Vật liệu của bề mặt	**Hệ số phản quang**
Giấy	0.8
Thảm	0.1-0.45
Gạch vữa	0.2-0.3
Kính trong suốt	0.1

Có thể thấy giá trị của L_v sẽ biến đổi tuyến tính với hệ số ρ khi thay đổi từ bề mặt phản quang màu đen (Black paint – 0.05) sang màu trắng (White paint – 0.85), dẫn đến sự khác biệt rõ rệt trong nội trở (Internal Resistance) của LDR – một biểu hiện điển hình của LDR được thể hiện trong đồ thị Hình 3. Từ đồ thị này có thể suy ra được công thức tính giá trị nội trở (Internal Resistance) gần đúng của bóng LDR theo hàm bậc nhất như sau:

$$R_{IR} \approx -k_1.E_v + k_2 \quad (2)$$

Với R_{IR} là giá trị nội trở của cảm biến hồng ngoại, E_v là độ chói (Illuminance) từ bề mặt phản quang đến cảm biến, cùng với $\{k_1, k_2\} > 0$ là cặp hệ số sẽ thay đổi với những LDR khác nhau. Đối với một cảm biến hồng ngoại, cặp giá trị k_1, k_2 này còn sẽ phụ thuộc vào công suất của bóng phát (LED) và khoảng cách giữa cảm biến và bề mặt phản quang, nhưng bài báo này sẽ đưa sự ảnh hưởng của hai yếu tố này vào hai biến k_1 và k_2 ở trên.



Hình 3. Mối liên hệ giữa Illuminance và Resistance của LDR GL5528

Đối với bài toán dò line đen trên bề mặt màu trắng, cần cân nhắc đến hình dạng vùng bao phủ (covered area) của mỗi cảm biến hồng ngoại và hệ số phản quang ρ của vùng bao phủ được kết hợp bởi hai phần màu trắng và đen với tỉ lệ khác nhau, bài báo này sẽ đặt giả thiết hệ số ρ sẽ biến đổi tuyến tính với tỉ lệ của phần màu trắng của bề mặt dò line trong vùng bao phủ (giả thiết 1) và hình dạng của vùng này là một hình tròn (giả thiết 2). Từ đó có thể suy ra:

$$\rho_{CA} = \rho_{color} \times \rho_{material} \quad (3)$$

Trong đó, ρ_{CA} là hệ số phản quang từ bề mặt bao phủ (covered area) của cảm biến; $\rho_{material}$ là hệ số phản quang ảnh hưởng bởi loại vật liệu của bề mặt này; ρ_{color} là hệ số phản quang liên quan đến màu sắc được tính bởi công thức được suy ra từ giả thiết 1:

$$\rho_{color} = H_w(\rho_w - \rho_b) + \rho_b \quad (4)$$

Với, H_w là tỉ lệ của phần màu trắng trong vùng được bao phủ của cảm biến; ρ_w và ρ_b là hệ số phản quang của bề mặt sơn màu trắng và đen.

Cuối cùng từ hai công thức (2) và (3) có thể suy ra được công thức tổng quát tính nội trở R_{IR} của cảm biến hồng ngoại dựa trên sự thay đổi của tỉ lệ phần màu trắng H_w trong bề mặt bao phủ: ☞

$$R_{IR} \approx [H_w (\rho_w - \rho_b) + \rho_b] \\ \rho_{material} - k_1 + k_2 \quad (5)$$

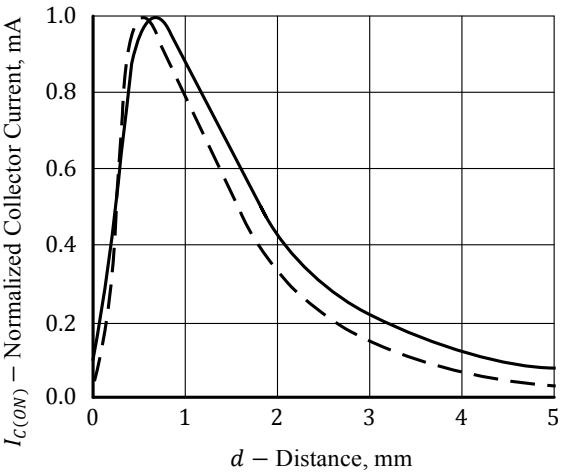
Để có thể chuyển thành thông tin hữu ích đưa vào bộ điều khiển từ hệ thống các cảm biến hồng ngoại với những cơ sở lý thuyết trên, có một số những yếu tố cần được cân nhắc kỹ càng trong quá trình thiết kế cảm biến:

Một là số lượng tối thiểu các cảm biến được sử dụng, và khoảng cách tương đối giữa các cảm biến, điều đã được M. Zafri Baharuddin (2016) trình bày một cách chi tiết [6], cùng với công thức tính khoảng cách tối thiểu giữa hai cảm biến được bố trí xa nhau nhất:

$$w < |S_{RR} - S_{LL}| < \frac{w}{\tan\theta_C} \quad (6)$$

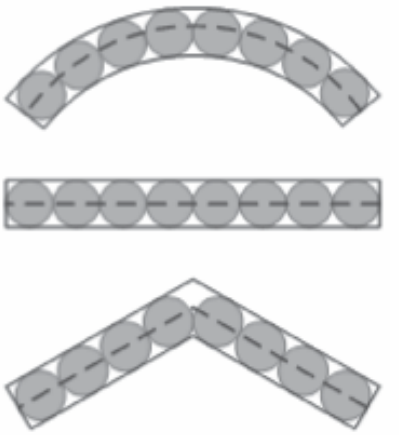
Trong đó, $|S_{RR} - S_{LL}|$ là khoảng cách giữa cảm biến bên trái – ngoài cùng và bên phải – ngoài cùng, mm; w là độ rộng của line, mm; θ_C là góc nghiêng tối đa của xe so với line, rad.

Hai là khoảng cách tối ưu giữa bề mặt cảm biến hồng ngoại và mặt phẳng cần dò line. Thông thường, thông tin này sẽ được mô tả trong datasheet của các loại cảm biến hồng ngoại, ví dụ trong Hình 4 là một đồ thị được lấy từ datasheet của cảm biến QRE1113R thể hiện mối liên hệ điển hình giữa $I_{C(ON)}$ On-State Collector Current (dòng điện kênh thu ở trạng thái kích hoạt) và d – khoảng cách giữa cảm biến và bề mặt phản quang, đường nét liền và đường nét đứt lần lượt đại diện cho bề mặt giấy trắng với hệ số phản quang (ρ = 0,9), và bề mặt gương. Có thể thấy, đối với khoảng cách d = 0,4 ÷ 1,2mm, giá trị của $I_{C(ON)}$ luôn lớn hơn 0.8mA, suy ra đây chính là khoảng độ cao tối ưu giữa cảm biến và mặt phẳng dò line dành cho loại cảm biến QRE1113R.



Hình 4. Mối liên hệ giữa $I_{C(ON)}$ và d của cảm biến QRE1113R

Cuối cùng, một yếu tố hiếm khi được đề cập nhưng lại có ảnh hưởng không nhỏ trong việc phản hồi tín hiệu, chính là cách phân bố hệ thống cảm biến, một hệ thống cùng với một số lượng cảm biến và khoảng cách tương đối cũng có thể được sắp xếp theo nhiều hình dạng khác nhau như Hình 5.



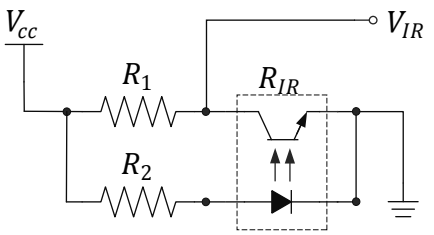
Hình 5. Các hình dạng khác nhau của hệ thống cảm biến hồng ngoại

Bài báo này tập trung nghiên cứu về sự ảnh hưởng của những cách bố trí khác nhau của hệ thống cảm biến đối với tín hiệu phản hồi.

2. THIẾT LẬP MÔ PHỎNG

2.1. Sơ đồ mạch cảm biến hồng ngoại

Để có thể mô phỏng tín hiệu trả về từ cảm biến, sơ đồ nguyên lý mạch điện của một cảm biến hồng ngoại đơn được mô tả như Hình 6:



Hình 6. Nguyên lý mạch cảm biến hồng ngoại

Với sơ đồ mạch trên, mắt phát (LED) sẽ liên tục phát tia hồng ngoại (IR) với công suất không đổi phụ thuộc vào điện áp cấp V_{cc} và điện trở hạn dòng R_2. Bài báo này sẽ không thiết lập thông số R_2 do đã quy sự ảnh hưởng của mắt phát (LED) vào cặp hệ số $\{k_1, k_2\}$ như đã đề cập ở phần trước. Như vậy, điện áp V_{IR} sẽ thay đổi theo giá trị điện trở R_{IR} theo công thức:

$$V_{IR} = \frac{R_{IR}}{R_1 + R_{IR}} V_{cc} \quad (7)$$

Với một mạch chuyển đổi Analog sang Digital (ADC Converter) N-bits và giá trị điện áp so sánh V_{ref}, trị số Analog thu được sẽ được tính từ công thức:

$$ADC_{val} = \frac{V_{IR}}{V_{ref}} (2^N - 1) \quad (8)$$

Đối với một hệ thống gồm n cảm biến hồng ngoại, tổng giá trị Analog từ hệ thống trên sẽ được tính bằng công thức dưới đây:

$$ADC_{total} = \sum_{i=1}^{n} ADC_i \quad (9)$$

2.2. Thiết lập thông số hệ thống

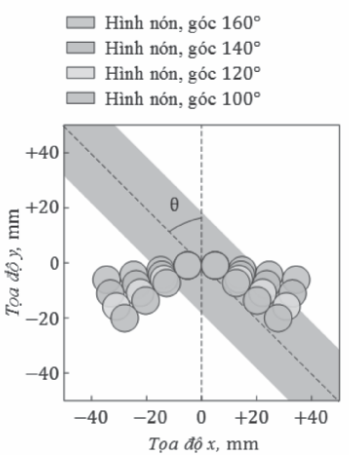
Với bài toán dò line trên mặt phẳng trắng và line màu đen, bài báo này sẽ thực hiện mô phỏng bằng Matlab tín hiệu trả về từ hệ thống cảm biến hồng ngoại với những thông số trong bảng dưới đây:

Bảng 2. Thông số hệ thống cho mô phỏng

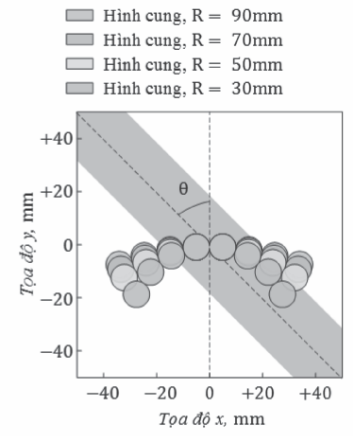
Thông số	Giá trị
Độ rộng của line, w_{line}, mm	26
Bán kính vùng bao phủ của mỗi cảm biến hồng ngoại, R_{CA}, mm	5
Hệ số nội trở LDR, k_1	3×10^4
Hệ số nội trở LDR, k_2	2×10^4
Hệ số phản quang từ vật liệu bề mặt dò line, $\rho_{material}$	0.7
Hệ số phản quang bề mặt đen, ρ_b	0.05
Hệ số phản quang bề mặt trắng, ρ_w	0.85
Điện trở hạn dòng, R_1, kΩ	10
Điện áp so sánh, V_{ref}, V	5
Điện áp cấp cho cảm biến, V_{cc}, V	5
Độ phân giải bộ ADC, N, bits	10

2.3. Thiết lập mô phỏng

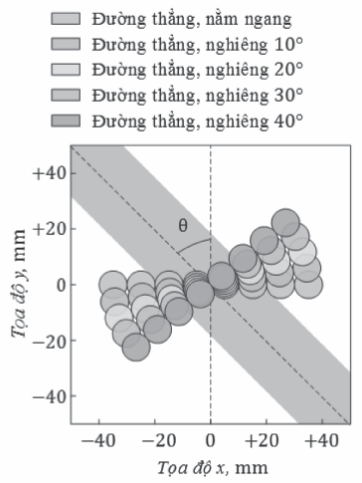
Mô phỏng được tiến hành với ba dạng bố trí cảm biến chính như Hình 5, các kiểu bố trí khác nhau được thể hiện trong Hình 7, Hình 8 và Hình 9. ☞



Hình 7. Mô phỏng cảm biến theo dạng hình nón



Hình 8. Mô phỏng cảm biến theo dạng hình cung

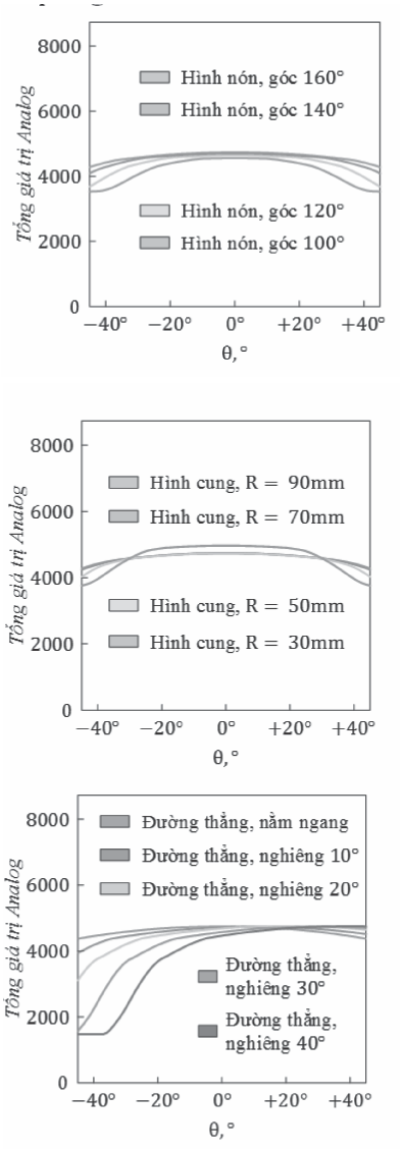


Hình 9. Mô phỏng cảm biến theo dạng đường thẳng

Cách bố trí cảm biến hồng ngoại phổ biến là dạng đường thẳng, trùng với phương tiếp tuyến của thân robot như Hình 9, tuy nhiên có thể tạo ra nhiều kiểu bố trí khác nhau bằng cách tạo góc nghiêng cùng với θ là góc hợp bởi phương của line trên bề mặt di chuyển và phương của thân robot.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Kết quả dữ liệu mô phỏng



Hình 10. Kết quả mô phỏng thể hiện qua biểu đồ

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Bảng 3. Tổng hợp dữ liệu mô phỏng

Bố trí hình nón, độ	**Tổng giá trị Analog**		
	Nhỏ nhất	**Lớn nhất**	**Thay đổi**
Góc 160	4267	4719	5.5%
Góc 140	4076	4685	7.4%
Góc 120	3670	4627	11.7%
Góc 100	3518	4542	12.5%
Bố trí hình cung, mm	**Tổng giá trị Analog**		
	Nhỏ nhất	**Lớn nhất**	**Thay đổi**
Bán kính 90	4269	4725	5.5%
Bán kính 70	4225	4722	6.1%
Bán kính 50	4015	4715	8.5%
Bán kính 30	3489	4688	14.6%
Bố trí hình nón, mm	**Tổng giá trị Analog**		
	Nhỏ nhất	**Lớn nhất**	**Thay đổi**
R=90	4269	4725	5.5%
R=70	4225	4722	6.1%
R=50	4015	4715	8.5%
R=30	3489	4688	14.6%
Bố trí đường thẳng, độ	**Tổng giá trị Analog**		
	Nhỏ nhất	**Lớn nhất**	**Thay đổi**
Nằm ngang	4357	4730	4.5%
Nghiêng 10	3936	4730	9.7%
Nghiêng 20	3084	4730	20.1%
Nghiêng 30	1583	4730	38.4%
Nghiêng 40	1454	4730	40%

3.2. Nhận xét kết quả mô phỏng

Dựa vào sự chênh lệch của giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất:

Với cách bố trí cảm biến theo dạng đường thẳng nằm ngang thường thấy ở các hệ thống cảm biến hồng ngoại dành cho xe dò line, giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất lần lượt là 4357 và 4730, độ chênh lệch giữa hai giá trị này là 372. Điều này sẽ làm cho việc phân biệt góc nghiêng của line từ hệ thống cảm biến hồng ngoại là không khả thi (tương ứng với độ lớn của góc θ), bởi độ phân giải tín hiệu thu về là quá nhỏ, chỉ chiếm 4.55% tổng giá trị Analog tối đa.

Với cách bố trí hình nón và hình cung, sự chênh lệch giữa hai giá trị này tăng cùng góc nhỏ hơn đối với hình nón, hoặc bán kính nhỏ hơn đối với hình cung và đạt cao nhất đối với cách bố trí cảm biến theo hình cung R = 30mm, 14.6% so với tổng giá trị tối đa. Cuối cùng sự thay đổi này đạt giá trị cực đại khi mô phỏng ở dạng đường thẳng, hợp góc 40° so với phương tiếp tuyến của xe, với ADC_{val} = 3276 tương đương 40% tổng giá trị tối đa khi thay đổi góc θ từ –45° ÷ 45°, hơn 8.8 lần độ chênh lệch của cách bố trí đường thẳng nằm ngang truyền thống.

Dựa vào biểu đồ kết quả mô phỏng:

Kết quả thu được từ biểu đồ kết quả mô phỏng dữ liệu còn cho thấy thêm một nhược điểm của cách bố trí cảm biến theo dạng đường thẳng truyền thống, đó là sự đối xứng trong biểu đồ tổng giá trị Analog thu được qua đường thẳng θ = 0°, hiện tượng này lặp lại đối với cách bố trí hình cung và hình nón. Điều này có nghĩa là các hệ thống cảm biến trên sẽ không thể cung cấp thông tin về hướng khi góc line bị lệch về ☞

bên trái hoặc bên phải so với phương của thân xe (tương ứng với giá trị âm hoặc dương của góc θ).

Có thể thấy, cùng với cách bố trí đường thẳng, nhưng khi xuất hiện một góc lệch so với phương tiếp tuyến của xe trong cách bố trí cảm biến, hiện tượng bất đối xứng đối với đường thẳng θ = 0° sẽ xuất hiện, tăng dần và đạt cực đại ở góc nghiêng 40°. Điều này sẽ có ý nghĩa lớn trong việc phân biệt giữa hướng góc lệch khi line chếch sang trái hoặc sang phải khi ứng dụng tín hiệu vào bộ điều khiển xe dò line. Tuy nhiên, khi sử dụng cách bố trí dạng đường thẳng nghiêng 40°, sẽ không thể phân biệt được góc lệch trong khoảng từ –45° đến –35° bởi tín hiệu Analog thu được ở vùng này là như nhau, do xảy ra sự bao phủ hoàn toàn của dãy cảm biến đối với line trên mặt phẳng dò. Vì vậy, dạng đường thẳng nghiêng 30° sẽ là cách bố trí tối ưu nhất của hệ thống cảm biến hồng ngoại để ứng dụng cho xe dò line, độ chênh lệch giữa giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất của cách bố trí này gấp 8.53 lần đối với cách bố trí đường thẳng nằm ngang truyền thống.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày về sự ảnh hưởng của việc thay đổi cách bố trí cảm biến hồng ngoại đối với tín hiệu Analog thu được. Từ kết quả mô phỏng bằng Matlab đối với nhiều hình dạng khác nhau và các tiêu chí để so sánh dữ liệu thu được, cách bố trí dạng đường thẳng nghiêng 30° đã được chứng minh hiệu quả hơn 8.53 lần cách bố trí truyền thống, đồng thời bài báo đã nêu ra tính hiệu quả của cách bố trí trên để giải quyết vấn đề được đặt ra.

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: **15/3/2024**
Ngày phản biện: **22/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. T.T. Nguyen, T.T. Tran, and S.B. Kim; "*Giảng dạy thiết kế hệ thống Cơ điện tử qua đồ án*", Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 8 (VCM-2016), pp.416-422, Cần Thơ, ngày 25-26/11/2016.

[2]. F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert, "*A review of mobile robots: concepts, methods, theoretical framework, and applications,*" Int'l Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.16, No.2. SAGE Publications Inc., Mar. 01, 2019. doi: 10.1177/1729881419839596.

[3]. G. Dewantoro, J. Mansuri, and F. D. Setiaji, "*Comparative Study of Computer Vision Based Line Followers using Raspberry Pi and Jetson Nano*," Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol.17, No.4, Dec. 2021, doi: 10.17529/jre.v17i4.21324.

[4]. Kazi Mahmud Hasan, Abdullah-AI-Nahid, and Abdullah Al Mamun, "*Implementation of autonomous line follower robot*", IEEE/OSA/IAPR Int'l Conf. on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV 2012), pp.865-869, 18-19 May 2012, doi: 10.1109/ICIEV.2012.6317486.

[5]. Marc Schiler, "*Interior illuminance, daylight controls and occupant response*." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228688521

[6]. J. Seo et al., "*Model tests on resistance and seakeeping performance of wave-piercing high-speed vessel with spray rails,*". Int'l Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol.8, No.5, pp. 442–455, September 2016, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.05.010.

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÁY IN 3D KIM LOẠI 5 TRỤC

DESIGN CALCULATION RESEARCH 5 AXIS METAL 3D PRINTER

ThS. **Bùi Quang Toàn**
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình nghiên cứu, tính toán, thiết kế và xây dựng mô hình máy in 3D. Sử dụng phần mềm điều khiển Mach3 để gia công in được các chi tiết có vật liệu bằng kim loại dạng dây như nhôm, đồng, thiếc… Với kích thước tối đa có thể gia công là 150 mm x 150 mm x 100 mm. Máy có thể dịch chuyển theo 5 trục X, Y, Z, B, C nên có thể gia công được những chi tiết có hình dáng phức tạp mà các máy gia công truyền thống không thực hiện được. Nội dung chính bao gồm tính toán thiết kế phần cơ khí, lựa chọn bộ điều khiển, phần mềm điều khiển, xây dựng mô hình máy hoàn chỉnh.

Từ khoá: *Đầu phun; Điều khiển; Động cơ; Máy in 3D; Kết cấu.*

ABSTRACT

The article presents the process of researching, calculating, designing and building a 3D printer model. Use Mach3 control software to process and print parts made of wire metal materials such as aluminum, copper, tin... with the maximum size that can be processed is 150 mm x 150 mm x 100 mm. The machine can move along 5 axes X, Y, Z, B, C so it can process parts with complex shapes that traditional machining machines cannot. The main content includes mechanical design calculations, controller selection, control software, and building a complete machine model.

Keywords: *Nozzles; Controls; Motors; 3D printers; Structures.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ở Việt Nam, việc áp dụng những công nghệ hiện đại, tiên tiến vào sản xuất đang phát triển rất mạnh mẽ. Sự cạnh tranh về mẫu mã, chất lượng và giá thành sản phẩm, đòi hỏi các nhà sản xuất cần phải tối ưu hoá quá trình sản xuất, trong đó, việc chuyển nhanh ý tưởng từ thiết kế ra sản phẩm thực tế là rất quan trọng. Hiện tại, có rất nhiều công nghệ tạo mẫu nhanh khác nhau, mỗi công nghệ đều có ưu, nhược điểm riêng, máy in 3D là một trong những phương pháp tạo mẫu nhanh có thể tạo ra được những sản phẩm phức tạp và tinh xảo nên đang được một số tổ chức, doanh nghiệp đưa vào sử dụng. Tuy nhiên, hiện nay, các loại máy in 3D về cơ bản đều được nhập khẩu từ nước ngoài về nên giá thành rất cao. Nhận thấy, đây là nhu cầu tất yếu của ngành công nghiệp sản xuất trong tương lai, tác giả đã mạnh dạn nghiên cứu, tính toán, thiết kế máy in 3D kim loại để phục vụ công tác nghiên cứu, đào tạo cũng như chế tạo thử nghiệm để đưa vào sản xuất thực tế. ☞

1. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

1.1. Phương pháp nghiên cứu

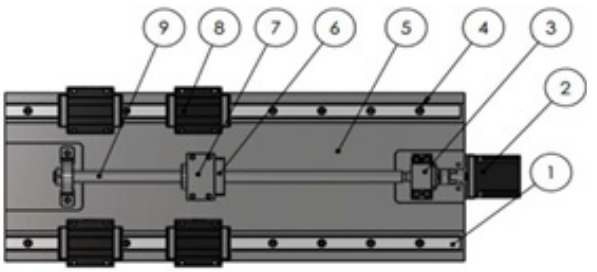
Dựa vào nghiên cứu lý thuyết, thực tiễn từ các máy có sẵn trên thị trường và dựa dữ liệu các thông số đầu vào như chế độ cắt, vật liệu gia công, kích thước máy, nguyên lý hoạt động, giá cả và chất lượng… Qua phân tích, tác giả đã tiến hành thiết kế và xây dựng được máy in 3D kim loại hoàn chỉnh trên 5 trục gia công là X, Y, Z, B, C. Máy in dựa theo nguyên lý Laser Metal Deposition (LMD), đầu phun được thiết kế dựa trên đầu phun laser của hãng Hybrid. Nguồn phóng laser là ống phóng laser CO_2.

2. QUY TRÌNH THIẾT KẾ

2.1. Thiết kế hệ thống cơ khí

Kết cấu máy [1, 6, 7], được chia làm 5 cụm trục chính: X, Y, Z, B, C.

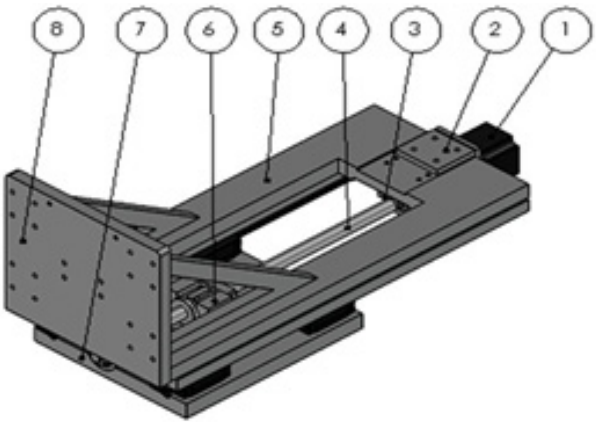
2.1.1. Kết cấu cụm trục X:



Hình 1. Kết cấu cụm trục X:

Ký hiệu (số lượng): 1. Thanh trượt (02); 2. Động cơ bước (01); 3. Gối đỡ (01); 4. Vít M5x20 (18); 5. Bàn trục X (01); 6. Đai ốc bi (01); 7. Giá đỡ đai ốc bi (01); 8. Con trượt (04); 9. Vít me bi (01).

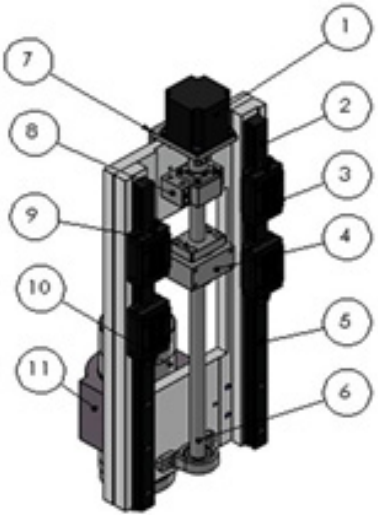
2.1.2. Kết cấu cụm trục Y:



Hình 2. Kết cấu cụm trục Y

Ký hiệu (số lượng): 1. Động cơ trục Y (01); 2. Gá động cơ (01); 3. Gối đỡ trục vít me (02); 4. Trục vít me bi (01); 5. Bàn trục Y (01); 6. Đai ốc bi (01); 7. Tâm gá trục Y (01); 8. Tâm gá trục Z (01).

2.1.3. Kết cấu cụm trục Z:

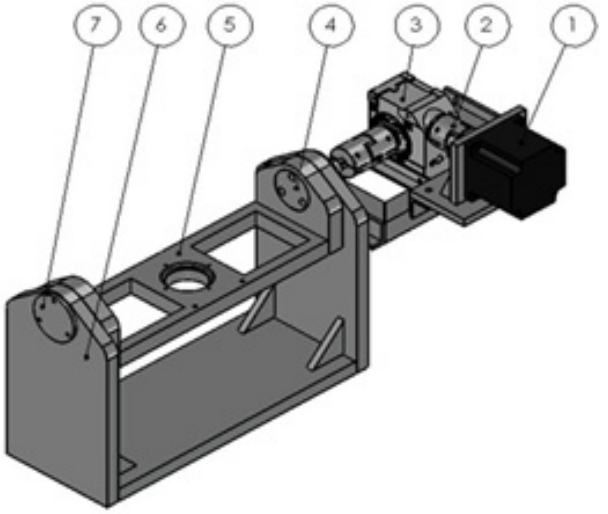


Hình 3. Kết cấu cụm trục Z:

Ký hiệu (số lượng): 1. Động cơ trục Z (01); 2. Thanh trượt (02); 3. Con trượt (04); 4. Bracket (01); 5. Vít M5x20 (16); 6. Trục vít me (01); 7. Gá động cơ (01); 8. Gối đỡ trục vít me (01); 9. Đai ốc bi (02); Spindle (01); Gá spindle (01).

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

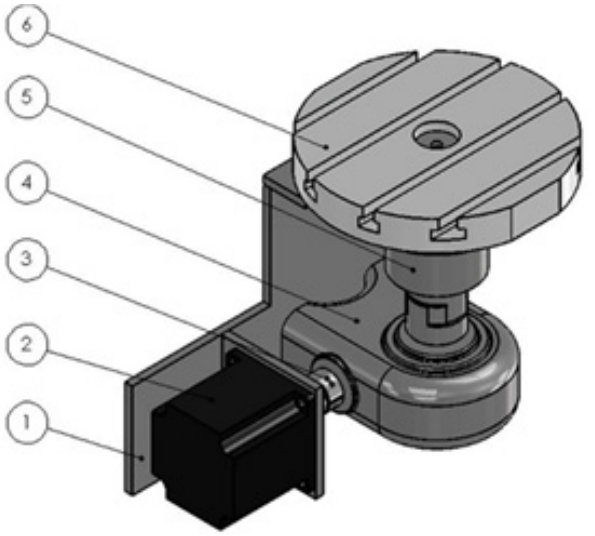
2.1.4. Kết cấu cụm trục B:



Hình 4. Kết cấu cụm trục B

Ký hiệu (số lượng): 1. Động cơ (01); 2. Khớp nối (01); 3. Hộp giảm tốc tỉ số truyền 1 -60 (01); 4. Trục (01); 5. Bàn máy trục B (01); 6. Thân đỡ trục B (01); 7. Vỏ nắp (01).

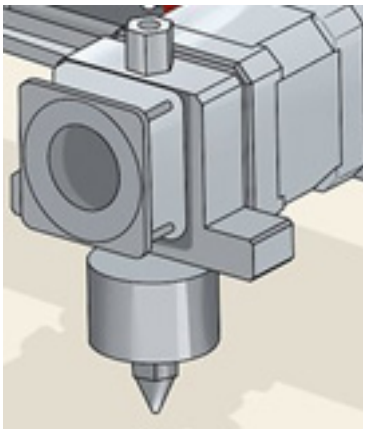
2.1.5. Kết cấu cụm trục C:



Hình 5. Kết cấu cụm trục C:

Ký hiệu (số lượng): 1. Tâm gá động cơ (01); 2. Động cơ (01); 3. Khớp nối (01); 4. Hộp giảm tốc, tỉ số truyền 1 - 25 (01); 5. Vỏ lắp ổ lăn (01); 6. Bàn máy trục C (01).

2.1.6. Kết cấu đầu in



Hình 6. Kết cấu đầu in

2.1.7. Kết cấu bộ cấp dây

Hình 7. Kết cấu bộ cấp dây

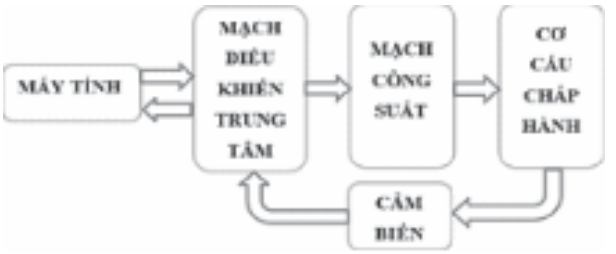
Thông số động cơ [3]: Điện áp định mức 24V; tốc độ cấp dây 40 - 200 mm/phút; đường kính bánh răng 10 mm. ☞

2.2. Tính toán thiết kế bộ điều khiển

2.2.1. Phần điều khiển máy

Hệ thống điều khiển trên máy in 3D [2, 4] quyết định toàn bộ quá trình hoạt động của máy. Board mạch như là đầu não của máy [5], làm nhiệm vụ điều khiển các linh kiện: Cảm biến, động cơ bước, điện trở gia nhiệt cho cụm đầu in và bàn in và các thiết bị khác đi kèm. Máy in 3D nhận dữ liệu ở dạng G-code NC được tạo ra từ các phần mềm hỗ trợ quá trình in 3D, hệ thống điện làm nhiệm vụ điều khiển bộ kết cấu cơ khí theo các dòng lệnh trong toàn bộ chương trình được nạp vào trong máy.

Trên cơ sở phân tích yêu cầu đối với máy in, phân tích các ưu điểm và nhược điểm của các bo mạch và thiết bị có sẵn, các phần mềm hỗ trợ in 3D. Hệ thống điều khiển máy in 3D được tác giả xây dựng như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống điều khiển máy in 3D.

- Máy tính: Được cài đặt phần mềm để mô hình hoá vật in, tạo chương trình NC, phần mềm nội suy, điều khiển máy in.

- Mạch điều khiển trung tâm: Sử dụng bo mạch Arduino Mega 2560 để đọc chương trình NC từ máy tính hoặc thẻ SD, thu thập dữ liệu từ cảm biến và công tắc hành trình để đưa ra tín hiệu điều khiển động cơ và đầu nung, đồng thời truyền dữ liệu trạng thái hoạt động của máy về máy tính.

- Mạch công suất: Sử dụng bo mạch RAMPS 1.4 và A4899 dùng để điều khiển động cơ và đầu nung.

- Cơ cấu chấp hành: Bao gồm các động cơ dẫn động sử dụng động cơ bước Nema17 220 Nm và đầu nung chuyên dụng công suất 40 W.

- Cảm biến: Cảm biến nhiệt độ NTC 100 K Thermistor để đo nhiệt độ đầu nung và bàn nhiệt. Các công tác hành trình được gắn ở đầu trên của ray trượt để giới hạn hành trình của cơ cấu.

- Mạch điều khiển Mach3 5 trục hỗ trợ giao tiếp với máy tính qua cổng LPT, hoàn toàn tương thích với phần mềm Mach3.

- Cấp nguồn qua cổng USB và các thiết bị ngoại vi độc lập nhằm tránh sốc điện cho máy tính khi vận hành.

- Điện áp nguồn ngoài có thể thay đổi trong khoảng từ 12V đến 24V.

- Tất cả các tín hiệu vào đều được bảo vệ bằng cách ly quang để bảo vệ mạch.

- Sử dụng 1 rơle, có thể dùng để điều khiển spindle.

- Có đầu ra analog (0 - 10V) để nối với bộ biến tần khi cần điều khiển tốc độ spindle.

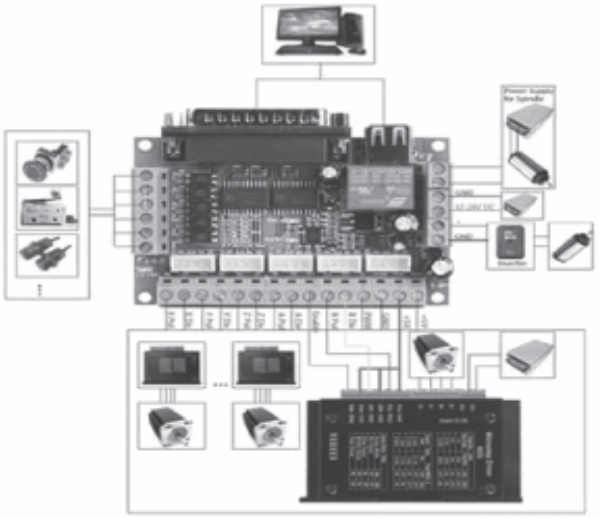
- Có thể điều khiển cùng lúc tới 5 động cơ bước (5 trục).

- Có thể kết nối với driver động cơ bước theo anot chung hoặc catot chung.

2.2.2. Linh kiện điện, điện tử điều khiển máy

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

* Linh kiện điện, điện tử:



Hình 9. Sơ đồ linh kiện điện, điện tử điều khiển máy

Linh kiện điện, điện tử điều khiển máy gồm các chi tiết chính sau:

1. Vi điều khiển bo mạch Mach3; 2. Nguồn bật tắt trục chính; 3. Nguồn điện; 4. Đầu ra biến tần và trục chính; 5. Động cơ bước 5 trục X, Y, Z, B, C; 6. Driver điều khiển động cơ bước; 7. Nút dừng khẩn cấp; 8. Công tắc giới hạn các trục; 9. Sensor giới hạn hành trình dịch chuyển; 10. Máy tính.

* Phần mềm điều khiển máy:

Để tương thích với Bob Mach3 ở trên, thì ta chọn phần mềm Mach3, Mach3 là phần mềm của hãng ArtSoft, ban đầu được thiết kế dành cho những người chế tạo máy CNC tại nhà theo sở thích nhưng đã nhanh chóng trở thành phần mềm điều khiển linh hoạt trong công nghiệp.

- Biến một máy tính cá nhân PC thành một bộ điều khiển máy CNC 5 trục với đầy đủ các tính năng.

- Cho phép import trực tiếp các file dxf, bmp, jpg và hpgl thông qua phần mềm LazyCam.

- Hiển thị G-code trực quan. Tạo ra G-code thông qua LazyCam hoặc Wizards.

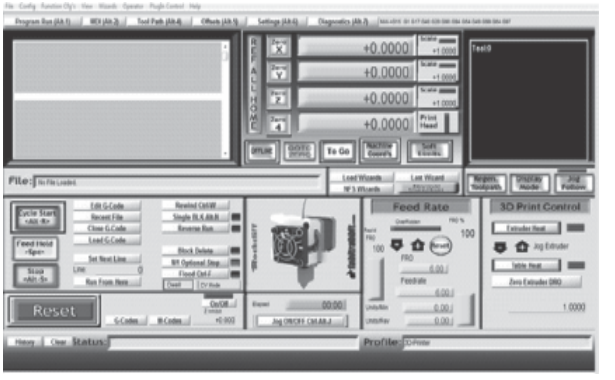
- Giao diện có thể tuỳ biến hoàn toàn theo ý thích người sử dụng. Tuỳ biến M-code và Macro bằng cách sử dụng Vbscrip.

- Điều khiển được tốc độ trục chính (Spindle). Điều khiển được nhiều rơle đóng cắt.

- Có khả năng tạo ra xung điều khiển tốc độ động cơ bằng tay. Hiển thị video khi máy chạy.

- Có khả năng dùng được với màn hình cảm ứng.

- Giao diện phần mềm có khả năng hiển thị ra toàn màn hình bất kỳ đang sử dụng.



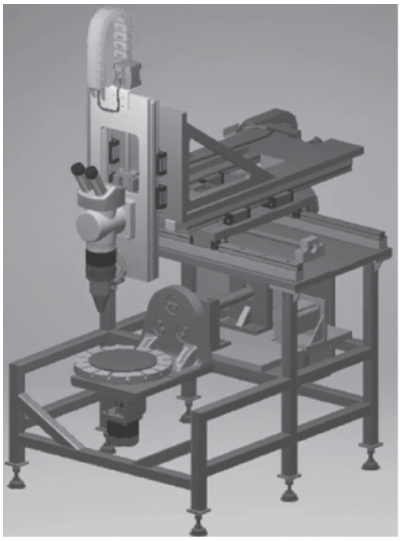
Hình 10. Giao diện phần mềm Mach3 điều khiển máy

3. KẾT CẤU MÁY

Sau khi phân tích kết cấu máy, tác giả đã ứng dụng phần mềm Unigraphics NX để thiết kế mô hình máy và mô hình phân rã của các cụm chi tiết như hình 11. ☞

Bảng 1. Thông số kỹ thuật máy:

Tên máy	Máy in 3D kim loại
Kích thước gia công	150 mm x 150 mm x 100 mm
Công suất laser	40W
Vật liệu in	Nhôm, Đồng, Thiếc …
Kết nối với máy tính	Có
Màn hình LCD	Có
Cảm biến an toàn	Có
Điện áp	220V



Hình 11. Mô hình máy hoàn chỉnh

Các chi tiết có trên máy đều được tính toán, thiết kế theo tiêu chuẩn để thuận tiện cho việc chế tạo cũng như sửa chữa và thay thế sau này.

- Trục X, Y, Z được dẫn động bằng bộ truyền vít me đai ốc bi để đạt được độ chính xác nhất trong quá trình máy hoạt động.

- Các trục B, C được tăng cường momen xoắn nhờ 2 hộp giảm tốc độ ở 2 trục.

- Sử dụng động cơ bước để truyền động cho tất cả các trục.

- Sử dụng cảm biến hành trình để giới hạn hành trình cho các trục X, Y, Z.

- Sử dụng các mối ghép bulong, mối ghép hàn và mối ghép then để bắt ghép các chi tiết để tạo thành máy.

3. TRAO ĐỔI VÀ KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một cách tổng quát hệ thống quá trình tính toán, thiết kế máy in 3D kim loại 5 trục CNC. Quá trình thiết kế, lựa chọn kết cấu đã được tiến hành dựa vào các yêu cầu đặt ra. Mô hình 3D của máy in được xây dựng hoàn chỉnh cho phép mô phỏng động học, động lực học, tính toán kiểm bền và tối ưu thiết kế để điều chỉnh và hoàn thiện trước khi chế tạo. Hệ thống điều khiển được xây dựng trên cơ sở các phần mềm, bo mạch và thiết bị có sẵn, đảm bảo tính kinh tế và tính ổn định. Trên cơ sở đó, để chế tạo máy in đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật nhằm phục vụ sản xuất thực tế cũng như giảng dạy và nghiên cứu.❖

Ngày nhận bài: **02/3/2024**
Ngày phản biện: **15/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển (2006); *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập 1, 2,* NXB. Giáo dục, Hà Nội.
[2]. Nguyễn Trọng Bản (2006); *Giáo trình tự động hoá quá trình sản xuất*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
[3]. Nguyễn Quang Hùng, Trần Ngọc Bình (2006); *Động cơ bước – kỹ thuật điều khiển và ứng dụng*, NXB. Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
[4]. Bùi Quý Lực (2006); *Hệ thống điều khiển số trong công nghiệp,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
[5]. Tống Văn On, Hoàng Đức Hải (2005); *Họ vi điều khiển 8051,* NXB. Lao động Xã hội, Hà Nội.
[6]. Nguyễn Thiện Phúc (2006); *Robot công nghiệp*, NXB. Lao động Xã hội, Hà Nội.
[7]. Hà Văn Vui, Nguyễn Chí Sáng, Phan Đăng Phong (2006); *Sổ tay thiết kế cơ khí, tập 1, 2*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CƠ CẤU TỰ ĐỘNG THU GOM VÀ PHÂN LOẠI RÁC CHO XE QUÉT RÁC TỰ ĐỘNG PHỤC VỤ TRONG KHUÔN VIÊN TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT VĨNH LONG

DESIGN, MANUFACTURER OF AUTOMATIC COLLECTION AND CLASSIFICATION OF GARBAGE FOR AUTOMATIC GARBAGE SWEEPER TRUCK SERVING ON THE CAMPUS OF VINH LONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY EDUCATION

Trần Hữu Danh
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

TÓM TẮT

Bài báo ứng dụng mềm Autodesk Inventor để thiết kế mô hình cơ cấu tự động thu gom và phân loại rác gồm: chổi quét chính, băng chuyền, sàng rung phân loại rác và thùng chứa rác; khảo sát khí động học chổi quét và băng tải trên phần mềm ANSYS, với module CFD (Computational Fluid Dynamics) để biết được ảnh hưởng của dòng khí chổi quét đến vùng làm việc của cơ cấu sàng phân loại rác; chế tạo và lắp ráp hoàn chỉnh cơ cấu đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Kết quả đạt được của bài báo có thể làm số liệu tham khảo trong tính toán, thiết kế và chế tạo nhằm hoàn thiện cơ cấu thu gom và phân loại rác cho xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật (SPKT) Vĩnh Long.

Từ khóa: *Xe quét rác; Chổi quét chính; Băng chuyền; Sàn rung.*

ABSTRACT

The paper uses Autodesk Inventor software to design a model of an automatic mechanism for collecting and classifying garbage, including: main brush, conveyor belt, vibrating screen to classify garbage and garbage can; survey the aerodynamics of brushes and conveyors on ANSYS software, with the CFD (Computational Fluid Dynamics) module to know the influence of brush air flow to the working area of the garbage sorting mechanism; fabricating and assembling complete structure to ensure technical requirements. The obtained results of the paper can serve as reference data in the calculation, design and manufacture to complete the garbage collection and classification structure for the automatic sweeper truck serving on the campus of Vinh Long University of Technology Education.

Keywords: *Sweeper truck; Main sweeper chain; Conveyor belt; Vibrating floor.*

1. GIỚI THIỆU

Khảo sát thực tế tại các đường nội bộ khuôn viên Trường Đại học SPKT Vĩnh Long thì việc thu gom rác chủ yếu là đội ngũ lao công với số lượng nhiều, việc thu gom rác cũng trở nên khó khăn, tốn nhiều công sức, đặc biệt năng suất và hiệu quả làm việc không cao, thời gian làm việc kéo dài, nên nhất thiết phải có một chiếc xe quét rác tự động, thay thế cho sức lao động của con người. Nhưng hiện nay, giá thành các loại xe này khá cao và do đặc thù địa hình khuôn viên trường học, cần phải có một chiếc xe phù hợp để đáp ứng được yêu cầu trên là rất cần thiết. Mặt khác, để đáp ứng nhu cầu phát triển của thời đại, tiến tới tự thiết kế và chế tạo các loại xe, làm chủ công nghệ chế tạo trong nước đặc biệt là đối với truyền thống của một trường đại học SPKT đào tạo ra những kỹ sư trong các lĩnh vực thiết kế và chế tạo máy thì vấn đề này được đặt lên hàng đầu, nên việc nghiên cứu "Thiết kế, chế tạo cơ cấu tự động thu gom và phân loại rác xe quét rác tự động phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học SPKT Vĩnh Long" của bài báo còn khá mới mẽ và có tính ứng dụng cao.

Công trình "Street sweeper hopper and lift mechanism" của tác giả Henry Burgdorf và cộng sự đã trình bày sáng chế xe quét rác đường phố hiện đại có phương tiện đổ rác từ bộ phận thu gom gác, xe quét rác có chổi và cơ cấu nâng được di chuyển ra khỏi đường xả của rác khi cửa phễu được mở. [1]. Công trình "Hand-guided sweeping machine" của tác giả Heinz Holsten và cộng sự đã trình bày xe quét rác tự động sử dụng cơ cấu thang cuốn bao gồm một bộ khung, một máy hút bụi gắn liền với bộ khung và một hệ thống quét [2]. Công trình "Street sweeper with vacuumized dust control" của tác giả Gregory J. Engel và cộng sự đã trình bày xe quét đường trên khung với bánh sau không có lái và bánh trước có lái. Bộ phận thu gom bụi được bố trí giữa bánh trước và sau tiếp giáp với chổi quét và được kết nối bằng đường hút với một bộ phận hút [3]. Công trình nghiên cứu "Powered sweeping machine" của tác giả Adolph H. Wendel và cộng sự đã trình bày xe quét rác được được gắn chổi quét và thùng chứa rác để thu gom rác sau khi quét. Rác sau khi quét được phân thành hai ngăn nhờ cơ cấu phân loại rác trước khi đổ rác vào bãi rác. [4]. Các công trình nghiên cứu ở trong nước, một ít có nghiên cứu lý thuyết kết hợp với chế tạo và thử nghiệm đánh giá kết quả đạt được nhưng chỉ mới dừng lại ở thiết bị nhỏ gọn, sử dụng cơ cấu đơn giản bằng tay nên hiệu quả chưa thật cao và phạm vi sử dụng còn hạn hẹp, chưa đa dạng.

2. NỘI DUNG

2.1. Khảo sát đường nội bộ, rác và công việc thu gom rác trong đường nội bộ khuôn viên Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

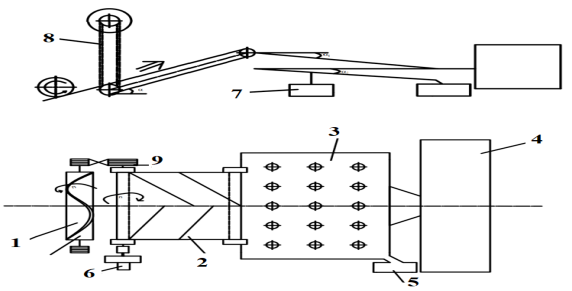
Trường Đại học SPKT Vĩnh Long có diện tích khá lớn, đường nội bộ tương đối nhiều, được nhựa và bê-tông hóa 100% nên bằng phẳng, được thiết kế thoát nước về hai bên nên mặt đường nhô lên phần giữa, bề rộng mặt đường tối thiểu 2m. Rác và bụi đa phần là rác nhẹ, một số ít bụi dạng hạt từ mịn, nhỏ, đến to: Cát, đá xanh nhỏ, sỏi, hạt nhựa nóng. Việc quét dọn thu gom rác lại làm bằng thủ công do đó tốn nhiều thời gian và năng suất thấp.

Hình 1. Đường nội bộ khuôn viên Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

2.2. Sơ đồ nguyên lý cơ cấu thu gom và tự động phân loại rác

Dựa vào nguyên lý làm việc chung của các loại xe quét rác thương mại thực tế đang sử dụng, lựa chọn sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của cơ cấu tự động thu gom và phân loại rác của xe quét rác cần thiết kế chế tạo gồm các thành phần chính: Chổi quét chính (1), băng tải (2), sàng rung phân loại rác (3), thùng chứa rác lớn (4) và thùng chứa rác nhỏ (5).



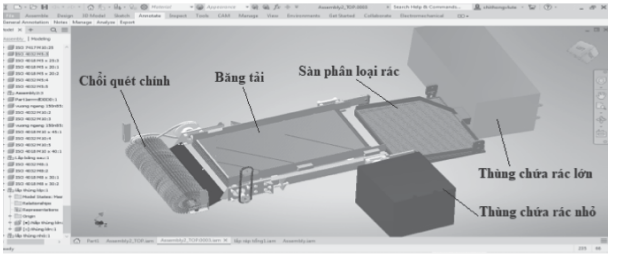
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý cơ cấu phân loại rác: 1 - Chổi quét chính; 2 - Băng tải; 3 - Sàng rung; 4 - Thùng rác lớn; 5 - Thùng rác nhỏ; 6 - Động cơ băng tải; 7 - Động cơ rung; 8 - Xích; 9 - Đai.

Trong sơ đồ nguyên lý trên gồm các bộ phận chính: Động cơ chính dùng để kéo băng tải chuyển động qua bộ truyền xích để mang rác vào thùng chứa; Dây đai chéo được bắt từ trục rulo dẫn động băng tải đến trục chính của chổi, làm cho chổi chính chuyển động ngược chiều với chuyển động của băng tải, giúp đẩy rác vào băng tải; Chổi quét chính dùng để quét rác vào băng tải; Sàng phân loại rác (3) dùng để phân loại rác nhỏ và rác lớn vào hai thùng chứa rác; Thùng chứa rác dùng để thu gom rác sau khi đã phân loại. Phương án bố trí chổi quét chính, băng tải, sàng phân loại rác và thùng chứa rác nằm dưới khung gầm xe là phù hợp nhất.

Nguyên lý hoạt động: Rác được chổi chính cuộn lên băng tải và được di chuyển lên phía trên băng tải nhờ cấu tạo băng tải có gân giữ cho rác đi lên, rác tiếp tục theo băng tải qua cơ cấu sàng, sàng sẽ phân loại rác theo kích thước định sẵn loại rác nhờ động cơ rung để những loại rác có kích thước nhỏ lọt qua lỗ sàng đến thùng chứa thứ nhất, rác lớn còn lại qua thùng chứa thứ hai.

2.3. Thiết kế, lắp ráp hoàn chỉnh mô hình trong phần mềm Autodesk Inventor

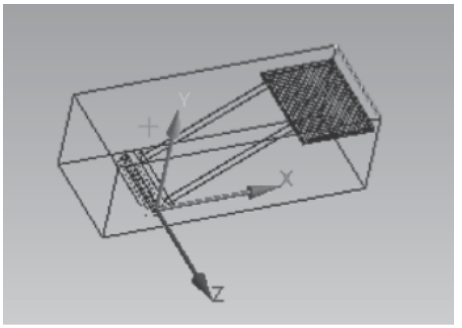
Các cơ cấu chổi quét chính, băng tải, sàn phân loại rác, thùng chứa rác lớn, thùng chứa rác nhỏ được thiết kế và lắp ghép hoàn chỉnh trong phần mềm Autodesk Inventor. Rác được chổi quét chính cuộn lên băng tải và được di chuyển lên phía trên băng tải nhờ cấu tạo băng tải có gân giữ cho rác đi lên, rác tiếp tục theo băng tải qua cơ cấu sàng, sàng sẽ phân loại rác theo kích thước định sẵn loại rác nhờ động cơ rung để những loại rác có kích thước nhỏ lọt qua lỗ sàng đến thùng chứa thứ nhất, rác lớn còn lại qua thùng chứa thứ hai.



Hình 3. Lắp ráp hoàn chỉnh cơ cấu

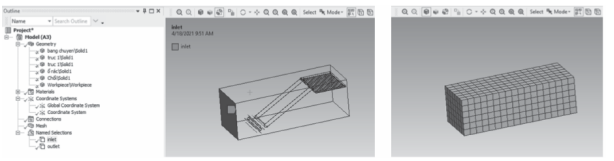
2.4. Khảo sát khí động học chổi quét và băng tải trên phần mềm ANSYS

Khảo sát khí động học khi cơ cấu hoạt động luồng khí đầu vào (Inlet) di chuyển từ chổi quét đến băng tải và cuối cùng đầu ra (Outlet) là sàng phân loại, khảo sát quá trình hoạt động sẽ ảnh hưởng như thế nào quá trình quét rác và di chuyển rác trên băng tải. Khởi tạo thiết kế không gian mô phỏng cho cơ cấu chổi quét và băng tải. ☞



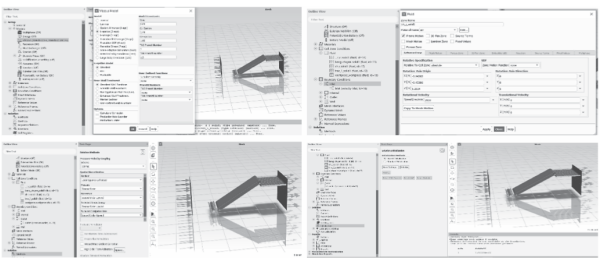
Hình 4. Khởi tạo không gian mô phỏng

Tiến hành chia cài đặt dòng khí mô phỏng đầu vào và đầu ra cho cơ cấu mô phỏng, rời rạc hóa mô hình (chia lưới): Sử dụng phương pháp chia lưới tứ diện không cấu trúc, dùng phần mềm chia lưới Ansys Meshing. Cụ thể, các tham số chính của lưới được lựa chọn như sau: Min size=0.001[m]; First layer height=0.001[m]. Các tùy chọn khác để mặc định; Kết quả thu được: Số nút lưới là 401998; Chất lượng trực giao lưới (Orthogonal Quality) là min=0.034 (chấp nhận được).



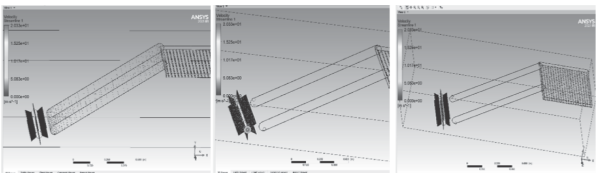
Hình 5. Chia lưới mô phỏng

Cài đặt các thông số đầu vào, tiến hành khởi chạy mô phỏng điều kiện đầu vào quá trình mô phỏng vật liệu khảo sát là thép và vận tốc V_0 = 10km/h, tốc độ vòng quay trục chính của băng tải là n_o = 500 vòng/phút.



Hình 6. Cài đặt thông số đầu vào

Sau khi mô phỏng hoàn tất, ta được kết quả mô phỏng dòng di chuyển của rác được mô phỏng di chuyển như hình. Rác được chổi quét chính cuộn lên băng tải và được di chuyển lên phía trên băng tải nhờ cấu tạo băng tải có gân giữ cho rác đi lên, rác tiếp tục theo băng tải qua cơ cấu sàng. Quá trình mô phỏng cho thấy dòng khí mô phỏng không tác động xấu đến quá trình làm việc của cơ cấu, hỗ trợ cho quá trình hoạt động của cơ cấu.

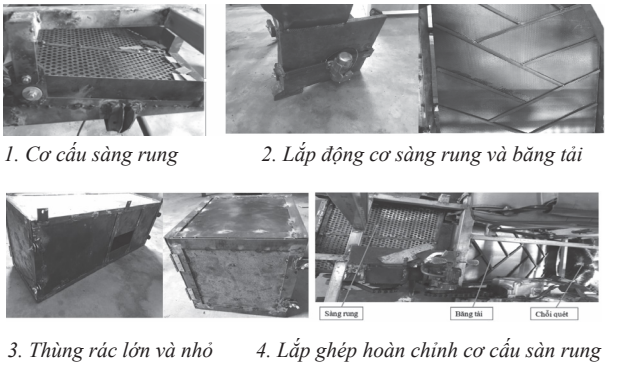


Hình 7. Kết quả mô phỏng dòng di chuyển của rác

2.5. Chế tạo và lắp ghép hoàn chỉnh các cơ cấu

Yêu cầu chế tạo đơn giản, lắp ráp dễ dàng cho người sử dụng, khả năng vận hành hiệu quả của cơ cấu thu gom và phân loại rác và tính ổn định của cơ cấu khi hoạt động.

Sàn rung, băng tải, thùng chứa rác lớn, thùng chứa rác nhỏ sau khi chế tạo được lắp ghép hoàn chỉnh thành cơ cấu thu gom và phân loại rác. Cơ cấu này được lắp ghép với khung và cơ cấu vận hành của xe và cơ cấu quét, hút lọc bụi để tạo thành xe quét rác hoàn chỉnh phục vụ trong khuôn viên Trường Đại học SPKT Vĩnh Long.



1. Cơ cấu sàng rung *2. Lắp động cơ sàng rung và băng tải*

3. Thùng rác lớn và nhỏ *4. Lắp ghép hoàn chỉnh cơ cấu sàn rung*

Hình 8. Các chi tiết và cơ cấu được chế tạo

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Hình 9. Lắp ghép hoàn chỉnh sàn rung với khung và cơ cấu vận hành

3. KẾT LUẬN

Kết quả đạt được của bài báo là đã xây dựng được sơ đồ nguyên lý hoạt động của cơ cấu quét và phân loại rác; Thiết kế các chi tiết và lắp ráp hoàn chỉnh mô hình cơ cấu trong phần mềm thiết kế Autodesk Inventor; Khảo sát khí động học chổi quét và băng tải trên phần mềm ANSYS, với module CFD (Computational Fluid Dynamics) để biết được ảnh hưởng của dòng khí chổi quét đến vùng làm việc của cơ cấu sàng phân loại rác; Đã chế tạo, lắp ráp hoàn chỉnh cấu tự động thu gom và phân loại rác xe quét rác đảm bảo yêu cầu kỹ thuật; Kết quả thử nghiệm phù hợp với thực tế hoạt động của xe quét rác tự động; Kết quả đạt được của công trình nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn, làm cơ sở khoa học cho việc nghiên cứu thiết kế và chế tạo xe quét rác phục vụ trong hệ thống các trường học, công viên… góp phần tạo tiền đề để có thể phát triển, tối ưu hơn ở những nghiên cứu sau.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long. Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu, quý thầy, cô đồng nghiệp đã hỗ trợ để tác giả hoàn thành công trình nghiên cứu, xin chân thành cảm ơn đến Tạp chí Cơ khí Việt Nam đã tạo điều kiện để tác giả tham gia bài báo.❖

Ngày nhận bài: **06/4/2024**
Ngày phản biện: **24/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Henry Burgdorf, Long Beach, Calif, *Street sweeper hopper and lift mechanism.*
[2]. Heinz Holsten, Fintel; Joachim Bahnemann, Bad Oldesloe, both of Fed. Rep. of Germany, *Hand-guided sweeping machine.*
[3]. Gregory J. Engel, Plymouth, MN (US); Steven L. Boomgaarden, Rosemont, MN (US), *Street sweeper with vacuumized dust control.*
[4]. Adolph H. Wendel; Richard G. Worwa, both of Minneapolis, Minn, *Powered sweeping machine.*

THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH BỘ THÔNG SỐ TỐI ƯU GIA CÔNG CẮT DÂY BÁNH RĂNG TRỤ NGOÀI RĂNG THẲNG BẰNG VẬT LIỆU THÉP C45

EXPERIENCE TO DETERMINATE THE OPTIMIZED SET OF PARAMETERS WHEN WIRE-EDM MACHINING EXTERNAL SPUR GEARS STRAIGHT TEETH C45 STEEL

Trần Hữu Danh
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này là tìm ra bộ thông số EDM tối ưu có thể tối đa hóa chất lượng và độ chính xác của gia công bánh răng hình trụ bên cạnh răng thẳng làm bằng vật liệu thép C45. Ba thông số chính là Tốc độ di chuyển trục chính n (mm/s), Hệ số ngắn mạch s (mm), Bù dây f (mm) đã được nghiên cứu bằng phương pháp Box-Behnken. Phân tích phương sai đã được áp dụng để tìm ra tác động đáng kể của các thông số EDM, cho thấy n và s có ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt (Rz), trong khi f có ảnh hưởng nhiều nhất đến Đường kính vòng đỉnh (D) của răng bằng cách sử dụng mô-đun Responce Optimizer của phần mềm Minitab để tiến hành xác định độ nhám tối thiểu (Ra_{min}) và đường kính vòng cực đại tối đa (D_{max}) của bánh răng, từ đó cung cấp bộ thông số tối ưu để đánh giá sau khi gia công là đáng tin cậy và có thể được mở rộng sang thực hành gia công EDM cho các loại chi tiết khác nhau.

Từ khóa: *Máy cắt dây; Bánh răng; C45; Phương pháp Box-Behnken; Độ nhám bề mặt.*

ABSTRACT

The aim of this research is to find the optimal set of EDM parameters that can maximize the quality and precision of machining cylindrical gears in addition to straight teeth made of C45 steel material. The three main parameters namely Spindle Movement Speed n (mm/s), Short circuit coefficient s (mm), Wire compensation f (mm) were investigated using the Box-Behnken method. Variance analysis was applied to find the significant impact of EDM parameters, showing that n and s had the most influence on surface roughness (Rz), while f had the most influence on the Peak Ring Diameter (D) of teeth using the Responce Optimizer module of Minitab software to conduct the determination of minimum roughness (Ra_{min}) and peak ring diameter maximum (D_{max}) of gears, thereby providing the optimal set of parameters for evaluation after machining is reliable and can be extended to EDM processing practice for different types of parts.

Keywords: *WEDM; Surface Roughness; Box-Behnken method; C45.*

1. GIỚI THIỆU

Thép C45 là loại thép hợp kim cacbon cao có độ cứng và độ bền kéo thích hợp cho việc chế tạo khuôn, ứng dụng trong cơ khí, các bộ phận chịu tải trọng cao và va đập mạnh. Trong lịch sử, việc gia công bánh răng hình trụ bên ngoài răng thẳng bằng vật liệu thép C45 thường sử dụng các phương pháp gia công truyền thống như tạo hình phay được thực hiện bằng dao phay tạo hình có profin phù hợp với profin của rãnh răng. Hiện nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ, ngoài các phương pháp gia công truyền thống như trên, các phương pháp gia công phi truyền thống như máy cắt dây điện (EDM) [1] được sử dụng để gia công nhiều dạng bề mặt phức tạp với độ chính xác cao như lỗ hình, đặc biệt là các khe hẹp có vòng cung cong, gia công lỗ trong khuôn đục lỗ, khuôn ép kim loại, gia công điện cực cho máy xung EDM, dùng để cắt các đường viền phức tạp như cấu hình cam, cấu hình thân bánh răng, cấu hình spline, cắt mặt ba chiều, chẳng hạn như bề mặt bánh răng nghiêng, cánh tua-bin, khối hình nón, chi tiết xoắn ốc, parabol... [5] từ đó nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả của sản phẩm. Do đó, việc ứng dụng công nghệ EDM để gia công bánh răng hình trụ ngoài răng thẳng bằng vật liệu thép C45 xác định các thông số công nghệ tối ưu khi gia công thép để gia công bánh răng hình trụ ngoài răng thẳng bằng vật liệu thép C45 có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Trong nghiên cứu này, ba thông số đầu vào đã được tính đến. Sử dụng phương pháp Box-Behnken, tìm bộ tham số tối ưu cho độ nhám bề mặt và hồ sơ chi tiết.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mẫu thí nghiệm

Đối với thí nghiệm, lựa chọn thép C45 có hàm lượng carbon cao, có nhiều ứng dụng trong lĩnh vực cơ khí chế tạo, có khả năng chịu lực và kéo tốt. Thành phần hóa học của thép được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép C45

	Thành phần hóa học						
Thép	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
C45	0.42~0.5	0.17~0.37	0.5~0.8	0.04	≤0.04	≤0.25	≤0.25

2.2. Thiết bị thí nghiệm và dụng cụ đo

Trong nghiên cứu này, thiết bị cắt dây DW35 là thiết bị xử lý xung điện, trong đó điện cực âm trên máy là dây kim loại có đường kính 0.1-0.3mm. Đây là sự khác biệt cơ bản giữa máy cắt dây tia lửa và các máy xử lý xung khác, đạt được độ chính xác rất cao khi gia công (Hình 1).

Hình 1. Thiết bị máy cắt dây DW35

a) Thiết bị đo tọa độ Benchmark 5.4.4

b) Thiết bị đo độ nhám Mitutoyo SJ-210

Hình 2. Thiết bị kiểm tra

Sử dụng dụng cụ đo tọa độ Benchmark 5.4.4 CMM để kiểm tra biên dạng hình học của chi tiết (Hình 2a). Thiết bị đo độ nhám Mitutoyo SJ-210 để kiểm tra độ nhám bề mặt chi tiết (Hình 2b).

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Mục đích của nghiên cứu này là dựa trên công suất máy, vật liệu cắt và dây cắt, chọn ba thông số đầu vào tương ứng: Tốc độ di chuyển trục chính (n), hệ số ngắn mạch (S), bù dây (f) để khảo sát chất lượng độ nhám bề mặt và biên dạng chi tiết [1-4]. Bố cục của ma trận thực nghiệm như Bảng 2.

Bảng 2. Thông số đầu vào và các mức được điều tra.

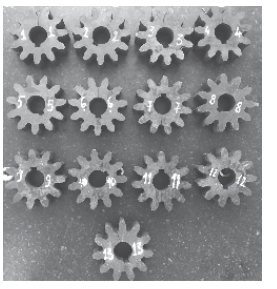
Thông số đầu vào	Ký hiệu		Giá trị biến thiết kế		
	Tự nhiên	Mã hoá	Mức (-1)	Mức (0)	Mức (+1)
Tốc độ di chuyển trục chính	n (mm/s)	A	100	125	150
Hệ số đoản mạch	S (mm)	B	8	9	10
Bù dây	f (mm)	C	0.1	0.11	0.12

2.4. Thí nghiệm

Sử dụng quy hoạch bậc hai Box-Behnken ba yếu tố có thể mô tả tốt các tính chất của đối tượng nghiên cứu trong không gian thiết kế với quy hoạch bậc hai, phương trình hồi quy có dạng bậc hai [7], vì vậy có thể tối ưu hóa để tìm các tham số công nghệ phù hợp để có được các tham số đầu ra tốt nhất với phương trình hồi quy đa thức có dạng chung là công thức (1):

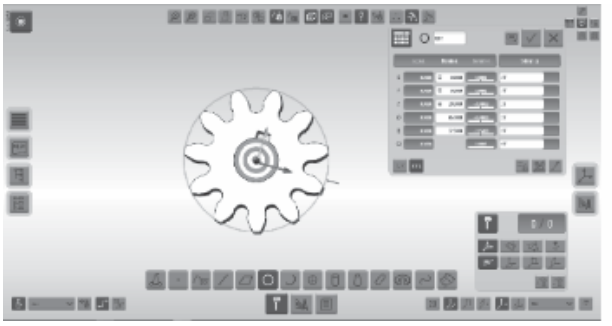
$$y = b_o + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j=1}^{k}{}_{i<j} b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

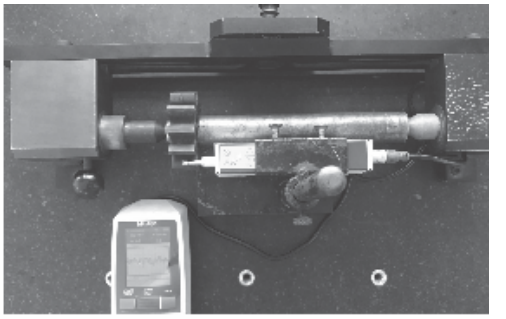
Trong đó, các thông số đầu ra lần đầu tiên được nghiên cứu là độ nhám (Ra) bề mặt và biên dạng chi tiết (D). Ma trận lập kế hoạch ở dạng tự nhiên và giá trị trung bình của ba phép đo và thử nghiệm (hình 4) sau khi gia công (hình 3) được thể hiện trong Bảng 3.



Hình 3. Sản phẩm sau khi gia công theo ma trận thí nghiệm

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn





Hình 4. Đo kiểm sản phẩm sau khi cắt dây DW35

Bảng 3. Thông số đầu vào và kết quả đầu ra

No	n	S	f	Độ nhám Ra	Đường kính vòng đỉnh (D)
1	100	8	0.11	2.542	64.9286
2	150	8	0.11	2.488	64.9443
3	100	10	0.11	2.545	64.9368
4	150	10	0.11	2.789	64.9434
5	100	9	0.1	2.613	64.9118
6	150	9	0.1	2.819	64.9971
7	100	9	0.12	2.977	65.0306
8	150	9	0.12	2.960	64.9676
9	125	8	0.1	2.548	64.9010
10	125	10	0.1	2.820	64.8999
11	125	8	0.12	2.911	64.9410
12	125	10	0.12	2.943	64.9494
13	125	9	0.11	2.371	65.0552
14	125	9	0.11	2.371	65.0552
15	125	9	0.11	2.371	65.0552

3. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

3.1. Độ nhám bề mặt Ra

Sử dụng phần mềm Minitab, tính toán phương trình hồi quy ở dạng tổng quát chung được hiển thị trong bảng 4.

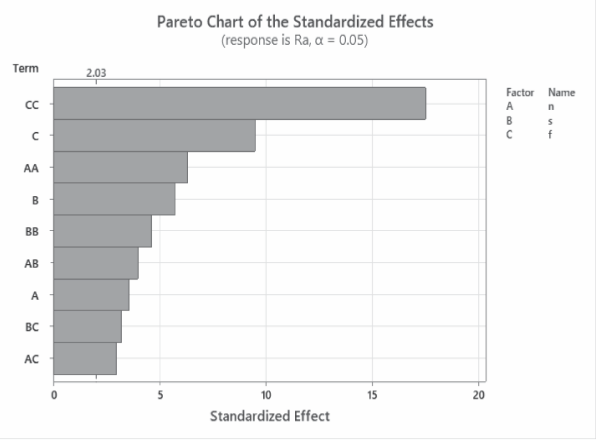
Bảng 4. Các hệ số của phương trình hồi quy hoàn chỉnh của độ nhám

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	2.3110	0.0217	106.73	0.000
n	0.0474	0.0133	3.57	0.001
s	0.0760	0.0133	5.73	0.000
f	0.1255	0.0133	9.47	0.000
n*n	0.1234	0.0195	6.32	0.000
s*s	0.0900	0.0195	4.61	0.000
f*f	0.3412	0.0195	17.48	0.000
n*s	0.0745	0.0188	3.97	0.000
n*f	0.0557	0.0188	-2.97	0.005
s*f	0.0600	0.0188	-3.20	0.003

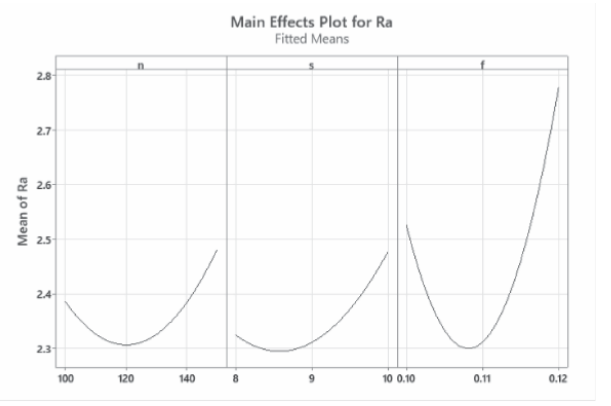
Phương trình hồi quy đặc trưng cho ảnh hưởng của các tham số đầu vào đến độ nhám bề mặt:

$$Ra = 46.01 - 0.0497\ n - 1.256\ s - 656.2\ f + 0.000197\ n^2 + 0.0900\ s^2 + 3412\ f^2 + 0.002980\ ns - 0.2230\ nf - 6.00\ sf \quad (2)$$

Phân tích các hệ số có ảnh hưởng nhiều nhất đến phương trình hồi quy vừa tìm thấy. Dựa trên sơ đồ Pareto (Hình 5), tìm thấy các hệ số ảnh hưởng nhiều nhất đến phương trình hồi quy: Tương tác bậc 2 bù dây; bù dây; tương tác bậc 2 tốc độ di chuyển trục chính.



Hình 5. Biểu đồ Pareto thể hiện mức độ ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt



Hình 6. Kết quả phân tích ảnh hưởng các thông số đến độ nhám bề mặt

Từ biểu đồ (Hình 6) cho thấy ảnh hưởng của hai thông số đầu vào ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt, đó là hệ số bù dây ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt của chi tiết bánh răng. Cũng từ biểu đồ, ta thấy rằng khi tăng tốc độ di chuyển trục chính từ mức (-1), độ nhám giảm từ giá trị 2.4 về mức cực tiểu 2.3 tại vùng cận mức tâm (0), sau đó tăng tới giá trị lớn nhất là 2.5; khi tăng hệ số đoản mạch từ mức (-1), độ nhám giảm từ giá trị 2.35 về mức cực tiểu 2.3 tại vùng cận mức tâm (0), sau đó tăng tới giá trị lớn nhất là 2.5; khi tăng giá trị bù dây từ mức (-1), độ nhám giảm từ giá trị 2.5 về mức cực tiểu 2.3 tại vùng cận mức tâm (0), sau đó tăng tới giá trị lớn nhất là 2.8.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3.2. Đường kính vòng đỉnh D

Sử dụng phần mềm Minitab, tính toán phương trình hồi quy ở dạng tổng quát chung cho đường kính vòng đỉnh được hiển thị trong bảng 5.

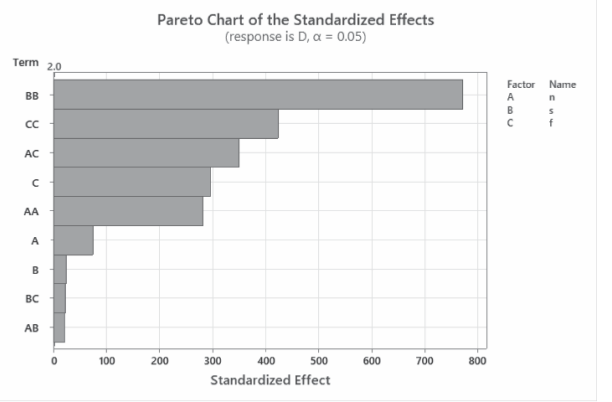
Bảng 5. Các hệ số của phương trình hồi quy hoàn chỉnh của đường kính vòng đỉnh

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	65.0546	0.0001	530327.73	0.000
n	0.005575	0.000075	74.22	0.000
s	0.001825	0.000075	24.29	0.000
f	0.022225	0.000075	295.86	0.000
n*n	-0.031113	0.000111	-281.38	0.000
s*s	-0.085312	0.000111	-771.56	0.000
f*f	-0.046812	0.000111	-423.37	0.000
n*s	-0.002275	0.000106	-21.41	0.000
n*f	-0.037075	0.000106	-348.99	0.000
s*f	0.002375	0.000106	22.36	0.000

Phương trình hồi quy đặc trưng cho ảnh hưởng của các tham số đầu vào đến đường kính vòng đỉnh bánh răng:

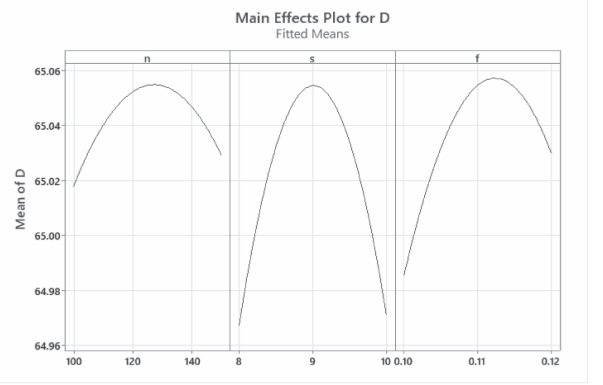
$$D = 49.5070 + 0.029800\ n + 1.52270\ s + 121.610\ f - 0.000050\ n*n - 0.085312\ s*s - 468.12\ f*f - 0.000091\ n*s - 0.148300\ n*f + 0.2375\ s*f \quad (3)$$

Phân tích các hệ số có ảnh hưởng nhiều nhất đến phương trình hồi quy vừa tìm thấy. Dựa trên sơ đồ Pareto (Hình 7), tìm thấy các hệ số ảnh hưởng nhiều nhất đến sai lệch đường kính đỉnh D: Tương tác bậc 2 của hệ số đoản mạch; tương tác bậc 2 của bù dây.



Hình 7. Biểu đồ Pareto thể hiện mức độ ảnh hưởng đến đường kính vòng đỉnh

Từ đồ thị (Hình 8) cho thấy ảnh hưởng của các tham số đầu vào ảnh hưởng nhiều nhất đến đường kính vòng đỉnh, cụ thể là Tốc độ di chuyển ảnh hưởng nhiều nhất đến đường kính vòng đỉnh của bánh răng. Qua đồ thị, ta thấy rằng khi tăng tốc độ di chuyển trục chính từ mức (-1), đường kính vòng đỉnh của bánh răng tăng từ giá trị thấp nhất và đạt giá trị lớn nhất ở vùng tâm quy hoạch, sau đó giảm dần; khi tăng hệ số đoản mạch từ mức (-1), đường kính vòng đỉnh của bánh răng tăng từ giá trị thấp nhất và đạt giá trị lớn nhất ở vùng tâm quy hoạch, sau đó giảm dần; thấy rằng khi tăng bù dây từ mức (-1), đường kính vòng đỉnh của bánh răng tăng từ giá trị thấp nhất và đạt giá trị lớn nhất ở vùng tâm quy hoạch, sau đó giảm dần.



Hình 8. Kết quả phân tích ảnh hưởng các thông số đến đường kính vòng đỉnh

3.3. Tối ưu thông số

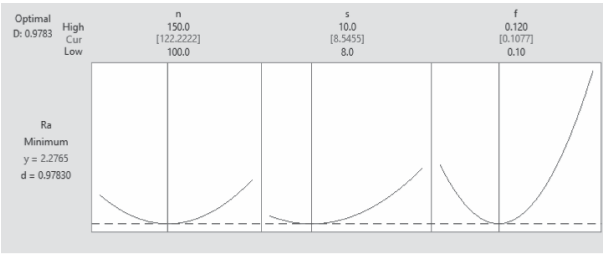
3.3.1. Tối ưu độ nhám Ra

Tối ưu hóa các thông số độ nhám bề mặt Ra, sử dụng phần mềm Minitab để tiến hành xác định độ nhám bề mặt tối thiểu (Ra_{min}) có thể đạt được bảng 6.

Bảng 6. Bảng thông số đầu vào của độ nhám bề mặt

Solution	n	s	f	Ra Fit
1	122.222	8.54545	0.107677	2.27654

Kết quả có giá trị 0,978299, kết luận là hoàn toàn phù hợp với các điều kiện đầu vào.



Hình 9. Biểu đồ hiển thị các tham số đầu vào cho Ra

Độ nhám bề mặt đạt giá trị cực tiểu ở các giá trị tham số đầu vào là:

Thông số đầu vào	Giá trị
n	122.222
s	8.54545
f	0.107677

Với bộ giá trị tham số tối ưu cho kết quả giá trị tối thiểu của độ nhám bề mặt được tạo thành dự đoán là: 2,27654µm.

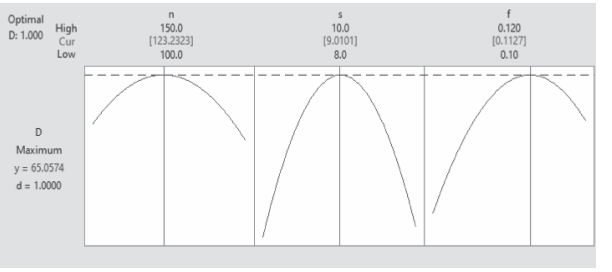
3.3.2. Tối ưu hóa đường kính vòng đỉnh D

Sử dụng phần mềm Minitab tối ưu hóa bộ thông số cho đường kính đỉnh D với đường kính vòng đỉnh tối đa có thể đạt được (D_{max}) Bảng 7.

Bảng 7. Bảng thông số đầu vào của đường kính vòng đỉnh

Solution	n	s	f	D Fit
1	123.232	9.01010	0.112727	65.0574

Kết quả có giá trị là 1 kết luận hoàn toàn phù hợp với điều kiện đầu vào.



Hình 10. Sơ đồ biểu thị các tham số đầu vào cho đường kính vòng đỉnh D

Kết luận rằng đường kính vòng đỉnh đạt giá trị tối đa ở các giá trị tham số đầu vào là:

Thông số đầu vào	Giá trị
n	123.232
s	9.0101
f	0.112727

Với bộ thông số tối ưu, giá trị tối đa của đường kính vòng cực đại của bánh răng được hình thành được dự đoán là: 65.0574 mm.

3.3.3. Tối ưu hóa bộ thông số ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt Ra và đường kính vòng đỉnh D

Sử dụng phần mềm Minitab, tối ưu hóa hai bộ thông số Ra và D với điều kiện đầu vào là độ nhám tối thiểu (Ra) và đường kính tối đa (D) của bánh răng. Sau khi thiết lập tính toán,

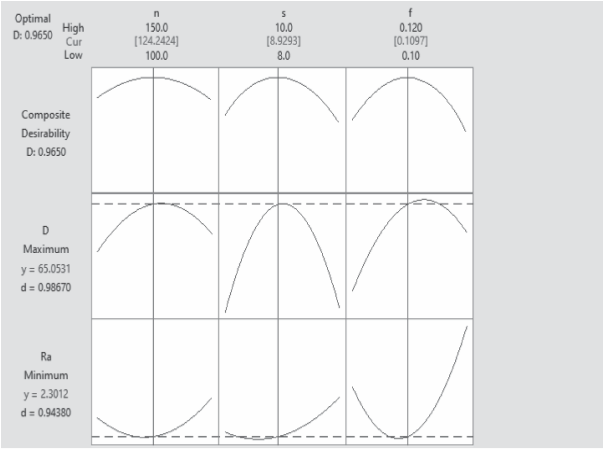
ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

nhận được bảng giá trị tham số đầu vào như Bảng 8.

Bảng 8. Bảng giá trị thông số đầu vào Ra và D

Solution	n	s	f	D Fit	Ra Fit
1	124.242	8.92929	0.109697	65.0531	2.30124

Kết quả có giá trị 0,965012, hoàn toàn phù hợp với các điều kiện đầu vào.



Hình 11. Đồ thị các thông số đầu vào ảnh hưởng đến độ nhám và đường kính bánh răng

Kết luận rằng kết quả tối ưu hoá đa mục tiêu giá trị cực đại đường kính vòng đỉnh tạo thành và cực tiểu độ nhám bề mặt chi tiết tạo thành có các giá trị thông số đầu vào là:

Thông số đầu vào	Giá trị
n	124.242
s	8.92929
f	0.109697

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
D	65.0531	0.0001	(65.0529, 65.0534)	(65.0523, 65.0539)
Ra	2.3012	0.0216	(2.2574, 2.3451)	(2.1623, 2.4402)

Với kết quả phản hồi là 95%, bộ tham số n = 124 mm/s; s = 9; f = 0,11 mm là chế độ cắt tối ưu cho thiết bị khi gia công thép C45.

4. KẾT LUẬN

Kết quả thu được từ bài báo xác định rằng n = 122,22 (mm/s) và s = 8,54545 (mm) có ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt (Ra) và đạt giá trị tối thiểu Ra_{min} = 2,27654 (μm), trong khi f = 0,112727 (mm) ảnh hưởng nhiều nhất đến Đường kính vòng đỉnh (D) và đạt giá trị tối đa D_{max} = 65,0574 (mm). Phân tích tổng hợp cho thấy giá trị tối đa của đường kính tối đa của vòng đỉnh hình thành và giá trị tối thiểu của độ nhám bề mặt được hình thành có các giá trị tham số đầu vào là: n = 124 (mm/s); s = 9 (mm); f = 0,11 (mm) là chế độ cắt tối ưu để gia công thép C45. Với bộ thông số tối ưu này có thể làm cơ sở cho những công trình nghiên cứu tiếp theo, cũng nhằm mục đích gia công các chi tiết, cơ cấu máy bằng thép C45 khác và có thể mở rộng sang gia công cắt dây cho các loại chi tiết khác nhau với các loại vật liệu khác nhau.

Lời cảm ơn:

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long và Ban Biên tập Tạp chí Cơ khí Việt Nam đã tạo điều kiện để tác giả tham gia bài báo.❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**
Ngày phản biện: **25/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Tran Huu Danh, Nguyen Hong Linh, Bui Thanh Danh, Pham Duc Lam, Nguyen Anh Tuan, Hoang Xuan Tu, and Nguyen Dinh Ngoc, *Studying the Impacts of Dressing Parameters on the Surface Roughness and* ☞

Material Removal Rate when Wire-EDM curve profile of hardened SKD11 steel, ICERA 2022.

[2]. Trieu Quy Huy, Tran Huu Danh, Bui Thanh Danh, Nguyen Van Cuong, Tran Quoc Hoang, Nguyen Manh Cuong, and Nguyen Thanh Tu, *Multi-Criteia Decision Making in wire-EDM Process Using MARCOS Method*, ICERA 2022.

[3]. Nguyen Anh Tuan, Nguyen Hong Linh, Tran Huu Danh, Nguyen Huu Luan, Bui Thanh Danh, Do Thi Tam, Nguyen Thi Quoc Dung, and Nguyen Dinh Ngoc*, *Influence of WEDM Process Parameters on Material Removal Rate when Machining Circular Profile of Hardened SKD11 Steel*, ICERA 2022.

[4]. Nguyen Hong Linh, Bui Thanh Danh, Pham Duc Lam, Tran Huu Danh, Nguyen Huu Quang, Nguyen Thanh Tu, and Do Thi Tam*, *Effect of Input Factors on Material Removal Speed in Electrical Discharge Machining SKD11 Tool Steel,* ICERA 2022.

[5]. Pradhan, M.K. and C.K. Biswas, *Modelling of machining parameters for MRR in EDM using response surface methodology*, 2008.

[6]. S.L.C. Ferreira,, R.E. Bruns, H.S. Ferreira, G.D. Matos, J.M. David,G.C. Brand˜ao, E.G.P. da Silv, L.A.Portugal, P.S. dos Reis, A.S. Souza, W.N.L. dos Santo, Box-Behnken design: *An alternative for the optimizationof analytical methods.*

[7]. Nguyen Huu Loc, *Planning and Experimental Analysis*, HCMUT-VNU-HCM, 2011.

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN LQR VÀO HỆ THỐNG TREO BÁN TÍCH CỰC

RESEARCH ON APPLICATION OF LQR CONTROLLER IN SEMI-ACTIVE SUSPENSION SYSTEM

Lê Bảo Việt, Nguyễn Tiến Dũng, Trịnh Minh Hoàng
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ngành công nghiệp ô tô trên thế giới đã có những bước phát triển vượt bậc trong những năm gần đây. Ngày nay, ô tô ngày càng hiện đại và là một phương tiện giao thông đường bộ không thể thiếu trong việc phát triển kinh tế, đặc biệt là với kinh tế Việt Nam. Để đáp ứng những nhu cầu ngày càng tăng cao trong việc vận chuyển người và hàng hóa, đòi hỏi những chiếc ô tô di chuyển trên đường phải có tính bền bỉ, êm dịu và có tính đa dụng. Có thể nói hệ thống treo là một phần quan trọng không thể thiếu trên ô tô hiện đại, hệ thống này giúp đảm bảo sự êm dịu cho người và hàng hóa trên ô tô, ngoài ra hệ thống treo cũng góp phần không nhỏ vào việc đảm bảo tính ổn định cho xe khi di chuyển trên đường. Phần lớn các ô tô hiện nay vẫn sử dụng các hệ thống treo thụ động được cấu tạo từ các cụm chi tiết cơ khí, các hệ thống treo kiểu này thường đơn giản, dễ tháo lắp và sửa chữa nhưng tính êm dịu lại chưa cao. Một số các hãng xe đã bắt đầu phát triển và ứng dụng hệ thống treo bán tích cực trên xe của mình và cho thấy những hiệu quả tích cực trong việc cải thiện độ êm dịu và tính năng động học của xe. Việc nghiên cứu hệ thống treo đòi hỏi chi phí thử nghiệm rất lớn, vậy nên trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển LQR vào hệ thống treo bán tích cực bằng phương pháp mô phỏng số, kết quả của nghiên cứu có thể được ứng dụng để lựa chọn và tính toán bộ điều khiển trong thực tế, giúp giảm thời gian và chi phí thử nghiệm.

Từ khóa: *Hệ thống treo bán tích cực; Bộ điều khiển LQR; Phương pháp mô phỏng số; Hệ thống treo thụ động.*

ABSTRACT

The world automobile industry has made remarkable progress in recent years. Today, cars are increasingly modern and are an indispensable means of road transport in economic development, especially the Vietnamese economy. To meet the increasing demand for moving people and goods, cars on the road must be durable, light and versatile. It can be said that the suspension system is an important and indispensable part of modern cars. This system helps ensure comfort for people and goods in the vehicle. In addition, the suspension system also contributes significantly to the success of the car. Ensures the vehicle's stability when traveling on the road. Most cars today still use passive suspension systems made up of mechanical assemblies. These types of suspension systems are often simple, easy to disassemble and repair, but are not highly recyclable. Some automakers ☞

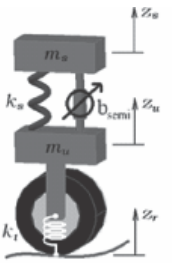
have begun to develop and apply semi-active suspension systems on their vehicles and are seeing positive effects in improving driving feel and vehicle dynamics. Research on suspension systems requires huge testing costs, so in this study the authors conducted research on applying the LQR controller to semi-active suspension systems using numerical simulation methods and obtained results. as follows: Research results can be applied to select and calculate controllers in practice, helping to reduce testing time and costs.

Keywords: *Semi-active suspension systems; LQR controller; Numerical simulation method; Passive suspension.*

1. TỔNG QUAN

1.1. Hệ thống treo bán tích cực

Không giống như các thiết kế hệ thống treo thụ động, hệ thống treo bán tích cực có khả năng điều chỉnh đặc tính động của hệ thống. Với khả năng này, hệ thống treo bán tích cực có thể thích ứng với các lực giảm chấn tốt hơn, phù hợp hơn khi hệ thống chịu tác động từ ngoại lực. Đối với hệ thống treo bán tích cực, các nhà thiết kế đã cố gắng thay đổi lực cản giảm chấn bằng một số phương án khác nhau, như: Thay đổi tiết diện của van tiết lưu trong giảm chấn hoặc thay đổi độ nhớt của dầu dùng trong giảm chấn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu về hệ thống treo sử dụng giảm chấn có thể thay đổi độ nhớt của dầu. Hình 1.1, mô tả một ví dụ về xe một phần tư mô hình hệ thống treo bán tích cực sử dụng lò xo chung để đỡ tải và sử dụng bộ giảm chấn có thể điều chỉnh để mang lại khả năng giảm chấn tối ưu cho hệ thống.



Hình 1.1: Mô hình hệ thống treo bán tích cực.

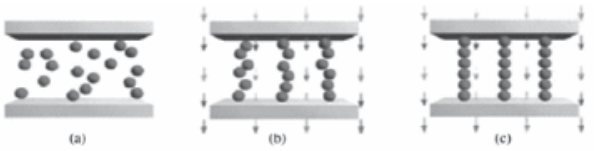
1.2. TỔNG QUAN VỀ GIẢM CHẤN DẦU TỪ TRƯỜNG

1.2.1. Chất lỏng MR

Chất lỏng MR là viết tắt của chất lỏng từ lưu biến được phát hiện lần đầu tiên bởi nhà phát minh Willis Winslow, người đã đạt được bằng sáng chế của Hoa Kỳ về các chất lỏng này vào năm 1947, và được phát triển bởi Jacob Rabinow vào năm 1948. Ứng suất chảy của chất lỏng có thể được xác định bằng cách thay đổi cường độ trường xuyên qua chất lỏng một cách liên tục, dẫn đến sự thay đổi của lực giảm chấn liên tục. Những chất lỏng dạng này đã được ứng dụng rất rộng rãi trong khoa học và công nghệ hiện đại đặc biệt là trong hệ thống treo trên ô tô. Luận văn này, tác giả tập trung vào bộ giảm chấn chất lỏng MR, được coi là phù hợp hơn bộ giảm chấn chất lỏng ER cho ứng dụng ô tô vì những lý do được đưa ra dưới đây.

Chất lỏng MR bao gồm các mảnh kim loại cực nhỏ có khả năng phân cực từ tính, chẳng hạn như các hạt sắt, lơ lửng trong chất lỏng, có thể kể đến một số loại chất lỏng như dầu khoáng, dầu tổng hợp, nước hoặc glycol. Một chất lỏng MR điển hình sẽ chứa 20 đến 40 phần trăm thể tích các hạt sắt tương đối tinh khiết có đường kính khoảng 3 đến 10 micron và thông thường, một số chất phụ gia, tương

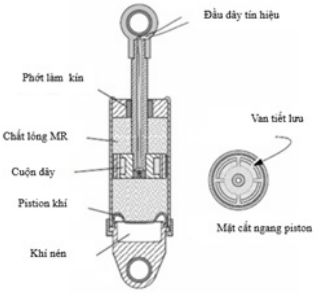
tự như chất phụ gia trong chất bôi trơn thương mại, được thêm vào để giữ cho các hạt kim loại không bị vón cục.



Hình 1.2. Hoạt động của chất lỏng MR.

1.2.2. Giảm chấn dầu từ trường MRD

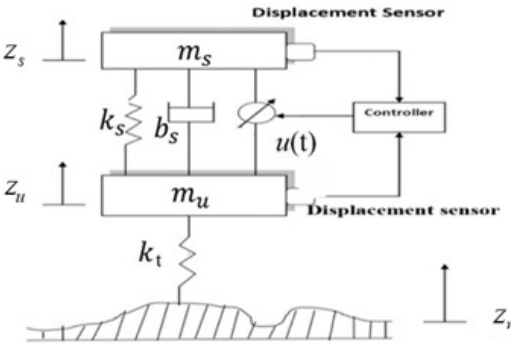
Bộ giảm chấn MR về cơ bản bao gồm một pít-tông, cuộn dây, bầu khí nén, vòng đệm và một bình chứa chất lỏng MR. Hình 1.3, cho thấy bộ giảm chấn dầu từ trường MRD. Thông qua các lỗ ở đầu piston, cần piston được đẩy vào vỏ làm cho chất lỏng MR chảy từ buồng áp suất cao sang buồng áp suất thấp. Bầu khí nén chứa khí nén (thường là nitơ) và piston của nó hoạt động như một rào cản giữa chất lỏng MR và khí. Bầu khí nén phục vụ ba mục đích: Hồi vị cho cần piston khi bị nén, trên thực tế khi cần piston di chuyển, sự thay đổi thể tích ở hai khoang phía bên trên và bên dưới không đều nhau nên cần không thể di chuyển do lượng dầu chênh lệch không có chỗ chứa, lúc này khí nén sẽ bị nén lại hoặc nở ra để nhường chỗ cho dầu thừa. Ngăn chặn hiện tượng xâm thực ở trong dầu giảm chấn. Khắc phục hiện tượng giãn nở khi dầu co dãn ở các mức nhiệt khác nhau.



Hình 1.3. Mặt cắt ngang của một giảm chấn dầu từ trường MRD

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG TREO BÁN TÍCH CỰC

Một phương pháp phổ biến để đơn giản hóa mô hình hệ thống treo trên ô tô là sử dụng mô hình xe một phần tư. Các mô hình xe ¼ thường bao gồm các thành phần động lực học và khối lượng.



Hình 2.1. Mô hình hệ thống treo bán tích cực ¼

Trong đó: Khối lượng được treo ký hiệu là m_s, là khối lượng của thân xe; trong trường hợp này, m_s sẽ bằng ¼ tổng khối lượng thân xe. Vị trí của khối lò xo được biểu thị bằng z_s. Khối lượng không treo, ký hiệu là m_u, đại diện cho khối lượng của bánh xe, trục và cụm phanh và vị trí của nó được biểu thị bằng z_u. Hệ thống treo được mô hình hóa bằng cách sử dụng tổ hợp lò xo và giảm chấn (k_s và b_s). Biên dạng đường được cung cấp bởi z_r, được coi là đầu vào duy nhất trong mô hình này, vì không có điều khiển nào được tham gia. Lốp có độ cứng nhưng độ giảm chấn rất nhỏ và được coi bằng 0. Độ cứng của lốp được ký hiệu là k_t. Đầu vào lực giảm chấn hiện được ký hiệu là u(t). Bộ giảm chấn MR bao gồm, lực ma sát và lực giảm chấn có thể điều khiển được, được biểu thị bằng u(t).

Nhóm tác giả tiến hành xây dựng mô hình toán học của mô hình một phần tư gồm hai bậc tự do được biểu diễn như sau: ☞

$$m_s\ddot{z}_s = k_s(z_u - z_s) + b_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s) + u \quad (2.1)$$

$$m_u\ddot{z}_u = -k_s(z_u - z_s) - b_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s) + k_t(z_r - z_u) - u \quad (2.2)$$

Để thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống, học viên đã tiến hành biểu diễn các phương trình dưới dạng không gian trạng thái. Mô hình không gian trạng thái giúp chúng ta giải phương trình vi phân bậc một thay vì bậc hai và đã có nhiều nghiên cứu về nó trên thế giới. Việc xác định các trạng thái phụ thuộc vào người thiết kế bộ điều khiển. Người thiết kế nên chọn các trạng thái quan trọng đối với hệ thống cũng như các trạng thái mà người thiết kế quan tâm. Các biến trong phương trình vi phân mô tả hệ thống treo được học viên gán thành các biến trong vecto biểu thị trạng thái của hệ thống. Trong công thức không gian trạng thái, X là vectơ biểu thị trạng thái hệ thống.

Bảng 1. Ý nghĩa các trạng thái:

Trạng thái	Biến
x_1	z_s
x_2	$\dot{z}_s$
x_3	z_u
x_4	$\dot{z}_u$
Kích động	z_r

Dạng không gian trạng thái của các phương trình (2.1) và (2.2) có dạng tổng quát như phương trình dưới đây:

$$\dot{X}(t) = A * X(t) + B * u(t) + L * z_r(t) \quad (2.3)$$

Trong đó, A là ma trận hệ số không đổi n*n và n bằng số trạng thái; B và L là vectơ n*1 hệ số không đổi. X(t) là trạng thái và là vectơ n*1; u(t) là lực điều khiển là đầu vào giá trị vô hướng; $x_r(t)$ là mặt cắt đường là giá trị vô hướng. Các ma trận A,B,L được biểu diễn như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-k_s}{m_s} & \frac{-b_s}{m_s} & \frac{k_s}{m_s} & \frac{b_s}{m_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{-k_s}{m_u} & \frac{b_s}{m_u} & \frac{-k_s - k_t}{m_u} & \frac{-b_s}{m_u} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_s} \\ 0 \\ \frac{-1}{m_u} \end{bmatrix}; \; L = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{k_t}{m_u} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

3. NGHIÊN CỨU BỘ ĐIỀU KHIỂN LQR

Mục tiêu của hệ thống điều khiển là tìm ra lực giảm chấn tối ưu nằm trong miền làm việc của bộ giảm chấn MR. Lý thuyết bộ điều khiển bậc hai tuyến tính (LQR) đã được nhiều nhà nghiên cứu áp dụng trong nỗ lực thiết kế bộ điều khiển tối ưu cho hệ thống treo chủ động và bán chủ động. Loại bộ điều khiển này hoạt động theo hướng tạo ra lực truyền động tối ưu dẫn đến giảm thiểu chỉ số hiệu suất. Chỉ số hiệu suất là tiêu chí do người dùng xác định dựa trên tính năng của mô hình và các trạng thái. Lực điều khiển được xác định bằng phương trình.

$$u(t) = -Ku(t) \quad (2.6)$$

Ma trận K là ma trận 4×4 với đầu vào là 4 biến trạng thái. Ma trận K có giá trị thay đổi, khi các ma trận trọng số tính đến hiệu quả điều khiển (ma trận Q) và mức độ tiêu thụ năng lượng (ma trận R) trong điều khiển thay đổi. Như vậy, ở từng vùng vận tốc được tuyến tính hóa ứng với mỗi ma trận A lựa chọn ma trận Q và R như trên thì được giá trị K này không thay đổi quá trình điều khiển.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Ma trận K được xác định bằng biểu thức (2.7):

$$K = R^{-1}B^T P \quad (2.7)$$

Trong đó, ma trận P phải thỏa mãn phương trình:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (2.8)$$

Kết hợp hai phương trình (2.6) và (2.7), ta được:

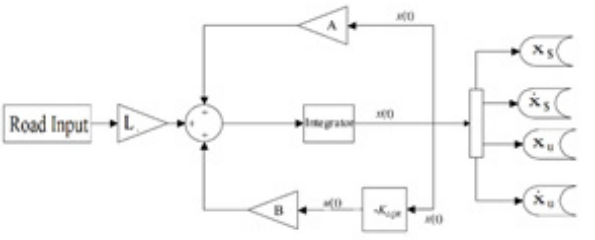
$$u(t) = -(R^{-1}B^T P)x(t) \quad (2.9)$$

Việc lựa chọn Q và R xác định tính tối ưu trong luật điều khiển tối ưu. Những ma trận này được người thiết kế lựa chọn. Các giá trị của ma trận này thường được xác định bằng phép thử trong mô phỏng. Ma trận Q và R được chọn làm đường chéo theo quy tắc chung. Nói chung, khi một trạng thái quan trọng và có độ lớn nhỏ thì phần tử đường chéo tương ứng phải lớn. Đối với ma trận Q cố định, việc giảm giá trị ma trận R sẽ làm giảm thời gian chuyển tiếp và độ vọt lố nhưng làm tăng thời gian tăng và sai số trạng thái ổn định. Trong điều kiện khác, khi R cố định nhưng Q giảm, thời gian chuyển tiếp và độ vọt lố sẽ tăng, trong khi thời gian tăng và sai số trạng thái xác lập sẽ giảm. Trong luận văn này, các giá trị được chọn để giảm gia tốc khối lượng được treo mà không ảnh hưởng đáng kể đến các khía cạnh hiệu suất khác. Theo kết quả mô phỏng, hệ số trọng số hiệu năng tốt nhất được lựa chọn như sau:

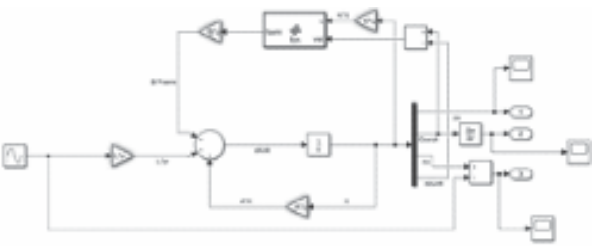
$$Q = 1e6 * [10 \quad 5 \quad 7 \quad 3] \quad (2.10)$$

$$R = [1] \quad (2.11)$$

$$K = lqr(A, B, Q, R) \quad (2.12)$$



Hình 3.1. Sơ đồ khối của hệ thống treo bán tích cực



Hình 3.2. Sơ đồ khối Ssimulink của hệt thống treo bán tích cực

Thông số đầu vào cho sơ đồ khối Simulink được biểu thị trong bảng 2 và hình dưới đây:

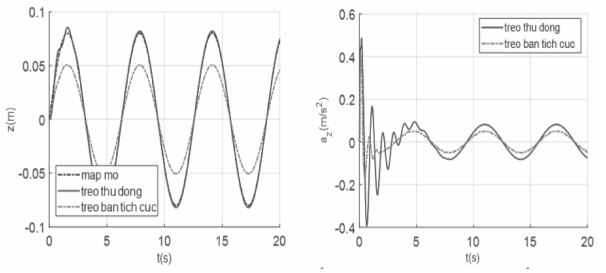
Bảng 2. Thông số đầu vào:

Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
m_s	Khối lượng được treo (kg)	450
m_u	Khối lượng không được treo (kg)	48
k_s	Độ cứng lò xo (N.m)	26500
k_t	Độ cứng lốp (N.m)	175000
b_s	Hệ số cản giảm chấn (N.s/m)	1200

4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT

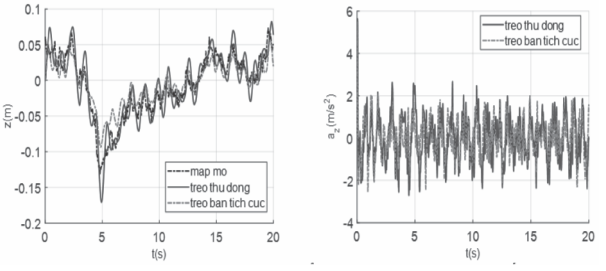
Nhóm tác giả đã tiến hành mô phỏng hoạt động của hệ thống treo bán tích cực trên phần mềm mô phỏng Matlab-Simulink, đồng thời đã tiến hành khảo sát và so sánh chất lượng ☞

dao động của hai hệ thống treo thụ động thông thường và treo bán tích cực trên các loại mặt đường khác nhau, như: Đường mấp mô hình sin, đường loại C theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016, với vận tốc di chuyển của xe là 40 (km/h).



Hình 4.1. So sánh dao động theo phương thẳng đứng của thân xe và gia tốc theo phương thẳng đứng

Kết quả trên hình 4.1 cho thấy, khi đi trên mặt đường mấp mô hình sin có chiều cao mấp mô là 0.08 m thì hệ thống treo bán tích cực được ứng dụng bộ điều khiển LQR cho thấy dao động và gia tốc thân xe theo phương thẳng đứng đã được cải thiện rõ rệt.



Hình 4.2. So sánh dao động theo phương thẳng đứng của thân xe và gia tốc theo phương thẳng đứng

Kết quả trên hình 4.2 cho thấy, khi đi trên mặt đường mấp mô dạng B-C có chiều dài là 250m thì hệ thống treo bán tích cực được ứng dụng bộ điều khiển LQR, biên độ dao động và gia tốc thân xe theo phương thẳng đứng đã được cải thiện rõ rệt, cho phép nhóm tác giả có cơ sở để triển khai các nghiên cứu tiếp theo.

5. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học của hệ thống treo ¼ và đã tiến hành nghiên cứu, ứng dụng thành công bộ điều khiển LQR vào hệ thống treo bán tích cực. Kết quả cho thấy mức độ êm dịu và chất lượng dao động của xe khi sử dụng hệ thống treo bán tích cực được cải thiện tương đối nhiều so với các hệ thống treo truyền thống. Kết quả của nghiên cứu này sẽ là cơ sở để nhóm nghiên cứu thực hiện các nghiên cứu tiếp theo và là cơ sở để lựa chọn bộ điều khiển trong thực tế dành cho hệ thống treo bán tích cực.❖

Ngày nhận bài: **10/4/2024**
Ngày phản biện: **20/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, 2007; *Lý thuyết ô tô máy kéo*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

[2]. Lưu Văn Tuấn, 2019; *Lý thuyết ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[3]. Nguyễn Trọng Hoan, 2019; *Thiết kế tính toán ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

[4]. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Hoàng Đàm Phúc, 2019; *Động lực học ô tô,* NXB. Giáo dục Việt Nam.

[5]. Behnam Riazi, 2021. *Design and Investigation of a Semi-Active Suspension System in Automotive Applications*. Doctoral thesis, University of Windsor,Canada.

[6]. R. Goodall, 1997. *Active Railway Suspensions: Implementation Status and Technological Trends,* Vehicle System Dynamics. Doctoral thesis.

[7]. Rao, K. Dhananjay, and Shambhu Kumar, 2015. *Modeling and simulation of quarter car semi active suspension system using LQR controller . Proceedings of the 3rd International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and* Applications (FICTA).

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP TẠO LƯỚI TÍNH TOÁN VÀ TỐI ƯU HÓA CHẤT LƯỢNG LƯỚI SỬ DỤNG DISTMESH

A STUDY ON GENERATION AND OPTIMIZATION TECHNIQUES USING DISTMESH

Ngô Văn Quyết, Phạm Thị Thanh Hương*
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Nghiên cứu này, giới thiệu phương pháp sinh lưới không cấu trúc và tối ưu hóa bằng DistMesh. Phương pháp này sử dụng thuật toán tối ưu lực phục hồi để cải thiện chất lượng lưới qua từng bước và chiếu các nút biên dựa trên định nghĩa hình học ẩn. DistMesh tự động tính toán hàm kích thước lưới dựa trên độ cong và đặc trưng hình học, đồng thời kết hợp phương pháp giới hạn gradient tối ưu. Phương pháp này có thể áp dụng cho mọi chiều không gian và có ứng dụng rộng rãi, bao gồm lưới di động, động lực học chất lỏng, tối ưu hóa hình dạng, biến dạng cấu trúc, và thích nghi số học. Kết quả nghiên cứu cho thấy, DistMesh tạo ra các lưới có chất lượng cao và hiệu quả tính toán vượt trội so với các phương pháp tạo lưới truyền thống khác.

Từ khóa: *DistMesh; Lưới chất lượng cao; Hình học ẩn.*

ABSTRACT

This study introduces unstructured mesh generation techniques using DistMesh. The method iteratively improves the mesh by solving force equilibrium equations and projecting boundary nodes according to the definition of implicit geometry, applicable in any spatial dimension. The algorithm computes the mesh size function automatically based on curvature and geometric features, combined with optimal gradient limiting methods. Applications of the algorithm include mobile meshing, fluid dynamics, shape optimization, structural deformation, and adaptive numerics. Results demonstrate that this method produces high-quality meshes and superior computational efficiency compared to other mesh generators.

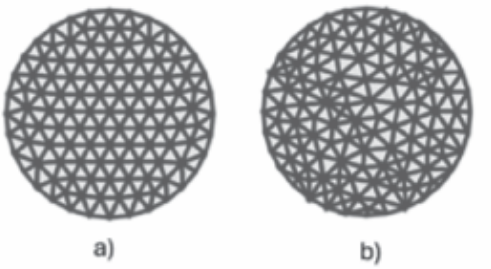
Keywords: *DistMesh; High quality mesh; Implicit geometry.*

1. TỔNG QUAN

Quá trình tạo lưới đóng vai trò rất quan trọng trong nhiều ứng dụng, từ mô phỏng tính toán đến đồ họa máy tính [1]. Một lưới không cấu trúc cơ bản bao gồm việc chọn các điểm lưới và phân chia chúng thành các tam giác. Để xử lý các chi tiết phức tạp của hình học, lưới cần có các phần tử nhỏ. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, việc sử dụng các phần tử lớn hơn cũng có thể hữu ích để giảm độ phức tạp của lưới. Trong các ứng dụng số, việc sử dụng các phần tử chất lượng cao, như các tam giác gần đều, là cực kỳ quan trọng để đảm bảo tính chính xác của quá trình phân tán và tính ổn định của hệ phương trình tuyến tính.

Một trong những thuật toán tạo lưới phổ biến nhất là phương pháp tinh chỉnh Delaunay[2]. Thuật toán này bắt đầu bằng cách chia một tập hợp các điểm ban đầu thành các tam giác và sau đó tinh chỉnh lưới cho đến khi chất lượng của các phần tử đạt được mức độ mong muốn. Thường thì thuật toán này hoạt động từ phía dưới lên, bắt đầu từ việc phân chia các điểm, sau đó là các đường cong, bề mặt và cuối cùng là thể tích. Phương pháp tiếp cận mặt [3] cũng là một phương pháp phổ biến, nơi mà quá trình tạo lưới bắt đầu từ biên và tạo ra các phần tử lưới theo một mặt tiếp cận vào trong miền.

DistMesh là một công cụ mạnh mẽ cho việc tạo lưới không cấu trúc, đặc biệt là khi cần tối ưu hóa chất lượng của lưới, công cụ này được viết hoàn toàn bằng ngôn ngữ MATLAB. Ở hình 1 có thể thấy rõ được các phần tử lưới được sinh ra từ DistMesh có chất lượng đồng đều và cao hơn so với phương pháp Delaunay thông thường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ tập trung vào mô phỏng số để so sánh kết quả giữa các lưới khác nhau được sinh ra từ DistMesh và từ phương pháp Delaunay trong Star-CCM+.



Hình 1. Mô tả các phương pháp tạo lưới khác nhau cho hình tròn, a) Lưới được sinh ra từ DistMesh và b) Lưới được sinh ra bằng phương pháp Delaunay.

2. PHƯƠNG PHÁP SINH LƯỚI VÀ TỐI ƯU HÓA

Thuật toán tạo lưới này dựa trên một phép tương tự cơ học giữa một lưới tam giác và cấu trúc giàn 2-D, hay cấu trúc lò xo [4], [5]. Thuật toán bắt đầu bằng cách sử dụng thuật toán Delaunay để tạo lưới tam giác cho tập hợp các điểm trong mặt phẳng x, y. Đối với mô hình vật lý này, các cạnh của tam giác (các đường nối giữa các điểm) được coi như các thanh của giàn, và các điểm được coi như các khớp nối. Mỗi thanh có một mối quan hệ giữa lực và biến dạng $f(l, l_0)$, phụ thuộc vào chiều dài hiện tại l và chiều dài ban đầu không bị kéo giãn l_0 của nó. Các ngoại lực tác động lên cấu trúc được áp dụng tại các điểm biên. Tại mỗi nút biên, có một phản lực vuông góc với biên, có độ lớn đủ để ngăn nút di chuyển ra ngoài.

Nhiệm vụ của thuật toán là tìm vị trí của các khớp sao cho toàn bộ cấu trúc đạt trạng thái cân bằng lực tĩnh. Khi h (x, y) = 1 (hàm này để xác định độ dài cân bằng của các cạnh), mục tiêu là chiều dài của tất cả các thanh tại trạng thái cân bằng sẽ gần như bằng nhau, tạo ra một lưới tam giác đều và có hình dạng tốt.

Để giải quyết trạng thái cân bằng lực, chúng ta cần thu thập tọa độ x và y của tất cả các điểm lưới N vào một mảng N×2, gọi là p:

$$p = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_N & y_N \end{bmatrix}$$

Vector lực F(p) tại mỗi điểm lưới sẽ được chia ra thành các thành phần theo phương ngang và dọc, ký hiệu là F_x (p) và F_y (p). Các thành phần này được tính dựa trên tổng lực từ tất cả các thanh kết nối. Mỗi thanh tạo ra một lực tỷ lệ với sự kéo dãn hoặc nén so với chiều dài ban đầu của nó. Điều kiện cân bằng là tổng các thành phần lực này tại mỗi điểm bằng không, đảm bảo không có chuyển động thuần và do đó lưới ở trạng thái ổn định.

$$F(p) = [F_{int,x}(p) \quad F_{int,y}(p)] + [F_{ext,x}(p) \quad F_{ext,y}(p)]$$

Ở đây, F_{int} chứa các lực bên trong từ các thanh và F_{ext} là các lực bên ngoài (phản lực từ các ranh giới).

Lưu ý rằng F(p) phụ thuộc vào cấu trúc của các thanh nối giữa các khớp. Trong thuật toán, cấu trúc này được xác định bằng cách sử dụng phân chia Delaunay của các điểm trên lưới. Delaunay tạo ra các tam giác không giao nhau để lấp đầy vùng nằm phía trong của các điểm đầu vào bao quanh nó, sao cho mỗi cạnh chỉ được chia sẻ bởi tối đa hai tam giác và đường tròn ngoại tiếp của mỗi tam giác không chứa bất kỳ điểm đầu vào nào khác. Trên mặt phẳng, việc phân chia tam giác này được biết đến để tối đa hóa góc nhỏ nhất của tất cả các tam giác. Đáng chú ý, vector lực F(p) không thể được coi là một hàm liên tục của p do cấu trúc (sự có hoặc không có các thanh nối) được thay đổi bởi Delaunay khi các điểm di chuyển.

Hệ phương trình F(p) = 0 cần được giải để tìm ra một tập hợp các vị trí cân bằng p. Đây là một vấn đề khá khó khăn, một phần do tính không liên tục trong hàm lực (sự thay đổi của hình học) và một phần do sự hiện diện của các ngoại lực tại biên.

Một cách tiếp cận đơn giản để giải hệ phương trình F(p) = 0 là đưa vào một yếu tố phụ thuộc vào thời gian ảo. Đối với một số p(0) = p_0, chúng ta có thể xem xét một hệ các phương trình vi phân (trong hệ không thứ nguyên).

$$\frac{dp}{dt} = F(p), \qquad t \geq 0.$$

Nếu tìm được một nghiệm tĩnh, nó sẽ thỏa mãn hệ phương trình F(p) = 0. Hệ phương trình (2.3) được xấp xỉ bằng phương pháp Euler tiến (forward Euler method). Tại các thời điểm rời rạc (giả định) $t_n = n\Delta t$, nghiệm xấp xỉ $p_n \approx p(t_n)$ được cập nhật bằng cách:

$$p_{n+1} = p_n + \Delta t F(p_n),$$

Khi đánh giá hàm lực, các vị trí p_n được biết trước, cấu trúc giàn (phân chia tam giác của tập điểm hiện tại) cũng được xác định. Các lực hồi phục bên ngoài được xử lý theo cách sau: Tất cả các điểm vượt ra ngoài vùng trong quá trình cập nhật từ p_n đến p_{n+1} sẽ được di chuyển trở lại điểm biên gần nhất. Điều này tuân thủ yêu cầu rằng các lực tác động vuông góc với biên, các điểm chỉ có thể di chuyển dọc theo biên, nhưng không được đi ra ngoài.

Có nhiều lựa chọn khác nhau cho hàm lực $f(l, l_0)$ trong mỗi thanh và một số lựa chọn đã được nghiên cứu [6], [7]. Hàm $k(l_0-l)$ mô phỏng lò xo tuyến tính thông thường. Trong triển khai của chúng tôi, phản ứng tuyến tính này được sử dụng cho các lực đẩy nhưng không cho phép lực kéo: ☞

$$f(l,l_0) = \begin{cases} k(l_0 - l) & \text{khi } l < l_0 \\ 0 & \text{khi } l \geq l_0 \end{cases}$$

Các hàm lực phi tuyến có thể tạo ra các lưới tốt hơn (ví dụ với $k(l_0+l)/2l_0$), nhưng hàm lực tuyến tính từng đoạn lại cho kết quả tốt (k được thêm vào để đảm bảo đơn vị chính xác; k được đặt bằng 1). Việc yêu cầu f = 0 khi l = l_0 là hợp lý. Cách xử lý biên được đề xuất có nghĩa là không điểm nào bị ép buộc phải ở lại biên, chúng chỉ bị ngăn không cho vượt qua biên. Do đó, điều quan trọng là hầu hết các thanh phải sinh ra lực đẩy f > 0, để giúp các điểm lan tỏa khắp toàn bộ hình học. Điều này có nghĩa là $f(l,l_0)$ nên dương khi l gần bằng chiều dài mong muốn, điều này có thể đạt được bằng cách chọn l_0 lớn hơn một chút so với chiều dài thực sự mong muốn (một giá trị mặc định tốt trong 2-D là 20%, điều này dẫn đến Fscale = 1.2).

Đối với các lưới đồng đều, l_0 là hằng số. Tuy nhiên, có nhiều trường hợp việc có các kích thước khác nhau ở các vùng khác nhau sẽ có lợi. Ở những khu vực có hình học phức tạp, cần sử dụng các phần tử nhỏ để giải quyết vấn đề (tính thích ứng hình học). Phương pháp giải có thể yêu cầu các phần tử nhỏ gần các điểm kỳ dị để đạt độ chính xác toàn cục tốt (trình giải thích ứng). Một lưới đồng đều với các phần tử nhỏ này sẽ đòi hỏi rất nhiều nút. Trong triển khai này, phân bố chiều dài cạnh mong muốn được cung cấp bởi người dùng dưới dạng một hàm kích thước phần tử (size function) h(x,y). Lưu ý rằng h(x,y) không nhất thiết phải bằng kích thước thực tế; nó chỉ đưa ra phân bố tương đối trên toàn miền. Điều này tránh sự liên kết ngầm với số lượng nút, mà không cần người dùng phải chỉ định. Ví dụ, nếu h(x,y) = 1 + x trong hình vuông đơn vị, thì chiều dài cạnh gần biên trái (x = 0) sẽ khoảng một nửa chiều dài cạnh gần biên phải (x = 1). Điều này đúng bất kể số lượng điểm và kích thước phần tử thực tế.

Để tìm hệ số tỷ lệ, tỷ lệ giữa diện tích lưới từ các chiều dài cạnh thực tế l_i và "kích thước mong muốn" (từ h(x,y) tại trung điểm (x_i, y_i) của các thanh) được tính như sau:

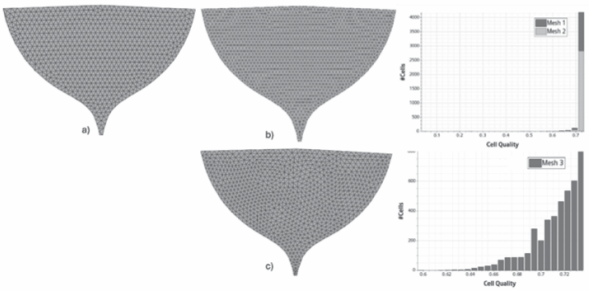
$$\text{Hệ số tỷ lệ} = \left(\frac{\sum l_i^{\,2}}{\sum h((x_i, y_i)^{\,2}} \right)^{1/2}$$

Điều này đảm bảo rằng phân bố kích thước phần tử được duy trì đúng theo mong muốn của người dùng mà không cần xác định chính xác số lượng nút.

3. MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ LƯỚI

3.1. Mô hình mô phỏng

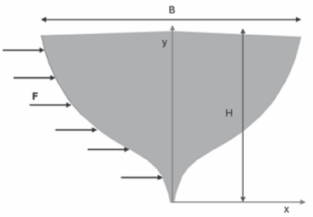
Mô hình được sử dụng để mô phỏng trong nghiên cứu này là mô hình mặt cắt ngang 2D tại sườn 0.5 của một tàu container 25,000 DWT với kích thước tiêu chuẩn. Chúng tôi tiến hành khảo sát trên ba loại lưới khác nhau: Lưới 1 (a) được tạo ra bằng DistMesh với kích thước phần tử xấp xỉ 0.5 m, lưới 2 (b) được tạo ra bằng DistMesh với kích thước phần tử mịn hơn là 0.2 m và lưới 3 (c) được tạo ra bằng phần mềm Simcenter STAR-CCM+ sử dụng phương pháp Delaunay với kích thước phần tử xấp xỉ 0.5 m, như được minh họa trong Hình 2. Mô hình được sử dụng để tính toán là mô hình Solid Stress, và quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Simcenter STAR-CCM+.



Hình 2. Biểu đồ so sánh chất lượng phần tử của 2 phương pháp chia lưới

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Trong mô hình vật lý, chúng tôi giả định một lực do sóng biển gây ra theo phương ngang tác động từ bên hông của con tàu. Trong trường hợp này, tất cả các sườn của tàu sẽ chịu lực phân bố này. Chúng tôi phân tích lực tác động lên một mặt cắt ngang của tàu như được mô tả trong Hình 3.

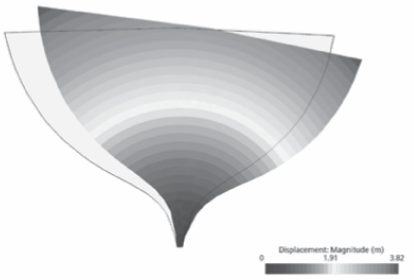


Chiều rộng	B = 20.6 m
Chiều Cao	H = 13.75 m
Tải trọng	F = 10 MN
Điều kiện ứng suất	Đàn hồi tuyến tính

Hình 3. Mô hình vật lý và bảng thông số

3.2. Phân tích kết quả

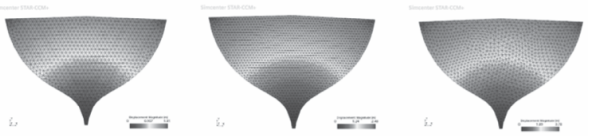
Kết quả bài mô phỏng so sánh giữa các lưới (hình 4, 5) cho thấy sự khác biệt đáng kể về các thông số quan trọng có thể quan sát trong bảng 1: Độ dịch chuyển lớn nhất theo phương x, ứng suất lớn nhất theo phương x, và tổng thời gian xử lý CPU của bộ giải. Có thể thấy rằng, lưới Delaunay cho kết quả độ dịch chuyển lớn nhất và ứng suất cao nhất, trong khi hai lưới DistMesh cho kết quả gần nhau hơn và thấp hơn về cả độ dịch chuyển và ứng suất. Tuy nhiên, về tổng thời gian xử lý CPU, DistMesh (Lưới 1) có thời gian xử lý nhanh nhất, cho thấy hiệu suất tính toán cao hơn so với lưới Delaunay cùng kích thước.



Hình 4. Mô tả vị trí của mô hình sau khi tác động lực

Bảng 1. Tổng hợp kết quả - đánh giá Độ Dịch Chuyển, CPU Time và Ứng Suất Tối Đa trong mô phỏng của 3 lưới khác nhau:

Phương pháp tạo lưới	Độ dịch chuyển lớn nhất theo phương x	$(\sigma_{xx})max$	Tổng thời gian xử lý CPU của bộ giải
DistMesh (Lưới 1)	1.454102 (m)	2.532733e+09 (Pa)	4.982 (s)
DistMesh (Lưới 2)	1.519024 (m)	2.602335e+09 (Pa)	6.234 (s)
Delaunay (Star-CCM+)	2.038736 (m)	2.766248e+09 (Pa)	6.152 (s)



Hình 5. Kết quả mô phỏng lưới

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã giới thiệu và áp dụng các kỹ thuật sinh lưới không cấu trúc sử dụng DistMesh để mô phỏng một mặt cắt ngang của tàu container 25,000 DWT. Chúng tôi đã tiến hành khảo sát trên ba loại lưới khác nhau và so sánh chất lượng phần tử cũng như hiệu quả tính toán của từng loại lưới. Kết quả cho thấy rằng, phương pháp DistMesh tạo ra các lưới có chất lượng cao và hiệu quả tính toán vượt trội hơn so với các phương pháp chia lưới truyền thống, đặc biệt là khi sử dụng lưới mịn hơn với kích thước phần tử 0.2 m.

Lưới tạo ra từ phần mềm Simcenter STAR-CCM+ với kích thước phần tử 0.5 m cũng cho thấy hiệu quả tốt, nhưng chưa đạt đến mức độ tinh tế và chất lượng như các lưới tạo ra bằng DistMesh. Phân tích lực tác động lên mặt cắt ngang của tàu cho thấy rằng lưới có chất lượng cao đảm bảo tính chính xác của kết quả mô phỏng và ổn định của hệ phương trình tuyến tính.

Nghiên cứu này, đóng góp vào việc mở rộng hiểu biết về việc áp dụng các phương pháp tạo lưới và tối ưu hóa trong việc mô phỏng các ☞

vấn đề tính toán phức tạp. Điều này giúp cải thiện sự chính xác và hiệu quả của các phân tích kỹ thuật trong lĩnh vực cơ khí và hàng hải.❖

Ngày nhận bài: **23/5/2024**
Ngày phản biện: **12/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Persson, P.-O., & Strang, G. (2004). *A simple mesh generator in MATLAB*. SIAM Review, 46(2), 329-345..

[2]. Shewchuk, J. R. (1996). *Triangle: Engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator*. Applied Computational Geometry: Towards Geometric Engineering, 1148, 203-222.

[3]. Frey, P. J., & George, P. L. (2008). *Mesh Generation: Application to Finite Elements*. Wiley-ISTE.

[4]. Baker, T. J. (1989). *Automatic mesh generation for complex three-dimensional regions* using a constrained Delaunay triangulation. Engineering with Computers, 5(3), 161-175.

[5]. Field, D. A. (1988). *Laplacian smoothing and Delaunay triangulations*. Communications in Applied Numerical Methods, 4(6), 709-712.

[6]. Frank J. Bossen and Paul S. Heckbert. *A pliant method for anisotropic mesh generation*. In Proceedings of the 5th International Meshing Roundtable, pages 63–76. Sandia Nat. Lab., 1996.

[7]. Kenji Shimada and David C. Gossard. *Bubble mesh: automated triangular meshing of non-manifold geometry by sphere packing*. In SMA ’95: Proceedings of the Third Symposium on Solid Modeling and Applications, pages 409–419, 1995.

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ HOẠT ĐỘNG CỦA MÔ CƠ TÂM THẤT TRÁI

NUMERICAL SIMULATION STUDY TO REPRODUCE THE ACTIVITY OF LEFT VENTRICULAR MUSCULAR TISSUE

Phạm Thị Huê, Phạm Thị Thanh Hương*
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp mô phỏng số, tái tạo lại quá trình giãn nở tâm thất dành riêng cho từng bệnh nhân, đề xuất một phương pháp mô phỏng số dựa trên mã nguồn mở SimVascular để tái hiện một cách chính xác nhất hoạt động tâm thất trái. Vì mô cơ tim có cấu tạo vô cùng phức tạp, sự giãn nở không giống với các hệ thống đàn hồi thông thường mà hoạt động này được quy định bởi những sợi cơ tim và vật liệu cơ tim là hoàn toàn không nén được, đây là một hệ đàn hồi phi tuyến phức tạp. Để mô phỏng chính xác quá trình này, chúng tôi đã sử dụng một thuật toán dựa trên quy tắc để định hướng các sợi cơ tim cũng như hướng co giãn của cơ tim, sau đó là dùng bộ giải svFSI để mô phỏng quá trình lạm phát thụ động của tâm thất trái được lý tưởng hóa thành nửa hình elipsolid. Kết quả mô phỏng của chúng tôi hoàn toàn phù hợp với kết quả được đánh giá từ các chuyên gia trước đó, tuy nhiên, phương pháp của chúng tôi tiết kiệm chi phí và tài nguyên tính toán. Điều này sẽ được xem xét để áp dụng cho bệnh nhân cụ thể trong tương lai.

Từ khóa: *SimVascular; svFSI; Cơ học tim; Lạm phát tâm thất; Tâm thất trái.*

ABSTRACT

This paper presents a numerical simulation method, recreating the ventricular contraction process specific to each patient, propose a numerical simulation method based on the open source SimVascular code to most accurately reproduce left ventricular activity. Because myocardial tissue has an extremely complex structure, contraction is not the same as that of the normal ileal system, which is regulated by myocardial fibers and the myocardial material is completely incompressible, this is a complex nonlinear elastic system. To accurately simulate this process, we used a rule-based algorithm to orient the myocardial fibers as well as the direction of myocardial contraction, then used the svFSI solver to simulate the contraction process. The passive emission of the left ventricle is idealized as a semi-elliptic solid. Our simulation results are completely consistent with the results evaluated by previous experts, however, our method saves costs and computational resources. This will be reviewed for patient-specific applications in the future.

Keywords: *SimVascular; svFSI; Cadiac mechanics; Inflation of a ventricle; Left ventriclular.*

1. GIỚI THIỆU

Theo dữ liệu năm 2019, bệnh tim là nguyên nhân gây tử vong hàng đầu ở người trên toàn thế giới, chiếm 16% tổng số ca tử vong [1]. Việc phát triển và sử dụng các mô hình cơ tim mạch dành riêng cho từng bệnh nhân cụ thể là một mục tiêu khả thi, với những tiến bộ trong mô hình hóa và mô phỏng như hiện nay [2-5]. Hiện nay, việc tích hợp các mô hình toán vào từng trường hợp lâm sàng của bệnh nhân cụ thể giúp hiểu các hiện tượng sinh lý và cung cấp hỗ trợ đưa ra chuẩn đoán chính xác cũng như các quyết định đúng đắn cho các bác sĩ đã trở nên thường xuyên hơn trong thời gian gần đây [5-7]. Các mô hình này phải đủ chính xác và thao tác thực hiện nhanh chóng, đưa ra phản hồi kịp thời cho những chuẩn đoán lâm sàng và theo dõi kết quả điều trị.

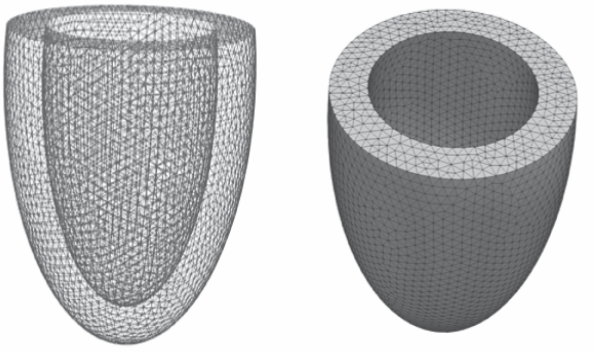
Đối với những bệnh phức tạp và có độ khó cao khi phẫu thuật như việc cắt bỏ dự phòng ở bệnh nhân nhồi máu cơ tim, tỉ lệ thành công chỉ khoảng 50-80% [8] thì việc có một mô hình cơ học tâm thất trái mô tả quá trình giãn nở tâm thất là điều vô cùng cần thiết cho các bác sĩ phẫu thuật để đưa ra được phương pháp khác nhau cho từng trường hợp cụ thể. Mô hình tim cụ thể của từng bệnh nhân cung cấp dữ liệu quá trình giãn nở của cơ tâm thất trái trong từng trường hợp với các điều kiện và phương pháp điều trị khác nhau, từ đó đưa ra một kết luận về việc nên sử dụng phương pháp nào để đưa ra khả năng thành công là cao nhất [9, 10].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng vật liệu đàn hồi phi tuyến và sử dụng mô tả dị hướng dựa trên hướng sợi cơ tim và hướng pháp tuyết của tấm sợi cơ hình thành nên mô cơ [11]. Khác với các vật liệu siêu đàn hồi thông thường, mô cơ tim không chỉ cân bằng thụ động các lực bên ngoài mà còn chịu biến dạng chủ động mà không cần tải trọng bên ngoài. Chúng tôi giải quyết động lực học đàn hồi phi tuyến bằng cách sử dụng một công thức hỗn hợp, trong đó vận tốc và áp suất của cấu trúc là các bậc tự do chưa biết dựa trên các phương trình Euler-Lagrange cơ bản.

Việc tạo định hướng sợi cũng là một thách thức lớn khi không thực hiện giải phẫu trái tim cụ thể, tuy nhiên trong bài báo này, chúng tôi sử dụng MRI tensor khuyết tán (DT-MRI) để hình dung cấu trúc sợi. Chúng tôi gán định hướng sợi và hướng pháp tuyến của tấm cho từng phần tử và sử dụng mô hình phần tử hữu hạn để mô tả quá trình giãn nở này.

2. MÔ HÌNH HÌNH HỌC

Chúng tôi sử dụng hai nửa hình elipsolid để mô tả tâm thất trái với kích thước chiều dài khoảng 10cm. Mô hình lưới thể tích của chúng tôi gồm 9385 điểm và 43072 phần tử tứ diện của lưới. Lưới bề mặt gồm 03 lưới, bề mặt base gồm có 346 điểm và 564 phần tử tam giác, bề mặt nội tâm mạc gồm có 1550 điểm và 3046 phần tử tam giác, bề mặt ngoại tâm mạc gồm có 2585 điểm và 5092 phần tử tam giác. Hình ảnh chi tiết của lưới được thể hiện trong hình 1.



(a) *(b)*

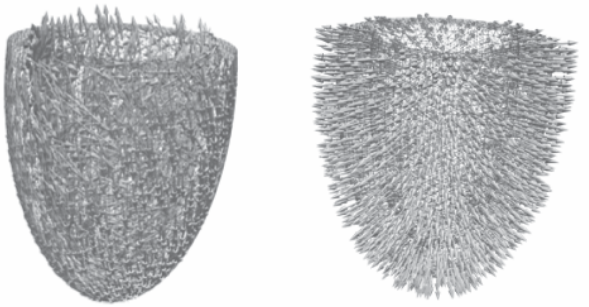
Hình 1. Lưới đầy đủ cho tâm thất trái: (a) Lưới thể tích tâm thất trái, (b) Lưới bề mặt tâm thất trái

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

3.1. Tạo hướng sợi cơ tim

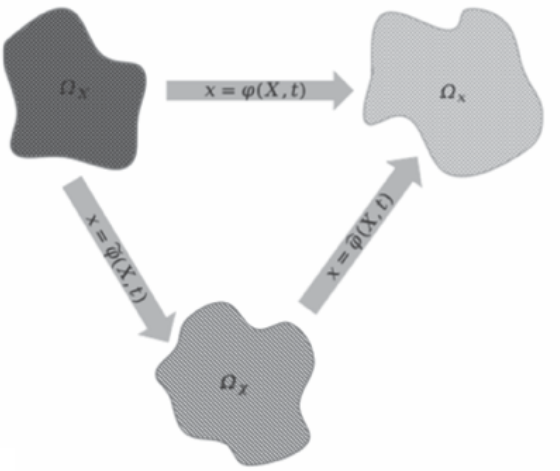
Sau khi tạo xong phần tử hữu hạn, chúng ta tạo các vector hướng sợi, hướng bình thường của tấm, đây cũng sẽ là hai chiều quan trọng điều khiển hướng co giãn của tim. Chúng tôi sử dụng thuật toán dựa trên quy tắc Laplace-Dirichlet (LDRB) để gán hướng sợi cơ tim cho các mô hình tim tính toán [12]. Chúng tôi lấy góc hướng sợi tại bề mặt nội tâm mạc là –80° và tại bề mặt nội tâm mạc là 80°, các góc đại diện hướng tấm chúng tôi lấy bằng 0, tức là các vector hướng tấm luôn vuông góc với bề mặt tại đó. Mỗi phần tử tương ứng với 1 hệ tọa độ vector như thế, các số liệu này trong thực tế có thể thu thập từ dữ liệu chụp cộng hưởng từ tensor khuyết tán. Hình 2 biểu diễn cụ thể các vector mà chúng tôi tạo ra.



Hình 2. Vector quy định hướng sợi và hướng pháp tuyến của tấm ứng với các phần tử riêng biệt: (a) Vector quy định hướng sợi, (b) Vector quy định hướng tấm

3.2. Động học và động lực học đàn hồi phi tuyến

Trong chu kỳ tim, tim trải qua những biến dạng đáng kể, bao gồm các chuyển động kéo dài, xoắn và co giãn. Những biến dạng này rất phức tạp và không thể mô tả chính xác bằng lý thuyết đàn hồi tuyến tính, giả định các biến dạng nhỏ và mối quan hệ ứng suất-biến dạng tuyến tính. Chúng tôi sử dụng hệ thống công thức ALE (Arbitrary Lagrangian Euler) [13] để mô tả động lực học tâm thất bởi các cấu hình tham chiếu (ký hiệu là Ω_X), cấu hình vật liệu (cấu hình lagrange và ký hiệu là $\Omega\chi$) và cấu hình hiện tại (cấu hình Euler và ký hiệu là Ω_x). Chúng tôi thiết lập một khuôn khổ để định lượng và phân tích sự biến dạng của tim trong suốt chu kỳ tim. Cấu hình tham chiếu cung cấp đường cơ sở để từ đó chúng ta có thể đo lường những thay đổi về hình học và biến dạng theo thời gian. Mối quan hệ giữa các cấu hình có thể được thấy rõ hơn trong hình 3.



Hình 3. Minh họa mối quan hệ giữa cấu hình tham chiếu, cấu hình vật liệu, cấu hình hiện tại

Ánh xạ từ cấu hình tham chiếu đến cấu hình Lagrangian tại thời điểm t:

$$\tilde{\varphi}(\cdot,t) : \Omega_X \to \Omega_\chi = \tilde{\varphi}(\Omega_X,t), \forall\, t \geq 0$$

$$X \to \chi = \tilde{\varphi}(X,t), \forall X \in \Omega_X$$

Ánh xạ từ cấu hình Lagrangian đến cấu hình Eulerian tại thời điểm t:

$$\hat{\varphi}(\cdot,t) : \Omega_\chi \to \Omega_x = \hat{\varphi}(\Omega_\chi,t), \forall\, t \geq 0$$

$$\chi \to x = \hat{\varphi}(\chi,t), \forall \chi \in \Omega_\chi$$

Ánh xạ từ cấu hình tham chiếu đến cấu hình Eulerian tại thời điểm t: ☞

$$\varphi(\cdot, t) : \Omega_X \to \Omega_x = \varphi(\Omega_X, t), \forall\, t \geq 0$$

$$X \to x = \hat{\varphi}(X, t), \forall X \in \Omega_X$$

$$\text{So: } x(X, t) = X + u(X, t)$$

Các phương trình biểu diễn chuyển động của cơ tim ở thời gian t là:

$$\frac{du}{dt} - v = 0$$

$$\beta(p)\frac{dp}{dt} + \nabla_x . v = 0$$

$$\rho(p)\frac{dv}{dt} - \nabla_x . \sigma_{dev} + \nabla_x p - \rho(p) f_b = 0$$

Trong đó, u là trường vector dịch chuyển, σdev là ứng suất Cauchy lệch lạc, ρ là khối lượng riêng của mô cơ tâm thất trái, β là hệ số nén đẳng nhiệt.

$$\rho\,(p) = \left(\frac{dG_{vol}}{dp}\right)^{-1}$$

$$\beta(p) = \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dp} = -\frac{\frac{\partial^2 G_{vol}}{\partial p^2}}{\frac{\partial G_{vol}}{\partial p}}$$

$$\sigma_{dev} = j^{-1}\bar{F}(\mathbb{P}:\bar{S})\bar{F}^T$$

$$\bar{S} = 2\frac{\partial G^R_{iso}}{\partial \bar{C}} = 2\frac{\partial (p_0 G_{iso})}{\partial \bar{C}}$$

F là tensor gradient biến dạng và J là Jacobian của F, C là tensor biến dạng Cauchy-Green, G_{vol} và G_{iso} là năng lượng tự do Gibbs: $G(\bar{C}, p, T) = G_{iso}(\bar{C}, T) + G_{vol}(p, T)$.

Vật liệu cấu tạo cơ tim chúng tôi sử dụng ở đây tuân theo luật cấu thành Guccione, được giới thiệu bởi Guccione và cộng sự [14], là một mô hình được sử dụng rộng rãi để mô tả đặc tính cơ học của mô cơ tim. Mô hình này mô tả cơ tim là một vật liệu đẳng hướng ngang, siêu đàn hồi, không thể nén được, chiếm các đặc tính dị hướng của nó dọc theo hướng sợi (f), hướng tấm (s), hướng bình thường của tấm, (n) quan hệ cấu thành được thể hiện bằng toán học thông qua các phương trình sau:

$$\Psi = \frac{1}{2}C_1(e^Q - 1)$$

$$Q = b_f E_{ff}^2 + b_{ft}(2E_{fs}^2 + 2E_{fn}^2) + b_t(E_{ss}^2 + E_{sn}^2)$$

Trong đó, Ψ là mật độ năng lượng, b là các thông số biểu thị phản ứng cơ học của mô cơ tim trong mô theo các hướng khác nhau. Các chỉ số f, s, n của ten-xơ biến dạng Green-Lagrange biểu thị các hình chiếu của ten-xơ này tương ứng với các hướng sợi, tấm và pháp tuyến của tấm. Với các thông số vật liệu chúng tôi chọn là C_1 = 2kPa, b_f = 8, b_t = 2, b_{ft} = 4 điều kiện biên DIrichlet được áp dụng cho bề mặt cơ sở, được cố định theo mọi hướng. Sự giãn nở hoạt động của tâm thất được đưa ra bởi ứng suất Piola-Kirchoff thứ hai, không đổi, đồng nhất theo hướng sợi là 60kPa:

$$T = T_p + T_a f f^T$$

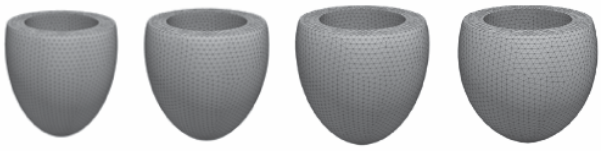
Trong đó: T_a = 60kPa; f là vector cột đơn vị theo hướng sợi; ứng suất thụ động $T_p = \frac{\partial W}{\partial E}$, trong đó W(E) là hàm năng lượng biến dạng phi tuyến.

Điều kiện biên áp suất ở đây chúng tôi áp dụng là điều kiện biên Neumann tăng tuyến tính theo thời gian từ 0 đến 15kPa cho nội tâm mạc.

4. KẾT QUẢ

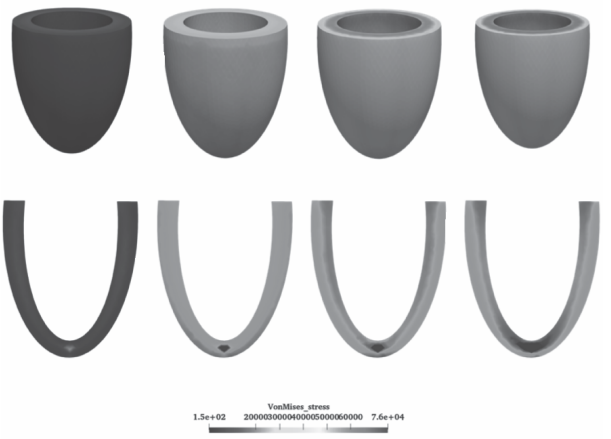
Hình 4 thể hiện quá trình giãn nở của tâm thất trái. Từ lúc cuối tâm thu cho đến cuối tâm trương, tim thực hiện giãn nở theo chiều giống hình xoắn ốc. Điều này hoàn toàn phù hợp với quy luật co giãn của cơ tim bình thường.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 4. Hình ảnh tâm thất trái qua các giai đoạn khác nhau, lần lượt từ trái qua phải là từ cuối tâm thu đến cuối tâm trương.

Hình 5 thể hiện ứng suất thành cơ tâm thất trái, ứng suất lớn nhất tại cuối tâm trương và nhỏ nhất tại cuối tâm thu.



Hình 5. Hình ảnh tâm thất trái qua các giai đoạn khác nhau, lần lượt từ trái qua phải là từ cuối tâm thu đến cuối tâm trương.

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã phát triển một mô hình cơ học lý tưởng của tâm thất trái con người sử dụng cấu trúc phân phối sợi dựa trên quy tắc, và sử dụng mô hình này để mô phỏng cơ học quá trình giãn nở của tâm thất trái. Chúng tôi đã mô phỏng cơ tim như một vật liệu không đồng nhất, thành dày, phi tuyến và không nén được. Các mô hình dành riêng cho bệnh nhân là một cách tiếp cận tiến bộ và đầy đứa hẹn đối với y học tim mạch được cá nhân hóa. Các giá trị sau mô phỏng có thể được đánh giá thêm bằng cách kiểm tra khả năng dự đoán sự thay đổi chức năng tim trong quá trình trị liệu và giúp tối ưu hóa phác đồ điều trị. ❖

Ngày nhận bài: **05/5/2024**
Ngày phản biện: **13/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. World Health Organization, *The top 10 causes of death,* https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death.

[2]. N. Trayanova, *Whole heart modeling*, Circulation Research 108 (1) (2011) 113-128.

[3]. Aguado-Sierra, A. Krishnamurthy, C. Villongco, J. Chuang, E. Howard, M. Gonzales, J. Omens, D. Krummen, S. Narayan, R. Kerckhoffs, et al, *Patient-specific modeling of dyssynchronous heart failure: a case study*, Progress in Biophysics and Molecular Biology, 2011.

[4]. A. Niederer, G. Plank, P. Chinchapatnam, M. Ginks, P. Lamata, K.S. Rhode, C.A. Rinaldi, R. Razavi, N.P. Smith, *Length-dependent tension in the failing heart and the efficacy of cardiac resynchronization therapy*, Cardiovascular Research 89 (2) (2011) 336-343.

[5]. Nguyen, T.D., Do .C.N., Pham, T.H., Pham, V.S. (2024). *Hemodynamics in Coronary Arteries: using Open-Source Software-Simvascular to Investigate the Hemodynamicsin Coronary Arteries of the Patient-Specific Modeling*. Vietnam Journal of Science and Technology 62 (3) (2024) doi:10.15625/2525-2518/18503.

[6]. Krishnamurthy A, Villongco CT, Chuang J, Frank LR, Nigam V, Belezzuoli E, Stark P, Krummen DE, Narayan S, Omens JH, McCulloch AD, Kerckhoffs RC (2013), Patient-specific cardiac biomechanical modeling. J Comput Phys 244:4–21. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2012.09.015.

[7]. PValverde I, Gomez G, Gonzalez A, Suarez-Mejias C, Adsuar A, Coserria JF, Uribe S, Gomez-Cia T, Hosseinpour AR (2015), *Patient-specific three-dimensional cardiac model for surgical planning in Nikaidoh procedur*e. Young Cardiol 25(4):698–704. ☞

https://doi.org/10.1017/S1047951114000742.

[8]. Yokokawa M, Desjardins B, Crawford T, Good E, Morady F, Bogun F (2013), *Reasons for recurrent ventricular tachycardia after catheter ablation of post-infarction ventricular tachycardia.* J Am Coll Cardiol 61(1):66–73. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.07.059.

[9]. De Lepper AGW, Buck CMA, Van't Veer M, Huberts W, Van de Vosse FN, Dekker LRC (2022), *From evidence-based medicine to digital twin technology for predicting ventricular tachycardia in ischaemic cardiomyopathy*. J R Soc Interface 19(194):20220317.

[10]. Arevalo HJ, Vadakkumpadan F, Guallar E, Jebb A, Malamas P, Wu KC, Trayanova NA (2016), *Arrhythmia risk stratification of patients after myocardial infarction using personalized heart models.* Nat Commun 7(1):11437.

[11]. Nash MP, Hunter PJ. *Computational mechanics of the heart*. Journal of Elasticity 2000; 61:113-141.

[12]. Bayer, J. D., Blake, R. C., Plank, G., & Trayanova, N. A. (2012). A Novel Rule-Based *Algorithm for Assigning Myocardial Fiber Orientation to Computational Heart Models. Annals of Biomedical Engineering,* 40(10), 2243–2254. https://doi.org/10.1007/s10439-012-0593-5.

[13]. Liu, J., & Marsden, A. L. (2018). *A unified continuum and variational multiscale formulation for fluids, solids, and fluid–structure interaction.* Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 337, 549–597. https://doi.org/10.1016/J.CMA.2018.03.045.

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÂM THỰC TRONG BÁNH CÔNG TÁC CỦA BƠM HƯỚNG TRỤC CÓ SỐ VÒNG QUAY ĐẶC TRƯNG CAO

AN EXPERIMENTAL STUDY OF CAVITATION IN IMPELLER OF AN AXIAL-FLOW PUMP WITH A HIGH- SPECIFIC SPEED

Trương Việt Anh[1*], Đỗ Hồng Vinh[2]
[1]Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội
[2]Viện Bơm và Thiết bị Thủy lợi

TÓM TẮT

Đặc điểm về xâm thực trong máy cánh dẫn luôn được quan tâm nghiên cứu để cải tiến thiết kế, vận hành hiệu quả. Các nghiên cứu trên mô hình máy để đưa ra dự báo xâm thực xảy ra thường dựa trên phương pháp nghiên cứu thực nghiệm hoặc mô phỏng số hoặc kết hợp cả hai phương pháp trên. Bài báo này, trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm khi vận hành máy bơm hướng trục có số vòng quay đặc trưng cao ($n_s \cong 1200$). Các máy bơm hướng trục phổ biến thường có $n_s < 1000$. Nghiên cứu này thực hiện trên mẫu thiết kế có n_s cao đang được quan tâm trong xu hướng cải tiến công nghệ hiện nay với mục tiêu nghiên cứu để thu nhỏ kích thước máy, giảm chi phí chế tạo và thích ứng chế độ làm việc cột áp thấp, lưu lượng lớn. Kết quả nghiên cứu này đã quan sát được xâm thực khu vực biên cánh bánh công tác và vùng xâm thực khi vận hành máy ở các góc xoay cánh từ -6^o đến $+6^o$. Qua đó, cho phép áp dụng cho thực tiễn vùng vận hành hiệu quả. Nghiên cứu cũng kiểm chứng về công thức tính toán lý thuyết dự báo theo số xâm thực tới hạn δ_{th} và cho thấy công thức này vẫn phù hợp áp dụng với mẫu máy có $n_s \cong 1200$. Các kết quả nghiên cứu có thể áp dụng phục vụ phát triển cho lý thuyết thiết kế máy bơm hướng trục.

Từ khóa: *Bơm hướng trục; Bơm thủy lực cánh dẫn; Xâm thực.*

ABSTRACT

The cavitation aspects in tubormachines is always in the interest for researchers for improvement of its design and operation. The prediction of cavitation occurrence can be based on experimental research or numerical simulation methods or combination of the both aboved methods. This article presents the results of experimental study in a model of an axial flow pumps with a high-specific speed ($n_s \cong 1200$). The popular axial-flow pumps usually have $n_s < 1000$. This study is implemented with a turbomachine with a high value of n_s with the aim of minimizing the size of the machine, reducing manufacturing cost and adapting for low pressure, high flow working mode. As the results of this study, the cavitation in the impeller blade boundary area is observed and the cavitation area are determined when operating the machine at several blade's rotation angles from -6^o to $+6^o$. Thereby allowing effective application to practical operating areas. The study also verified the theoretical calculation formula for prediction based on the critical cavitation number δ_{th} and showed that this formula is still suitable for applying to machine with $n_s \cong 1200$. The results can be applied for development of the theory of axial-flow pump's design.

Keywords: *Axial-flow Pump, Turbomachine; Cavitation.*

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Xâm thực trong máy bơm hướng trục đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu trong nhiều năm qua nhằm phát triển các cải tiến trong thiết kế, công nghệ và nâng cao hiệu suất. Các chủ đề nghiên cứu chủ yếu tập trung ở các vấn đề như: Tìm hiểu bản chất vật lý của hiện tượng xâm thực và các điều kiện xảy ra xâm thực trong bơm; Đặc tính các dạng xâm thực trong bánh công tác và đưa ra đặc tính vận hành, đánh giá sự ảnh hưởng và đề xuất giải pháp vận hành hiệu quả và gia tăng tuổi thọ chi tiết. Phương pháp nghiên cứu có thể dựa trên mô phỏng số và thực nghiệm để dự đoán xâm thực. Mặc dù đã có nhiều công trình nghiên cứu song các nghiên cứu về xâm thực trong máy bơm vẫn tiếp tục được quan tâm do tính đa dạng của các máy bơm cánh dẫn và kết cấu. Một số các công trình nghiên cứu tiêu biểu có thể tham khảo như: Nghiên cứu về ảnh hưởng của góc cánh công tác trên hiện tượng xâm thực trong bơm hướng trục năm 2012 [1]. Về nghiên cứu và dự báo xâm thực năm 2005 [2] đã công bố công trình nghiên cứu và dự báo xâm thực trong máy bơm. Theo tác giả, xâm thực ngày càng trở thành yếu tố trở ngại chính trong thiết kế nâng cao hiệu suất máy bơm. Các quy tắc thiết kế cổ điển được áp dụng trong nhiều thập kỷ không còn hiệu quả nữa và hình thành nhu cầu mạnh mẽ dự đoán hành vi xâm thực của máy bơm sử dụng công cụ mô phỏng số chính xác cao. Nhóm tác giả Masashi Fukaya, Tomoyoshi Okamura, Yoshiaki Tamura và Yoichiro Matsumoto năm 2003 [3] đã đưa ra phương pháp dự đoán xâm thực và hiệu suất của bơm hướng trục bằng cách sử dụng phương pháp số mô phỏng dòng xâm thực với mô hình dòng bọt khí. Ngoài ra, còn có các nghiên cứu về xoáy bề mặt và áp suất ở miệng hút bơm hướng trục đứng năm 2012 [4], nghiên cứu về ảnh hưởng của xâm thực đến cột áp bơm trong máy bơm hướng trục, năm 2015 [5]. Theo các nghiên cứu, kích thước của máy bơm hướng trục được sử dụng trong các trạm bơm thoát nước giảm và tốc độ quay của chúng đã tăng lên, tuy có thể đạt được mục tiêu giảm kích thước và giảm được chi phí chế tạo thiết bị và công trình trạm nhưng sẽ làm tăng nguy cơ gây ra xâm thực. Nghiên cứu này tiến hành thí nghiệm trên mô hình bơm hướng trục có số vòng quay đặc trưng cao ($n_s \cong 1200$), khảo sát vùng xâm thực để phân tích, đánh giá tác động của trạng thái xâm thực dưới ảnh hưởng của việc điều chỉnh góc xoay cánh và khả năng vận hành của máy bơm hướng trục hiệu quả.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Phần nghiên cứu thực nghiệm máy bơm mô hình được thực hiện trên giá thí nghiệm bơm của Viện Bơm và Thiết bị thủy lợi như sơ đồ đo ở Hình 1. Quy trình thử nghiệm như sau:

- Khởi động động cơ điện kéo máy bơm quay ở trị số n không đổi, nước được hút từ bể hút vào bơm và được đẩy vào ống chảy vào bể xả. Bể xả và bể hút thông nhau bằng đường ống trên đó có đặt thiết bị đo lưu lượng.

- Dùng van đặt trên ống đẩy để thay đổi lưu lượng từ 0 đến Q_{max}.

- Đo lưu lượng Q nhờ thiết bị đo đặt trên ống nối hai bể, hoặc dùng đầu đo siêu âm đo trên đoạn ống đẩy.

- Đo cột nước H và vẽ đường H - Q: Dùng chân không kế đặt ngay ở gần cửa vào BXCT để đo độ chân không H_{ck}, dùng áp lực kế để đo cột nước áp lực H_{ak} ở ngay sau cửa ra BXCT, tính ra cột nước H theo công thức sau:

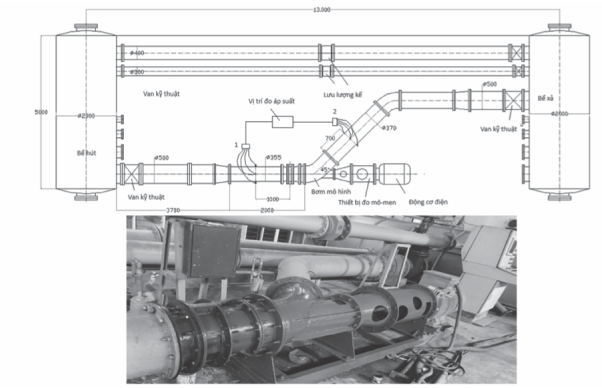
$$H = H_{ak} + H_{ck} + Z + (v_2^2 - v_1^2)/2g \quad (1)$$

Trong đó Z- Khoảng cách hai điểm đo giữa áp kế và chân không kế (với hệ thống thí nghiệm này, Z=0), v_1, v_2 - Vận tốc nước ở hai điểm đo tương ứng lối vào và ra bơm ở vị trí 1 và 2.

Mỗi lần thí nghiệm phải giữ vòng quay n không đổi, điều chỉnh lưu lượng thông qua độ mở van trên ống đẩy. Cột áp ở các điểm đo chân không kế (1) và áp kế (2) tương ứng trên sơ đồ Hình 1 để xây dựng đặc tính H - Q với n không đổi, đặc tính công suất N – Q tại các góc xoay cánh khác nhau trong dải từ -6° đến 6°.

Các thông số chính cần đo đạc trong quá trình thí nghiệm bao gồm:

- Lưu lượng;
- Cột áp;
- Số vòng quay;
- Áp suất hút;
- Công suất trên trục bơm;
- Hiệu suất máy bơm.

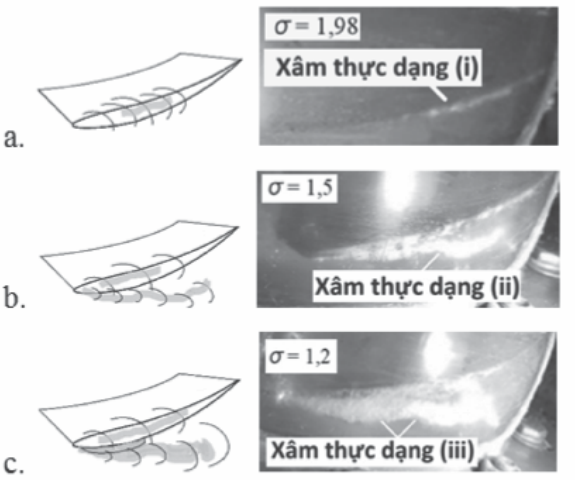


Hình 1. Hệ thống thí nghiệm máy bơm hướng trục $n_s \cong$ 1200 v/ph
(Viện Bơm và Thiết bị Thủy lợi)

Theo độ chính xác của các thiết bị đo, giá trị đo lường về cột áp, lưu lượng, mô men và công suất có sai số trong giới hạn 3%.

Trước khi đo đạc thực nghiệm, tiến hành kiểm tra các điều kiện làm việc của hệ thống thí nghiệm và của máy cần kiểm tra mức nước trong hệ thống, hoạt động của máy bơm chân không, hệ thống van và hiệu chỉnh điểm 'O' của các thiết bị đo lường. Sau đó, khởi động máy bơm và điều chỉnh qua van để đạt các trạng thái khảo nghiệm, theo dõi và ghi các thông số của hệ thống trên điều khiển.

Thí nghiệm trên bơm mô hình được tiến hành tại 5 vị trí góc xoay cánh: 0^0, -3^0, -6^0, $+3^0$ và $+6^0$. Tại mỗi vị trí góc xoay, tiến hành thí nghiệm đo đạc các thông số của bơm và sử dụng camera chụp ảnh quan sát các trạng thái của dòng chảy xâm thực.



Hình 2. Quan sát các dạng xâm thực trong vùng bánh công tác bơm hướng trục
(Góc xoay cánh 0 độ)

Để đánh giá chất lượng xâm thực của máy bơm nói chung, người ta dùng hệ số xâm thực Thomat định nghĩa cho máy bơm [6]:

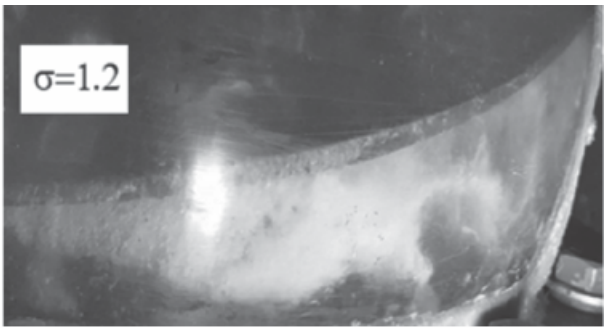
$$\sigma_1 = \frac{\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{p_{bh}}{\gamma}}{\frac{v_1^2}{2g}} \quad (2)$$

Như vậy, để xác định hệ số xâm thực của bơm ta phải xác định được các giá trị áp suất p_1, vận tốc V_1 lấy tại điểm đo trước lối vào bánh công tác, áp suất hơi bão hòa $p_{bh} = f(T)$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Quan sát xâm thực

Tại vị trí góc xoay cánh 0 độ, hiện tượng xâm thực được quan sát và chụp bằng camera dưới ánh sáng đèn chớp tần số cao như ở Hình 2. Ứng với các giá trị số xâm thực ở trạng thái vận hành tương ứng và ta quan sát được các dạng xâm thực như sau:



a) Xâm thực tại góc xoay -3 độ, σ=1,2

b) Xâm thực tại góc xoay +3 độ, σ=1,2

Hình 3. Xâm thực dạng trong bánh công tác bơm hướng trục khi xoay cánh

(i) Xâm thực do tách thành ở mép sắc dọc biên cánh tại tiết diện biên: Do sự chênh áp 2 mặt cánh và khe hở thủy lực đầu cánh, chất lỏng dồn từ mặt áp suất cao sang mặt hút của cánh và tạo vùng áp suất thấp dọc biên cánh do dòng chảy tách thành. Hiện tượng xâm thực này được quan sát thấy sớm nhất khi giá trị σ=1,98 trong Hình 2a.

(ii) Xâm thực xoáy đỉnh cánh ngoài tiết diện biên: Quan sát cho thấy khi σ = 1,6, xâm thực bắt đầu xuất hiện dưới dạng xoáy đỉnh cánh gây ra bởi tương tác dòng chảy tách thành từ mũi đỉnh cánh (tiết diện biên) kết hợp sự ảnh hưởng của dòng chảy tạo bởi sự chênh áp suất giữa hai mặt cánh. Xoáy này trở thành dây xoáy do chuyển động quay của bánh công tác (Hình 2b).

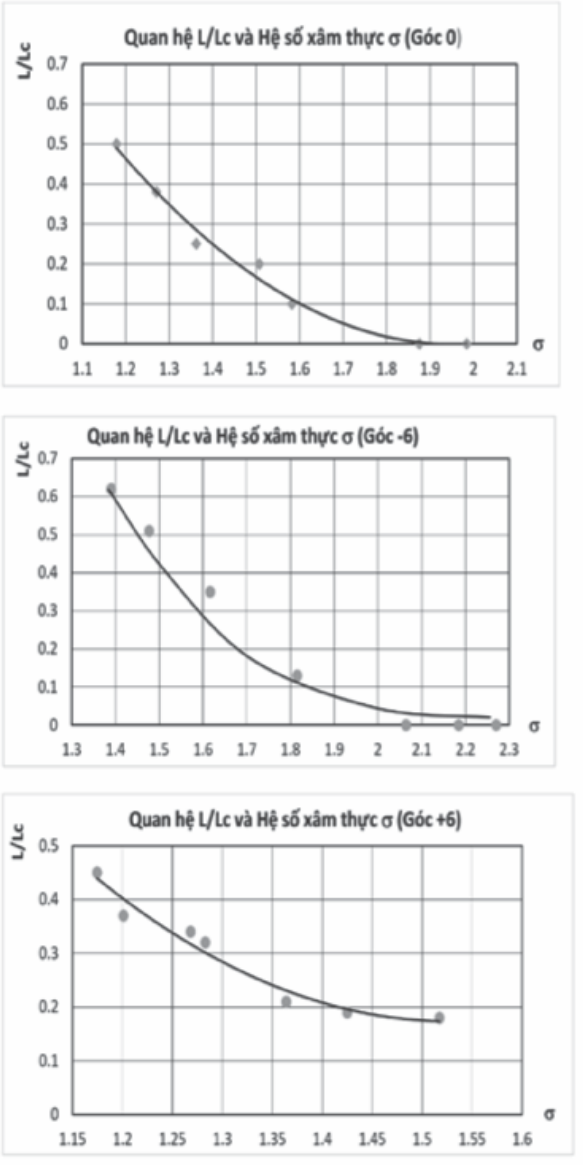
(iii) Xâm thực mép vào cánh và xoáy đỉnh cánh phát triển: Khi tiếp tục vận hành ở giá trị σ thấp hơn, sự suy giảm áp suất trong buồng bánh công tác cùng với sự tăng tốc độ dòng chảy làm gia tăng cường độ xoáy và xâm thực dạng xoáy đỉnh cánh này càng phát triển. Kích thước lõi bọt khí và dây xoáy tăng và lan rộng về phía đuôi cánh.

Việc xoay các góc cánh để điều chỉnh chế độ làm việc của các bơm hướng trục cỡ lớn là biện pháp kỹ thuật khá phổ biến. Tuy nhiên, xâm thực là nguy cơ tiềm ẩn khi vận hành theo các chế độ xoay cánh, đặc biệt với bơm cỡ lớn. Trong nghiên cứu này, góc xoay cánh điều chỉnh trong dải -6 đến +6 độ có ảnh hưởng lớn về chất lượng thủy lực, gây ra các hiện tượng xâm thực phát triển hơn đáng kể so với vị trí thiết kế (góc xoay là 0 độ). Hình a cho thấy ở góc xoay cánh -3 độ, xâm thực phát triển mạnh trên phần mép vào cánh bánh công tác kết hợp sự phát triển của xoáy xâm thực đỉnh cánh. Bề mặt lưng cánh chịu ảnh hưởng lớn của xâm thực bề mặt, xuất phát từ sự tách thành ở mép vào cánh, đồng thời đám mây xâm thực phát triển bởi xoáy rối đã được quan sát ở các nghiên cứu trước đây [1,3] cho thấy nguy cơ ăn mòn xâm thực mãnh liệt khi vận hành ở các giá

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

trị số xâm thực thấp (σ=1,2).

Ở chiều ngược lại, Hình b hiển thị ảnh có góc xoay cánh +6 độ cho thấy hiện tượng xâm thực dạng (iii) cũng xảy ra khá mãnh liệt, tuy nhiên, phạm vi xâm thực được quan sát cho thấy không mở rộng và phát triển mạnh bằng trường hợp xoay cánh ở chiều ngược lại (-3 độ).



Hình 4. Vùng xâm thực khi Δα thay đổi

3.2. Vùng xâm thực và kiểm chứng σ_{th}

Để xác định mức độ ảnh hưởng và phát triển của trạng thái xâm thực, vùng bọt khí xâm thực được đo trên hình ảnh quan sát và ước tính thông qua chỉ số L/L_c với L là chiều dài lớn nhất của vùng xoáy bọt khí dọc theo bề mặt cánh, L_c là chiều dài profile ở biên cánh bánh công tác. Dưới đây là các đặc tính vùng xâm thực xây dựng từ thực nghiệm (Hình 4). Thực tế có sự dao động do xoáy và tương tác dòng chảy ở khe hở thủy lực giữa vỏ bơm và biên bánh công tác, do đó việc quan sát bằng máy ảnh có những hạn chế nhất định bởi không thể quay video ở tốc độ cao.

Nếu so sánh ở cùng giá trị σ, có thể nhận thấy, vùng xâm thực phát triển mạnh hơn khi góc xoay cánh là giá trị âm nếu xét theo hệ số chiều dài không thứ nguyên L/L_c. Áp dụng lý thuyết tính toán của A.A Lomakin [1] cho máy bơm hướng trục, bằng số liệu đo đạc thực nghiệm, ta tiến hành tính toán các thông số hệ số cột áp K_H và số xâm thực tới hạn σ_{th} [6]:

$$K_H = \frac{H}{n^2.D^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{th} = \frac{0,0555}{K_H} + 0,7351\frac{T}{L} + 0,2419K_H\left(\frac{T}{L}\right)^2 \quad (4)$$

Điều kiện để xuất hiện xâm thực trong bơm là: $\delta_l < \delta_{th}$.

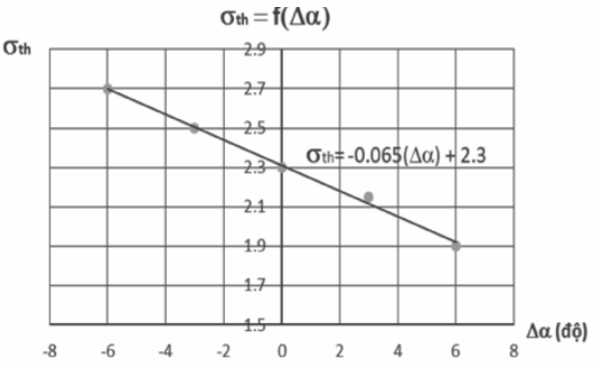
Qua đó, ta xây dựng được mối quan hệ giữa góc xoay cánh Δα và giá trị số xâm thực tới hạn σ_{th} và có kết quả ở Bảng 1 và Hình 5.

So sánh giữa kết quả quan sát xâm thực và sự xuất hiện của vùng xâm thực ở Hình 4, kết quả tính toán kiểm chứng cho thấy giá trị tính toán σ_{th} là phù hợp với kết quả thực nghiệm. Khi góc xoay cánh bằng 0 độ, xâm thực sẽ xảy ra khi σ < 2,3. Tương tự với các trạng thái ở các ☞

góc xoay cánh khác, ta ước tính được số xâm thực giới hạn . Đồ thị trong Hình 5 cho kết quả thú vị về giá trị σ_{th} là hàm số tuyến tính với giá trị góc xoay.

Bảng 1. Giá trị $K_{Htư}$ và σ_h tại các góc xoay cánh Δα khác nhau:

Δα (độ)	$H_{tư}$ (m)	D (m)	n (v/ph)	$K_{Htư}$	σ_{th}
0	2.38	0.352	980	0.072	2.3
-3	2.24	0.352	980	0.068	2.5
-6	2.08	0.352	980	0.063	2.7
3	2.7	0.352	980	0.082	2.2
6	2.99	0.352	980	0.090	1.9



Hình 5. Quan hệ tuyến tính giữa σ_{th} và Δα

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về xâm thực trong mẫu bơm hướng trục cột áp thấp với số vòng quay đặc trưng cao. Các trạng thái xâm thực đã được khảo sát, đánh giá về vùng xâm thực và kiểm chứng giá trị σ_{th}. Kết quả nghiên cứu này đưa ra một số kết luận như sau:

- Hiện tượng xâm thực được quan sát có 3 dạng, xuất phát từ xâm thực dọc mép cánh do tương tác giữa vùng áp suất cao và áp suất thấp trên 2 bề mặt cánh tại khe hở thủy lực của bánh công tác; Xâm thực dưới dạng xoáy xâm thực ở đầu mút đỉnh cánh trên tiết diện biên và xâm thực phát triển dọc theo bề mặt cánh.

- Hiện tượng xâm thực khi góc xoay cánh theo giá trị âm phát triển mạnh hơn đáng kể so với khi xoay cánh theo giá trị dương.

- Việc sử dụng công thức tính số xâm thực tới hạn σ_{th} trong vận hành máy bơm được kiểm chứng, có thể áp dụng với trường hợp máy bơm hướng trục có số vòng quay đặc trưng cao ($n_s \cong 1200$).

Ngày nhận bài: **26/5/2024**
Ngày phản biện: **12/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Mostafa NH, Adel M (2012) *Effect of Blade Angle on Cavitation Phenomenon in Axial Pump*. J Appl Mech Eng 1:112. doi:10.4172/2168-9873.1000112.

[2]. Phillipe Dupont (2005), "*Numerical Prediction of Cavitation in Pumps*", Sulzer Pump Ltd, Swiss.

[3]. Masashi Fukaya et al. (2003), "*Prediction of Cavitation Performance of Axial Flow Pump by using Numerical Cavitating Flow Simulation with Bubble Flow Model*", Hitachi Industries Co. and Ltd University of Tokyo.

[4]. Václav Uruba et al. (2022), "*Experimental and Numerical Study on Vortical Structures and Their Dynamics in a Pump Sump*", Water 2022, 14(13), 2039; https://doi.org/10.3390/w14132039.

[5]. K Hosono1 et al. (2015), "*Study on cavitation influence for pump head in an axial flow pump*", Journal of Physics: Conference Series 656 (2015) 012062 doi:10.1088/1742-6596/656/1/012062.

[6]. A.A. LÔMAKIN (1971), "*Bơm li tâm và bơm hướng trục*", NXB. Khoa học kỹ thuật.

GÓP THÊM GIẢI PHÁP NHẰM NÂNG CAO HIỆU QUẢ DẠY VÀ HỌC ONLINE

CONTRIBUTE ADDITIONAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF ONLINE TEACHING AND LEARNING

Đặng Phan Thu Hương[1], Doãn Thanh Bình[2], Tăng Bá Đại[3], Đào Quang Kế[4]
[1]Trường Đại học Lao động Xã hội
[2]Trường Đại học Điện lực
[3]Trường Đại học Công nghiệp Việt – Hung
[4]Trường Đại học Hòa Bình

TÓM TẮT

Dạy và học online hay trực tuyến (DHTT) là hoạt động nhằm hỗ trợ hoặc thay thế dạy và học trực tiếp. Nhu cầu về một môi trường học tập linh hoạt, học không tập trung, học mọi lúc, mọi nơi, người học ở đâu, nhà trường ở đó, DHTT đã phát huy được vai trò tích cực trong giáo dục nói chung mà không một phương thức đào tạo nào khác có thể thay thế được. DHTT dựa trên việc giảng dạy môn học thông qua trung gian công nghệ, dễ dàng tạo và cho phép người học tham gia khóa học, cá nhân hóa về thời gian và khoảng cách, cũng như công việc. Bài báo đề cập đến thực trạng và giải pháp, trong đó đưa ra một số phương pháp hỗ trợ dạy và học, kết nối tương tác cá nhân, tập thể, giữa giảng viên và người học nhằm nâng cao hiệu quả dạy và học trực tuyến.

Từ khóa: *Giáo dục; Dạy; Học; Công nghệ; Giải pháp.*

ABSTRACT

Online teaching and learning are intended to support or replace face-to-face teaching and learning. The need for a flexible learning environment, unfocused learning, learning anytime, anywhere, where the learner is, the school is there. Online teaching and learning have promoted a positive role in education in general that no other training method can replace. Online teaching and learning is based on technology-mediated subject teaching, easily creating and allowing learners to participate in courses, personalized in terms of time and distance, as well as work. The article addresses the current situation and solutions, including several methods to support teaching and learning, connecting individual and collective interactions between lecturers and learners to improve the effectiveness of online teaching and learning.

Keywords: *Education; Teaching; Learning; Technology; Solution.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dạy và học trực tuyến là một phương thức dạy và học ảo thông qua máy tính, điện thoại thông minh có kết nối Internet qua đó người học có thể tiếp nhận, cập nhật thông tin một cách dễ dàng [1, 2]. Giảng viên truyền tải nội dung bài học qua đường truyền băng thông rộng hoặc kết nối không dây (Wifi, Wimax), mạng nội bộ (LAN) [3]. Công nghệ này đã làm thay đổi nhanh chóng giáo dục đại học, nhất là trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4, việc dạy và học tập tích cực hơn nhờ có sự tham gia của công nghệ. Các tác giả [4, 5, 6] cũng đã khẳng định rằng DHTT đòi hỏi việc phân phối toàn bộ nội dung môn học qua mạng máy tính, phương thức này dựa trên web hoặc e-learning, dành cho những đối tượng không thể theo học trực tiếp, người hướng dẫn và người học cách xa nhau bởi khoảng cách địa lý, không gian và thời gian, ..., việc tương tác theo cách đồng bộ (thời gian thực) hoặc không đồng bộ (chậm trễ), giao tiếp bằng văn bản, tương tác giữa giảng viên và người học, giữa người học với người học, giữa người học với các xưởng, các trung tâm dịch vụ, bảo dưỡng sửa chữa, ..., qua đó cung cấp hỗ trợ về mặt kỹ thuật, thiết bị đào tạo ban đầu và liên tục cho cả giảng viên và người học. Đây là cốt lõi của dạy và học trực tuyến.

2. THỰC TRẠNG CỦA DẠY VÀ HỌC TRỰC TUYẾN

DHTT đã được biết đến và triển khai sâu rộng khi tình hình dịch bệnh COVID 19 diễn biến phức tạp, nhất là trong giai đoạn cuối năm 2020 và đặc biệt trong năm 2021. Đào tạo trực tuyến đơn giản và dễ tiếp cận với người học, linh hoạt, chủ động, tùy biến. Tuy nhiên, DHTT còn có những hạn chế nhất định [7-12]:

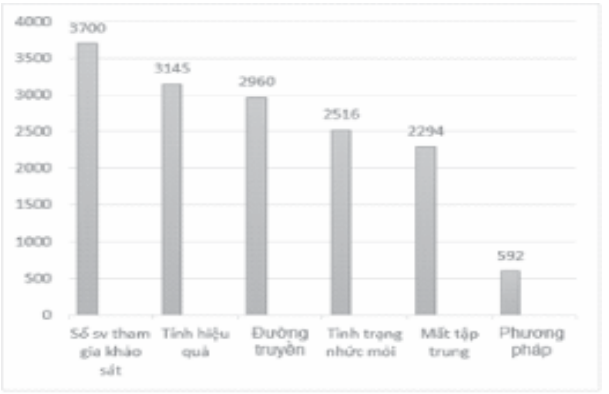
- Thực hành, thí nghiệm không được như đào tạo truyền thống, việc rèn luyện kỹ năng bị hạn chế bởi người học bị hạn chế tiếp cận với thiết bị, mô hình.

- Thiếu tính chủ động trong học tập, trong khi môi trường học tập trực tuyến đòi hỏi người học phải có tính độc lập và tự giác cao.

- Cần đảm bảo các yếu tố về hạ tầng công nghệ, giảng viên cũng phải được trang bị kỹ năng sư phạm phù hợp, xây dựng nội dung học liệu và có thể chia sẻ giữa các cơ sở giáo dục.

Hiện nay, đầu tư vào DHTT cũng còn là bài toán chưa rõ chi phí, giải pháp. Ở mô hình đại học truyền thống, nhà trường có cơ sở hạ tầng, có đội ngũ giảng viên cơ hữu, có thời gian biểu, …. Đây là các thông số cố định có thể tính toán giá học phí để đảm bảo lợi nhuận. Còn với DHTT, nhà trường có thể bắt đầu với chi phí rất thấp nhưng tốc độ mở rộng của nhóm này rất nhanh và không giới hạn về số lượng lẫn khung giờ tham gia, từ đó sẽ phát sinh nhiều chi phí không lường trước được. Theo [13], khảo sát nhanh thực hiện với gần 4.000 người học (Biểu đồ 1) cho thấy, đa số người học cho rằng việc học trực tuyến hiệu quả thấp hơn học trực tiếp trên lớp. Trong số 90% người học tham gia suốt lớp học, có nhiều ý kiến cho rằng học trực tuyến giúp nâng cao kỹ năng tiếp cận công nghệ thông tin, nhưng khảo sát này cũng cho thấy những con số rất đáng báo động về thực trạng học trực tuyến đang diễn ra. Theo đó, đa số người học học trực tuyến bằng điện thoại và phần lớn không có wifi để học, có tới 85% người học cho rằng việc học trực tuyến có hiệu quả thấp hơn so với học truyền thống, 36% người học được khảo sát cho biết có gặp những đối tượng quấy phá lớp học. Có 14÷18% người học còn cho rằng giảng viên chưa điều chỉnh phương pháp giảng dạy phù hợp với hình thức

đào tạo, chỉ đưa bài giảng lên hệ thống và chưa có nhiều tương tác với người học.



Biểu đồ 1. Số sinh viên tham gia khảo sát và kết quả khảo sát [13].

Thông qua khảo sát, có 64% người học cho rằng giảng viên giao bài tập nhiều, học phần nào cũng có bài kiểm tra và thu hoạch theo tuần. Giảng viên yêu cầu đọc tài liệu nhiều, chương trình chưa giảm tải nên nội dung học khá nặng. Có gần 80% người học cho rằng học trực tuyến nhưng mạng yếu, bị "văng" khỏi hệ thống zoom/teams hoặc không nghe rõ, nghe không liền mạch lời giảng viên, ... Xếp thứ hai trong các hạn chế được người học chỉ ra là "học trực tuyến làm đau đầu, đau tai, đau mắt do ngồi học quá lâu và nhìn vào màn hình máy tính, điện thoại quá nhiều" (chiếm tới gần 68% mẫu khảo sát).

Bên cạnh đó, nguyên nhân học trực tuyến khó tập trung vì môi trường xung quanh nhiều khi ồn ào hoặc yếu tố bên ngoài tác động, chiếm 62%. Hình thức học này còn hạn chế sự tương tác và trao đổi giữa giảng viên và người học dẫn đến dễ nhàm chán [13].

3. GIẢI PHÁP DẠY VÀ HỌC TRỰC TUYẾN

Thông qua DHTT, sinh viên có thể lựa chọn học phần, trao đổi ý kiến và tài liệu, cùng nhau thống nhất thời gian học, tính linh hoạt của học tập cho phép giảng viên và người học được kết nối mọi lúc, mọi nơi [14]. Cách thức này loại bỏ được các ràng buộc về thời gian và địa điểm. Khi đó, trường học không còn là nơi duy nhất diễn ra hoạt động dạy và học, sách giáo khoa không còn là nguồn cung cấp tri thức duy nhất cho người học. Người học cũng có thể sử dụng điện thoại di động hoặc máy tính để cập nhật tài liệu học tập, tài liệu của mình cũng có thể lưu và chia sẻ với các bạn học khác [15]. Như vậy, những thách thức mà giảng viên và người học thường gặp trong môi trường DHTT cần được xem xét để đảm bảo sự thành công trong công tác đào tạo. Để nâng cao hiệu quả DHTT, nhóm tác giả đề xuất một số giải pháp sau đây:

Một là, xây dựng môi trường học tập thân thiện và sáng tạo với khả năng sử dụng công nghệ tốt. Cần quan tâm đến việc người học có thể thích ứng với môi trường học tập này hay không?. Sẵn sàng cho phép người học lựa chọn học phần học trước, học sau, ... Các điều kiện tiên quyết cho việc dạy học như: Internet ổn định, tốc độ đảm bảo cho việc truyền dữ liệu, sử dụng slides, xây dựng video từ bài học thực tế, hình ảnh, ...thông qua đó người học có thể đặt câu hỏi, tìm kiếm các thông tin, thảo luận và tương tác.

Hai là, vai trò chính của giảng viên là dự đoán, khắc phục, ngăn chặn sự nhàm chán trong qua trình dạy học bằng cách tăng cường tương tác giữa giảng viên với người học, người học với người học, tạo dựng một không khí học tập sôi nổi như trình chiếu slide một cách dễ hiểu, rõ ràng, cấu trúc logic, hình ảnh, biểu đồ, ... Giảng viên tạo ra những tình huống đa dạng trong quá trình học tập của người học, có tính thực tế gắn với nội dung lý thuyết, thông qua đó người học sẽ hiểu rõ hơn bài giảng của giảng ☞

viên. Giảng viên cần cung cấp các tài liệu liên quan đến học phần, các bài tập nâng cao qua đó giúp người học nghiên cứu sâu hơn, và sẽ khuyến khích sự tự học và khám phá của người học. Sử dụng các công cụ trực tuyến để tạo không gian thảo luận, hỏi đáp giữa giảng viên với người học, giữa người học với người học. Người học qua hoạt động này sẽ chia sẻ ý kiến và thảo luận để tăng cường sự tương tác và tạo ra một môi trường học tập năng động, sôi nổi, góp phần phát triển tư duy và kỹ năng nghiên cứu.

Ba là, mỗi học phần có cách học tương ứng, có phương pháp học tập cụ thể. Sự tích hợp các phương pháp khác nhau trong quá trình giảng dạy như thảo luận, đặt câu hỏi và sử dụng các thiết bị nghe nhìn, mô phỏng, đóng vai, trình diễn, lập bản đồ, … Tạo ra sự hứng thú cho cả việc dạy và học. Các phương pháp đó được cụ thể hóa thông qua các mô hình, thiết bị âm thanh, các hình ảnh, sơ đồ, biểu tượng và áp phích, video... sẽ giúp người học đạt hiệu quả học tập tốt. Để đạt được hiệu quả DHTT, giảng viên cần xây dựng và thiết kế học phần với việc ứng dụng công nghệ, thiết bị giảng dạy phù hợp theo cách học tập đa dạng và theo đặc điểm của người học cũng như của học phần. Ứng dụng các biện pháp như vậy sẽ đáp ứng được nhu cầu học tập của người học, đặc biệt trong khối ngành kỹ thuật cần trực quan sinh động.

4. KẾT LUẬN

DHTT là một hình thức dạy và học mới. Hình thức này phù hợp với đối tượng đi làm, học liên thông, song bằng, văn bằng hai, ... Xuất phát từ nhu cầu đó, việc đổi mới về hình thức, phương pháp, phương tiện, nhất là sử dụng công nghệ trong dạy và học là cần thiết. Bên cạnh đó DHTT cần có các giải pháp phù hợp, đồng bộ để nâng cao tính hiệu quả và chất lượng trong việc dạy và học.❖

Ngày nhận bài: **18/5/2024**
Ngày phản biện: **08/6/2024**

Tài liệu tham khảo

[1]. Trần Thị Thu Hương và cs (2021); *Đánh giá hiệu quả giảng dạy trực tuyến: Kinh nghiệm quốc tế và một số bình luận.* Tạp chí Giáo dục, Số 516 (Kì 2 - 12/2021), tr. 54-58.

[2]. Tống Hồng Lam và cs (2022); *Tác động của giảng dạy trực tuyến đến hiệu quả học tập của sinh viên trong giai đoạn dịch Covid-19,* HCMCOUJS - Kỷ yếu, 17(3), tr. 161-176.

[3]. Bonk, C.J. and Zhang, K., (2008). *Empowering online learning: 100+ activities for reading, reflecting, displaying and doing*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

[4]. Revell, S.M. and McCurry, M.K., (2010); *Engaging millennial learners: effectiveness of personal response system technology with nursing students in small and large classrooms.* Journal of Nursing Education, 49(5), pp.272–275.

[5]. Phạm Thị Oanh và cs (2021); *Đánh giá của giảng viên về hiệu quả giảng dạy online tại Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh,* Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 50.

[6]. Phan Thế Hưng (2021); *Phương pháp giảng dạy trực tuyến đồng bộ và không đồng bộ*, Tạp chí Khoa học Đại học Văn Lang, Số 26, 3/2021.

[7]. http://giaoduc.net.vn/ day-hoc-truc-tuyen-khong-nen-ap-dung-dai-tra-neu-khong-du-dieu-kien-post221145.gd.

[8]. https://giaoducthoidai.vn/sinh-hoat-chuyen-mon-truc-tuyen-nam-bat-kho-khan-de-kip-thoi-ho-tro-post521825.html.

[9]. Phạm Trần Bích Thuận (2022); *Đổi mới kịch bản sư phạm để nâng cao hiệu quả dạy học trực tuyến tại Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 56.

[10]. https://giaoducthoidai.vn/chu-de/day-hoc-truc-tuyen-101.html.

[11]. https://platform.cloudclass.edu.vn/blog/day-hoc-truc-tuyen-giai phap moi cho nganh giao duc.

[12]. http://tpyenbai.edu.vn/tin-tuc-su-kien/tin-hoat-dong/day-hoc-truc-tuyen-...uc.htm.

[13]. https://thanhnien.vn/khao-sat-nhanh-cho-ket-qua-soc-85-sinh-vien-noi-hoc-truc-tuyen-hieu-qua-thap-post946802.html.

[14]. https://newdaymedia.com.vn/kinh-nghiem-to-chuc-su-kien/visual-advertising-nghe-thuat-ke-chuyen-hieu-qua-bang-hinh-anh.

[15]. Đoàn Quang Hiếu (2022); *Vai trò của giáo trình và tài liệu tham khảo môn học dạng điện tử trong xu thê giảng dạy trực tuyến của các trường đại học Việt Nam*, Thông tin và tư liệu, 2/2022.

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG KÍNH VAI DỤNG CỤ ĐẾN CHẤT LƯỢNG MỐI HÀN MA SÁT KHUẤY TRÊN ỐNG NHÔM HỢP KIM AA6061 CÓ GIA NHIỆT TRƯỚC

EFFECT OF TOOL SHOULDER DIAMETER ON THE QUALITY OF FRICTION STIR WELD JOINTS ON PRE-HEATED AA6061 ALLOY ALUMINUM TUBE

Nguyễn Hoàng Lĩnh, Trần Thiên Phúc
Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Hàn ma sát khuấy gia nhiệt trước bằng điện trở (Resistance Friction Stir Welding – RFSW) là quy trình hàn ma sát khuấy (Friction Stir Welding – FSW) có hỗ trợ nhiệt, nung nóng vật liệu hàn trước khi dụng cụ hàn tiếp xúc và ma sát, gia tăng dòng vật liệu, điều khiển được lượng nhiệt vào, giảm nguy cơ hình thành khuyết tật hàn, có chi phí thiết bị thấp và cải thiện chất lượng mối nối hàn hiệu quả. Trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành thực nghiệm RFSW trên mô hình ống trụ nhôm hợp kim AA6061. Chúng tôi đã thiết kế và chế tạo dụng cụ hàn, đồ gá hàn và thiết bị gia nhiệt. Ảnh hưởng của đường kính vai dụng cụ khuấy đến chất lượng mối hàn được đánh giá bằng thực nghiệm. Từ đó đánh giá độ dẻo dai va đập, độ cứng vi mô và xem xét cấu trúc tế vi nhằm đạt được chất lượng mối hàn tốt nhất.

Từ khóa: *Hàn ma sát khuấy; Ống trụ nhôm; Độ va đập; Độ cứng vi mô; Gia nhiệt trước.*

ABSTRACT

Resistance Friction Stir Welding (RFSW) is a heat-assisted Friction Stir Welding (FSW) welding process that heats the weld material before the welding tool comes into contact and friction, increases material flow, controls heat input, reduces the risk of welding defects, has low equipment costs and effectively improves weld joint quality. In this paper, RFSW experiments are conducted on the AA6061 aluminum alloy cylinder model. We have designed and manufactured welding tools, welding fixtures and heating equipment. The influence of the stirring tool shoulder diameter on weld quality was evaluated experimentally. From there, evaluate impact toughness, and microhardness and consider microstructure to achieve the best weld quality.

Keywords: *Friction stir welding; Aluminum tube; Impact toughness; Microhardness; Preheating.*

☞

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhận thức được tầm quan trọng của việc áp dụng FSW là một bước tiến quan trọng trong việc phát triển công nghệ hàn trong bối cảnh quốc gia đang phát triển ở mức thấp như Việt Nam. FSW đem lại nhiều lợi ích so với các phương pháp hàn truyền thống như: tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường mà không tạo hồ quang và khói hàn, không tiêu thụ khí hàn, không cần sử dụng kim loại que hàn để điền đầy mối hàn, giảm thiểu hiện tượng biến dạng, không nứt và đảm bảo chất lượng mối hàn [1].

Mục tiêu đầu tiên của nghiên cứu là phát triển công nghệ hàn FSW sao cho phù hợp với điều kiện, nhu cầu cụ thể của Việt Nam nhằm khắc phục nhược điểm trên và nâng cao độ bền cho mối hàn FSW. Điều này có thể bao gồm việc tối ưu hóa các thông số công nghệ như tốc độ quay của dụng cụ hàn, áp lực hàn, nhiệt độ và vật liệu hàn để đảm bảo mối hàn có độ bền cao và khả năng chịu tải tốt.

FSW được gia nhiệt bằng laser đã được nhận thấy có nhiều ưu điểm là cải thiện cấu trúc vi mô, độ bền kéo tăng 10%, tia laser có thể tăng nhiệt độ cho vùng khuấy làm giảm mài mòn dụng cụ, làm giảm lực công cụ, giảm độ lệch giữa máy và phôi so với FSW thông thường nhưng nhược điểm lớn là chi phí cho thiết bị thí nghiệm quá cao [2, 3].

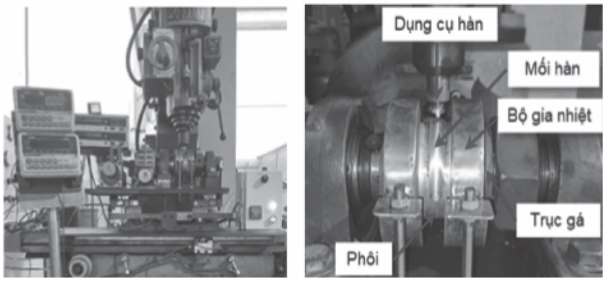
FSW gia nhiệt bằng plasma [4, 5] đã nghiên cứu về nhiệt độ, cơ tính, và cấu trúc tế vi của mối hàn với vật liệu nhôm. Nhược điểm là khó kiểm soát nhiệt độ của bộ phận gia nhiệt plasma; nhiệt độ gia nhiệt từ plasma rất cao, nên đối vật liệu nhôm rất nhanh đạt tới giới hạn nóng chảy.

Naji và các cộng sự đã nghiên cứu, đánh giá sự phát triển và xu hướng trong hàn ma sát khuấy có hỗ trợ nhiệt bằng siêu âm [6]. FSW có sự hỗ trợ của siêu âm mang lại nhiều ưu điểm so với FSW thông thường. Các tần số rung động cao giúp cải thiện chất lượng mối hàn và các tính chất vật lý, luyện kim, cơ học và ma sát của mối hàn. FSW gia nhiệt trước bằng siêu âm cải thiện đáng kể đặc tính cơ học, loại bỏ một số khuyết tật mối hàn cũng như tăng cường cơ tính mối hàn và cấu trúc tế vi. Bên cạnh hàn nhôm có thể được triển khai hàn nối thành công giữa các kim loại cứng như titan và thép. Nhược điểm của phương pháp là chi phí cho thiết bị tương đối cao, chỉ thích hợp hàn với vật liệu mỏng.

Ngoài các phương pháp FSW có gia nhiệt như trình bày trên, tác giả Kaushik Sengupta và cộng sự [7] đã có các đánh giá về nghiên cứu quá trình FSW có gia nhiệt trước bằng điện trở (RFSW). Bài báo trình bày những ảnh hưởng của các thông số hàn đến chất lượng mối hàn, hình học dụng cụ hàn, vật liệu dụng cụ và các thông số quá trình hàn. Người ta đã chứng minh rằng FSW có gia nhiệt trước bằng điện trở của hợp kim cường độ cao như nhôm là một công nghệ mới nổi với nhiều ứng dụng thương mại. Bên cạnh nhược điểm khó bố trí điện trở phù hợp giữa hai vật liệu khác nhau, dễ bị điện giật nếu bất cẩn, nghiên cứu cũng chỉ ra nhiều ưu điểm của RFSW so với các phương pháp FSW có hỗ trợ nhiệt khác như: tăng tuổi thọ và hiệu suất dụng cụ, ít tiêu thụ năng lượng, chi phí thấp và dễ sử dụng, không bị mất các nguyên tố hợp kim trong quá trình nối, không có sự thay đổi thành phần trong quá trình tham gia hàn, ổn định kích thước tốt hơn, cải thiện tính chất luyện kim, giảm rung động và biến dạng đồ gá hàn. Vì vậy, việc tiếp cận nghiên cứu RFSW nhằm khắc phục các nhược điểm mà các phương pháp FSW có hỗ trợ nhiệt khác đã có với chi phí thấp, an toàn, dễ sử dụng là phù hợp và cần thiết với Việt Nam ngày nay.

Công nghệ RFSW ứng dụng hàn các ống trụ nhôm đường kính nhỏ trong thời gian qua có nhưng rất ít những nghiên cứu đi sâu về vấn đề phân tích sự ảnh hưởng của các thông số hàn đến độ dẻo dai va đập, độ cứng vi mô, cấu trúc tế vi đối với hợp kim nhôm AA6061, từ đó lựa chọn thông số hàn hợp lý nhằm nâng cao chất lượng mối hàn. Đây là một trong những hợp kim rất khó hàn bằng phương pháp hàn nóng chảy truyền thống.

Ở đây, nhóm tác giả sẽ tiến hành nghiên cứu sự ảnh hưởng của đường kính vai của dụng cụ khuấy d (mm). Với những kết quả đạt được trong bài báo, hy vọng rằng mối hàn này có thể thay thế cho các mối ghép khác để ứng dụng trong ngành hàng không, vũ trụ, hệ thống đường ống dẫn dầu hoặc các kết cấu xây dựng khi sử dụng hợp kim nhôm.



Hình 1. Nguyên lý hàn ma sát khuấy có gia nhiệt trước

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Kỹ thuật RFSW so với FSW thông thường là sử dụng gia nhiệt làm nguồn nhiệt bổ sung để cải thiện quá trình dẻo hóa nhiệt của vật liệu hàn, tăng hiệu quả mối nối hàn, ít khuyết tật và kéo dài tuổi thọ dụng cụ hàn [7, 8]. Để xác định các thông số công nghệ ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn, ta phải xây dựng phương trình cân bằng nhiệt của quá trình hàn với các yêu cầu giống như mô hình thực nghiệm, bên cạnh đó cần tiến hành thí nghiệm trên mô hình thực tế, từ đó phân tích và đánh giá dữ liệu có được để đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy. Nhiệt lượng hàn ma sát khuấy gia nhiệt bằng điện trở (Q_{RFSW}) là tổng quá trình truyền nhiệt từ điện trở (Q_R) và truyền nhiệt từ FSW (Q_{FSW}), có thể được biểu thị dưới dạng công thức (1):

$$Q_{RFSW} = Q_R + Q_{FSW} \quad (1)$$

Với $Q_R = I^2.R.t$ (I – Cường độ dòng điện, R – Điện trở, t – Thời gian)

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu phôi hàn là ống trụ hợp kim nhôm AA6061 có kích thước: chiều rộng đoạn ống 40 mm, đường kính ngoài 80 mm, chiều dày 5 mm, được tiện cắt đứt từ ống dài 2.5m đảm bảo độ song song hai mặt khi gá lên trục gá để hàn giáp mối.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tiến hành thực nghiệm RFSW cho ống nhôm hợp kim AA6061 có kích thước ϕ80x40x5 (mm) trên máy hàn ma sát khuấy đã cải tiến từ máy phay vạn năng. Trong đó, chế tạo dụng cụ hàn vật liệu H13 (SKD61) [9] có đầu khuấy hình trụ (ren phải M5x1), có kích thước đường kính vai lần lượt là 12 mm, 15 mm và 18 mm.

Nghiên cứu chế tạo bộ gia nhiệt gồm hai vòng điện trở có bảo ôn giữ nhiệt và hộp điều khiển gia nhiệt đảm bảo an toàn, hệ thống đồ gá hàn ống. Quá trình thực nghiệm hàn được thực hiện trên hệ thống thiết bị FSW (Hình 1). Ở thiết bị thí nghiệm này, ta chọn trước thông số: nhiệt độ gia nhiệt trước 100°C (nằm trong vùng nhiệt mà bộ gia nhiệt đã chế tạo) và độ lệch tâm dụng cụ hàn được chọn là 6 mm [10]. ☞

Sau khi thực hiện xong đường hàn, tiến hành quan sát cấu trúc tế vi của mối hàn sau khi tẩm thực bằng dung dịch 70ml H_2O, 15ml HNO_3, 5ml HCL và 10ml HF với thời gian 20s. Kính hiển vi quang học mẫu ViewMet được dùng để chụp tổ chức tế vi của mối hàn. Để đo độ cứng Vickers, sử dụng thiết bị Micro Hardness Tester WILSON 1202 với tải trọng đo 0.5kg, thời gian giữ tải 15s, mẫu thử được kiểm tra theo tiêu chuẩn Quốc tế ASTM E384 [11]. Độ dẻo dai va đập cũng được xem xét trên thiết bị thử nghiệm và có kích thước mẫu thử độ dai va đập được chuẩn bị theo tiêu chuẩn Quốc tế ASTM E23-18 [12].

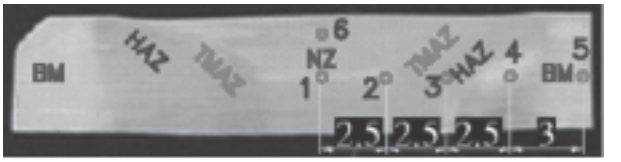
Để đánh giá các nhân tố trong vùng hàn hợp lý, ở nghiên cứu trước các mẫu hàn đã được kiểm nghiệm với bộ thông số công nghệ (n, v, d) trong miền giá trị tối ưu lần lượt là: mẫu 1 (1500 v/ph; 100 mm/ph, 18 mm) và mẫu 2 (1500 v/ph; 100 mm/ph, 15 mm). Từ đây, nhóm tác giả tiến hành khảo sát các đặc tính cơ học ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

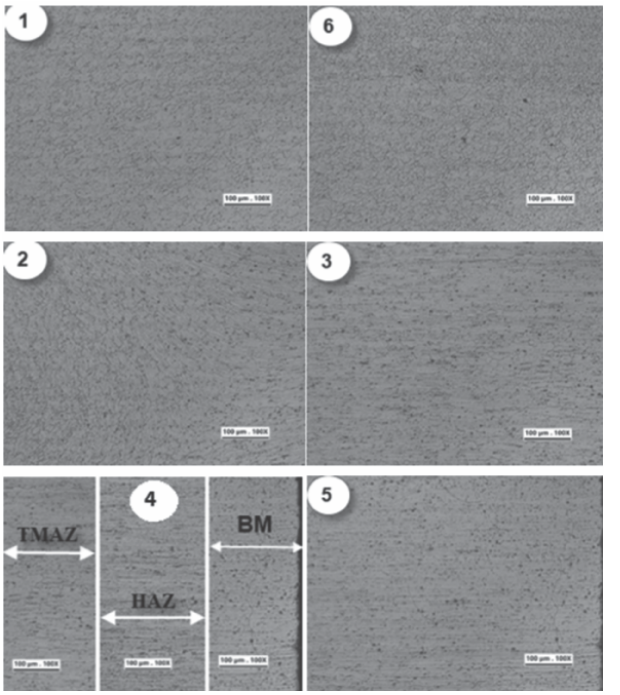
3.1. Cấu trúc tế vi mối hàn

Với kết quả đạt được như trên, cần kiểm tra tổ chức tế vi tại vùng tâm hàn, để đánh giá chất lượng mối hàn tốt nhất. Mẫu mối hàn hợp lý được sử dụng làm đại diện để khảo sát những thay đổi về tổ chức tế vi trong mối hàn RFSW.

Tổ chức tế vi của mối hàn được kiểm tra chụp ảnh bằng kính hiển thị vi quang học có độ phóng đại từ 50 đến 1500 lần tại các điểm 1, 2, 3, 4, 5, 6 như Hình 2 so với kim loại cơ bản (tổ chức tế vi có cấu trúc hạt thô và dài) và có kết quả như Hình 3.



Hình 2. Vị trí kiểm tra cấu trúc tế vi



Hình 3. Tổ chức tế vi tại các vị trí khác nhau trong vùng hàn: Vùng tâm mối hàn (1, 2, 6); Vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (3); Vùng ảnh hưởng nhiệt (4); Vùng kim loại cơ bản (5)

Vùng tâm mối hàn (NZ – Nugget Zone): tổ chức tế vi ở vị trí 1 (giống với tổ chức tế vi ở vị trí 6), là điểm nằm ở đường tâm mối hàn, do biến dạng dẻo mãnh liệt bởi tác dụng của đầu khuấy nên vùng này có cấu trúc hạt mịn theo hướng từ chân mối hàn đến bề mặt mối hàn, chứng tỏ độ bền kéo tăng cao trong quá trình FSW. Tổ chức tế vị ở vị trí số 2 có kích thước hạt mịn giống với vùng tâm hàn (bên phải), bên trái giống với vùng ảnh hưởng nhiệt. Vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (TMAZ – Thermo Mechanically Affected Zone): tổ chức tế vi ở vị trí 3, dòng vật liệu được hình thành bởi dụng cụ

hàn và nhiệt làm cho vật liệu bị biến dạng dẻo ảnh hưởng đến tính chất của vật liệu. Đây là vùng có cỡ hạt lớn dần về phía vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ – Heat Affected Zone) và gần với kích thước hạt kim loại cơ bản.

Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ): tổ chức tế vi ở vị trí số 4, vùng này nằm giữa vùng không ảnh hưởng và vùng ảnh hưởng cơ nhiệt, không xảy ra quá trình biến dạng dẻo, có tổ chức tế vi và cơ tính bị thay đổi. Cấu trúc tế vi của HAZ là tương tự như BM (Base Material), nhưng hạt thô hơn so với BM. Vùng không ảnh hưởng (BM): có thể xem xét tổ chức tế vi ở vị trí số 5, phần vật liệu nằm ở vị trí xa mối hàn, không bị biến dạng và ảnh hưởng bởi nhiệt nên tổ chức tế vi và cơ tính không thay đổi.

Có thể kết luận rằng với các thông số công nghệ RFSW cho mối hàn chất lượng ở trên thì quá trình biến đổi cấu trúc hạt là khá rõ nét và mãnh liệt. Điều này chắc chắn làm tăng cơ tính mối hàn ma sát khuấy.

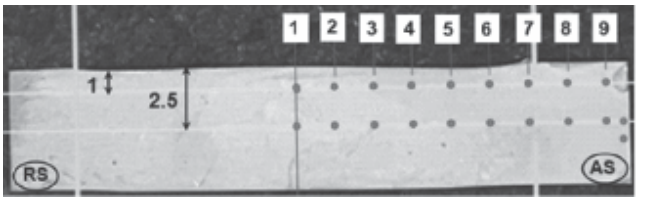
3.2. Độ cứng Vicker

Độ cứng đo ở giữa mặt cắt ngang mối hàn, khảo sát đo độ cứng cho 03 mẫu đo HV1, HV2, HV3 và vị trí đo như Hình 4. Thông số hàn n và v ở mức cơ sở với d có giá trị lần lượt là 12, 15, 18 (mm) được xem xét và cho kết quả như Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị đo độ cứng cách mặt ngoài ống 1 mm

Mẫu đo	n (v/ph)	v (mm/ph)	d (mm)	Vùng vị trí đo			Đo (trung bình)
				1 (Phía lui)	2 (Tâm)	3 (Phía tiến)	
HV1	1500	100	12	76.3	73.2	73.0	74.2
HV2			15	76.9	75.9	74.2	75.7
HV3			18	76.2	75.9	75.9	76.2

Dựa vào kết quả giá trị đo trung bình (Bảng 1), ta nhận thấy thông số hàn thực nghiệm mẫu đo HV3 (có đường kính vai 18mm) cho kết quả cao nhất.



Hình 4. Vị trí đo độ cứng vùng hàn

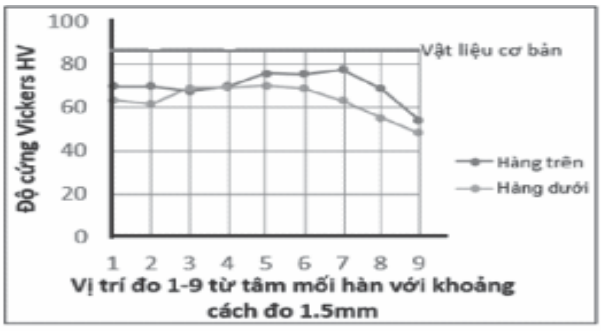
Bảng 2. Kết quả đo độ cứng Vickers (HV)

Giá trị đo Micro Vickers, tải đo 0.5kg, thời gian tải 15s									
Vị trí đo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hàng trên	69.8	69.8	67.5	69.8	75.6	75.3	77.5	68.6	54.0
Hàng dưới	63.4	61.4	69.0	69.3	69.9	68.8	63.0	55.0	48.1

Từ đây, tác giả chỉ đánh giá mẫu HV3, sự phân bố độ cứng bên phải mối hàn tính từ giữa tâm mặt cắt ngang vùng hàn (do mối nối hàn cùng vật liệu), gồm 02 hàng, mỗi hàng có 09 vị trí đo theo hướng dọc mối hàn, các vị trí cách đều 1.5mm, hàng dưới giữa tâm mặt cắt (khoảng cách 2.5mm) cách hàng trên 1.5mm (Hình 4), cho kết quả như Bảng 2.

Từ kết quả đo trên biểu diễn như hình 5, độ cứng hàng đo trên (cách mặt ngoài ống 1mm) có độ cứng cao hơn một ít so với hàng dưới, độ cứng tại vùng tâm hàn (NZ) thấp hơn độ cứng của vật liệu ống nhôm 6061 cơ bản (86HV) [13], là do sự hòa tan kết tủa các pha trong quá trình khuấy.

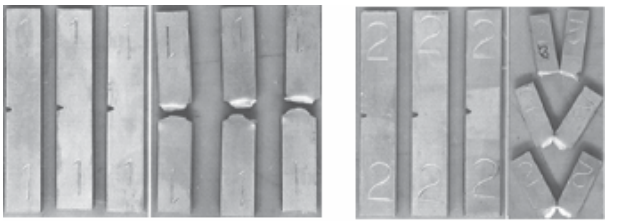
Độ cứng đo dọc theo mặt cắt ngang của mối hàn như thứ tự: BM > TMAZ > NZ > HAZ. FSW hỗ trợ nhiệt bằng điện trở có phân bố độ cứng giữa các vùng không chênh lệch nhiều theo chiều dọc mối hàn. Phía tiến (AS – Advancing Slide) được coi là vùng hơi mềm so với phía lui (RS – Retreating Slide), phía tiến có nhiệt độ cao hơn do lực ma sát lớn hơn, nhiệt độ cao này có thể dẫn đến việc các hạt kết tủa trong kim loại cơ bản bị thô hóa hoặc tan chảy và sau đó kết tinh lại thành các hạt lớn hơn khi kim loại nguội đi. Qua đó, cho thấy ảnh hưởng của quá trình cơ nhiệt đến quá trình biến đổi luyện kim, làm tăng độ cứng và độ bền cho mối hàn.



Hình 5. Sự phân bố độ cứng mối hàn

3.3. Độ dai va đập

Phương pháp thử nghiệm va đập Charpy được sử dụng để xác định độ dẻo dai của hai mẫu hàn ở nhiệt độ phòng (27°C). Búa được sử dụng có công suất cực đại là 292 J và vận tốc cực đại là 5,2 m/s. Kết quả kiểm tra độ dai va đập ở vùng hàn hợp lý được trình bày trong hình 6.



a) Mẫu 1 (8J, 8J, 6J) *b) Mẫu 2 (6J, 6J, 8J)*

Hình 6. Kiểm tra các mẫu thử va đập

Vật liệu gốc Al6061 có độ dai va đập là 8J [14], từng mẫu hàn được đo 03 lần, mẫu 1 có giá trị đo trung bình là 7.33J, còn mẫu 2 có giá trị do trung bình là 6.67J. Kết quả đo độ dai va đập cho thấy rằng độ dai va đập của các mẫu hàn ma sát khuấy lệch ít so với mẫu kim loại gốc. Độ dai va đập của mẫu hàn 1 cao hơn độ dai va đập của mẫu hàn 2, điều đó cho thấy với cùng điều kiện hàn n và v, khi tăng đường kính vai d dẫn đến độ dai va đập tăng lên, là do sự ma sát vai dụng cụ tăng, nhiệt độ đầu vào cũng tăng và làm cho kích thước hạt trong mối hàn tăng.

4. KẾT LUẬN

Mối hàn RFSW của ống trụ hợp kim nhôm AA6061 được chế tạo thành công và đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ, đánh giá ảnh hưởng đường kính vai dụng cụ đến độ cứng vi mô, độ dai va đập và cấu trúc tế vi để mối hàn đạt chất lượng tốt nhất.

Gia nhiệt bằng điện trở trong quá trình

FSW giúp cấu trúc vi mô hạt nhỏ và đồng nhất, duy trì độ cứng vi mô đều hơn trong vùng NZ và HAZ. Từ đó, cải thiện cả về độ cứng vi mô và độ dai va đập so với các nghiên cứu về FSW thông thường.❖

Ngày nhận bài: **03/5/2024**
Ngày phản biện: **07/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. S. Bharti et al., "*A Review of Recent Developments in Friction Stir Welding for Various Industrial Applications*". Journal of Marine Science and Engineering, vol. 12, no. 1, p. 71, 2023.

[2]. W.-S. Chang, S. R. Rajesh, C.-K. Chun, and H.-J. Kim, "*Microstructure and mechanical properties of hybrid laser-friction stir welding between AA6061-T6 Al alloy and AZ31 Mg alloy*". Journal of Materials Science & Technology, vol. 27, no. 3, pp. 199-204, 2011.

[3]. G. Casalino, S. Campanelli, A. Ludovico, N. Contuzzi, and A. Angelastro, "*Study of a fiber laser assisted friction stir welding process*". In High power laser materials processing: Lasers, beam delivery, diagnostics, and applications, 2012, vol. 8239: SPIE, pp. 310-316.

[4]. D. Yaduwanshi, S. Bag, and S. Pal, "*Effect of preheating in hybrid friction stir welding of aluminum alloy*". Journal of materials engineering and performance, vol. 23, pp. 3794-3803, 2014.

[5]. B. S. Cota and A. Q. Bracarense, "*Hybrid Friction Stir Welding Process with Plasma-assisted of 5052 H34 Aluminum Alloy and SAE 1020 Steel: Material Flow Characterization*". Soldagem & Inspeção, vol. 26, p. e2612, 2021.

[6]. C. W. Naji A.M, and G.K.Padhy, "*Review Progress and Trends in Ultrasonic Vibration Assisted Friction Stir Welding*". Journal of Harbin Institute of Technology, vol. 25, pp. 16-42, 2018, doi: 10.11916/j.issn.1005-9113.17105.

[7]. K. Sengupta, A. K. Mondal, D. Bose, and D. K. Singh, "*Fundamentals of Electric Resistance Friction Stir Welding of Metals: A Review*". In 2020 IEEE 1st International Conference for Convergence in Engineering (ICCE), 2020: IEEE, pp. 32-37.

[8]. H. Schmidt, J. Hattel, and J. Wert, "*An analytical model for the heat generation in friction stir welding*". Modelling and simulation in materials science and engineering, vol. 12, no. 1, p. 143, 2003.

[9]. H. K. Rafi, G. J. Ram, G. Phanikumar, K. P. J. M. Rao, and Design, "*Microstructural evolution during friction surfacing of tool steel H13*". Vol. 32, no. 1, pp. 82-87, 2011.

[10]. D. H. Lammlein, "*Friction stir welding of spheres, cylinders, and t-joints: design, experiment, modelling, and analysis*". Vanderbilt University, 2010.

[11]. A. B. Hardness, "*Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*". ASTM Committee: West Conshohocken, PA, USA, vol. 384, p. 399, 1999.

[12]. A. Standard, "*Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials*". Metals-Mechanical Testing, E23-94b, vol. 3, 2007.

[13]. A.M.Khourshid, "*Mechanical-properties-of-Friction-Stir-Welded-Aluminium-Alloy-pipes*". European Journal of Mechanical Engineering Research, vol. 4, pp. 65-78, Aprial 2017.

[14]. D. Devaiah, K. Kishore, and P. Laxminarayana, "*Study the process parametric influence on impact strength of friction stir welding of dissimilar aluminum alloys (AA5083 and AA6061) using Taguchi technique*". Inte. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol, vol. 3, pp. 91-98, 2016.

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH VẬN TỐC DÒNG KHÍ TRONG ỐNG LÀM MÁT DƯỚI TÁC DỤNG CỦA KHÍ THUỐC ĐẦU NÒNG

RESEARCH ON DETERMINING THE AIRFLOW VELOCITY IN COOLING TUBES UNDER THE INFLUENCE OF PROPELLANT GAS AT THE MUZZLE

ThS. **Mai Văn An**, ThS. **Phạm Đức Khôi**
Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Việc làm mát nòng khi bắn giúp tuổi thọ nòng súng, pháo tăng lên từ đó tăng tuổi thọ của cho cả khẩu súng, pháo. Có nhiều biện pháp làm mát nòng súng, pháo khi bắn như tạo các rãnh tản nhiệt bên ngoài nòng, làm mát bằng nước hay làm mát bằng dòng khí… Súng trung liên thế hệ mới STrL-P được thiết kế kết hợp cả hai phương pháp làm mát nòng bằng các rãnh tản nhiệt và dòng khí. Thiết kế này giúp tăng tuổi thọ nòng (súng) lên đáng kể. Dòng khí cưỡng bức được tạo ra bằng cách bố trí các ống có tiết diện nhất định bao quanh nòng, sử dụng vận tốc dòng khí đầu nòng ở giai đoạn tác dụng sau cùng của khí thuốc tạo ra sự chênh lệch áp suất giữa hai đầu ống giúp không khí trong ống di chuyển. Bài báo này trình bày phương pháp khảo sát sự ảnh hưởng của vận tốc khí thuốc đầu nòng đến vận tốc dòng khí trong ống làm mát trên phần mềm ANSYS FLUENT.

Từ khóa: *Làm mát nòng súng; Vận tốc dòng khí; ANSYS FLUENT.*

ABSTRACT

Cooling the barrel during firing helps to extend the lifespan of the gun barrel, thereby increasing the overall lifespan of the weapon. There are various methods to cool gun barrels, such as adding external cooling fins, water cooling, or air cooling. The new generation light machine gun, STrL-P, is designed to combine both cooling methods: using cooling fins and airflow. This design significantly enhances the lifespan of the gun barrel. The forced airflow is generated by arranging tubes with specific cross-sections around the barrel. The airflow velocity at the muzzle, in the final stage of the propellant gas effect, creates a pressure difference between the two ends of the tubes, allowing air to move through the tubes. This paper presents a method to investigate the effect of muzzle gas velocity on the airflow velocity in the cooling tubes using ANSYS FLUENT software.

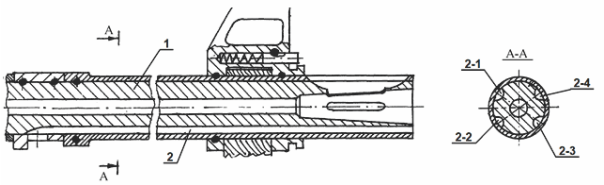
Keywords: *Gun barrel cooling; Airflow velocity; ANSYS FLUENT.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nâng cao tuổi thọ nòng súng nói riêng và súng nói chung luôn là yêu cầu được đặt lên hàng đầu trong công tác khai thác và sử dụng vũ khí. Súng trung liên STrL-P là loại súng mới được thiết kế các bộ phận làm mát đặc biệt giúp tăng tuổi thọ nòng lên đáng kể so với súng thế hệ trước. Với hai thành phần làm mát chính là các rãnh tản nhiệt và các ống làm mát bằng không khí. Để có cơ sở cho các bước tính toán hệ số làm mát nòng cần tính toán được vận tốc dòng khí trong ống làm mát. Trong nghiên cứu này trình bày phương pháp khảo sát sự ảnh hưởng của vận tốc khí thuốc đầu nòng đến vận tốc dòng khí trong ống làm mát trên phần mềm ANSYS FLUENT.

2. PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH

2.1. Cấu tạo bộ phận làm mát bằng các ống dẫn khí



Hình 1. Cấu tạo bộ phận làm mát bằng ống dẫn khí:
1 - Nòng súng; 2 - Các ống dẫn khí

Trong bài báo này, lấy kết quả áp suất đầu nòng của bài toán thuật phóng trong và kết cấu mặt cắt qua tiết diện hai ống làm mát đối xứng là thông số đầu vào để khảo sát. Diện tích ống làm mát lấy theo tài liệu thiết kế ban đầu, mặt cắt đầu nòng coi như phẳng và tạo một góc 90^o với trục nòng. Phương pháp mô phỏng số dựa trên rời rạc hóa phương trình Navier-Stokes với mô hình rối k - ω SST được ứng dụng [3]. Kết quả mô phỏng số là dữ liệu đầu vào để đánh giá khả năng làm mát nòng súng khi bắn.

2.2. Bài toán thuật phóng trong

Trên cơ sở các giả thiết cơ bản, kết hợp với kết cấu thực tế của súng, hệ phương trình bài toán thuật phóng trong của súng như sau [1], [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{dz}{dt} = s_1 \dfrac{p}{I_k} \\ \dfrac{d\psi}{dt} = \chi\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} \\ \dfrac{dv}{dt} = s_2 \dfrac{gpS}{\phi q} \\ \dfrac{dl}{dt} = s_2 . v \\ \dfrac{dw}{dt} = \dfrac{1-\alpha\delta}{\delta}\chi\omega\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} + S\dfrac{dl}{dt} \\ \dfrac{dp}{dt} = \dfrac{1}{w}\left[f\chi\omega\left(1 + 2\lambda z + 3\mu z^2\right)\dfrac{dz}{dt} - p\dfrac{dw}{dt} - \dfrac{\theta\phi q v}{g}\dfrac{dv}{dt}\right] \end{cases} \quad (1)$$

Giải hệ phương trình vi phân 1 có được thông số áp suất khí thuốc tại thời điểm đáy đạn ra khỏi nòng P_{dn}.

2.3. Phương pháp tính toán

Phương trình trung bình Navier-Stokes theo Reynolds (RANS) là phương trình chuyển động trung bình theo thời gian của dòng chảy [3]. Các phương trình RANS chủ yếu được sử dụng để mô tả các dòng chảy rối. Các phương trình này có thể được sử dụng với các phép tính gần đúng dựa trên các đặc tính của sự hỗn loạn dòng chảy để đưa ra các giải pháp trung bình theo thời gian gần đúng cho các phương trình Navier-Stokes. Các phương trình này có thể được viết bằng như sau:

$$\rho\overline{u_i}\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial x_j} = \rho\overline{f_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[-\overline{\rho}\delta_{ij} + \mu\left(\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial\overline{u_j}}{\partial x_i}\right) - \rho\overline{u_i'u_j'}\right] \quad (2)$$

Trong đó: i, j = 1,2,3; u_i là thành phần ☞

vận tốc trung bình; p là áp suất; ρ là mật độ không khí.

Vế trái của phương trình này đại diện cho sự thay đổi động lượng trung bình của một phần tử chất khí do sự không ổn định trong dòng chảy trung bình và sự đối lưu của dòng chảy trung bình. Sự thay đổi này được cân bằng bởi lực trung bình của mô hình, ứng suất đẳng hướng do trường áp suất trung bình, ứng suất nhớt và ứng suất biểu kiến (- $u_i'u_j'$) do trường vận tốc dao động, thường được gọi là ứng suất Reynolds .

Trong mô hình này, biểu thức ν_t và k phương trình tương tự như các giá trị trong mô hình k- ε. Sự khác biệt nằm ở việc sử dụng phương trình cho ω và ε, như được mô tả chi tiết bởi Wilcox [3], đối với các dòng chảy ở lớp biên, mô hình k-ω có ưu thế hơn cả trong xử lý vùng gần thành nhớt và trong tính toán của nó cho các ảnh hưởng của gradient áp suất dòng chảy. Tuy nhiên, việc xử lý các ranh giới dòng tự do không rối là một trở ngại lớn: điều kiện biên khác không (phi vật lý) trên ω là bắt buộc và tính toán dòng chảy nhạy cảm với giá trị được chỉ định.

2.4. Xây dựng mô hình

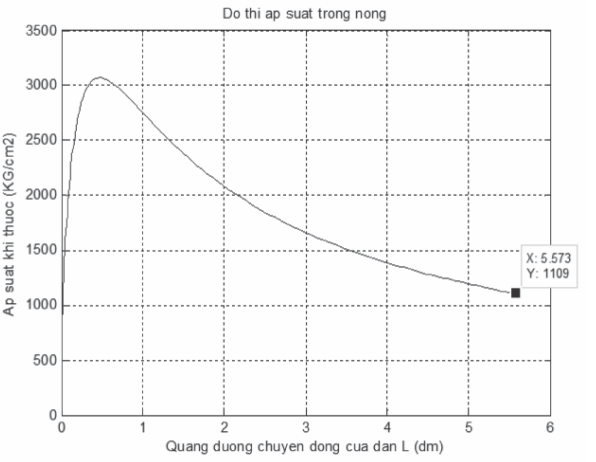
Trong nghiên cứu này xây dựng mô hình mô tả mặt cắt đi qua tâm nòng và vị trí hai ống làm mát đối xứng (hình 2).

Hình 2. Mô hình tính toán

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sử dụng phương pháp tích phân số trên phần mềm MATLAB 2011b giải hệ phương trình 1 và phần mềm ANSYS FLUENT mô phỏng dòng khí thu được các kết quả như sau:

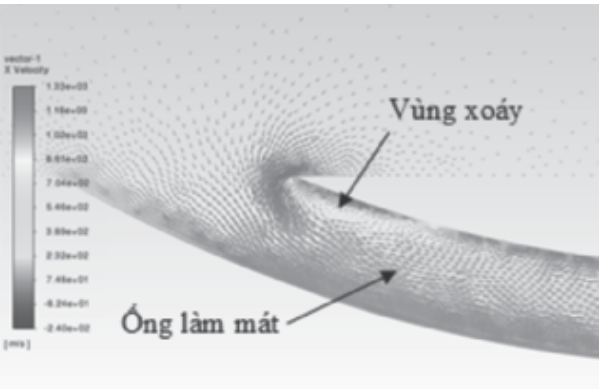
3.1. Kết quả giải bài toán TPT



Hình 3. Đồ thị biến thiên áp suất khí thuốc trong lòng nòng

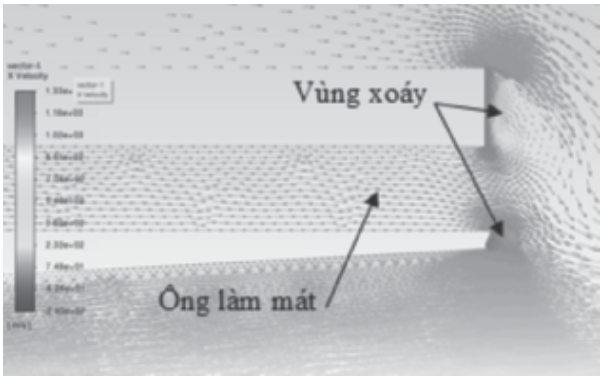
- Áp suất khí thuốc tại miệng nòng: 1109 kG/cm^2. Đây là thông số đầu vào cho bài toán xác định vận tốc dòng khí khi ra khỏi nòng.

3.2. Kết quả bài toán xác định vận tốc khí trong ống làm mát



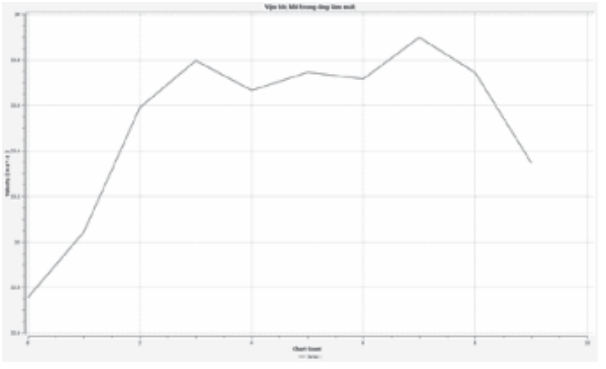
Hình 4. Trường vận tốc dòng khí ở đầu vào ống

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn



Hình 5. Trường vận tốc dòng khí ở đầu ra ống

Do bề mặt đầu nòng vuông góc với phương chuyển động của dòng khí khi ra khỏi nòng (90°) nên xuất hiện các vùng xoáy tại hai bên ống dẫn khí. Nguyên nhân là vì góc ≥ 90° gây ra sự thay đổi đột ngột của trường dòng chảy. Dòng chảy khí dần ổn định bên trong ống và vận tốc tăng lên dần từ đầu vào đến đầu ra. Ở tiết diện đầu ra do có sự thay đổi về dòng (ảnh hưởng bởi các vùng xoáy hai bên miệng ống theo hai hướng khác nhau) làm cho vận tốc giảm đi trước khi ra khỏi ống làm mát (hình 6).



Hình 6. Đồ thị vận tốc của dòng khí trong ống dẫn khí

Nhận xét kết quả tính toán:

Kết quả mô phỏng cho thấy có dòng khí dịch chuyển trong các ống làm mát, tốc độ dòng khí tăng dần ra phía đầu nòng từ 32,75m/s ở đầu vào đến 33,85m/s là giá trị lớn nhất. Giá trị trung bình của vận tốc ≈ 33m/s.

4. KẾT LUẬN

Như vậy có thể khẳng định việc thiết kế ống dẫn khí để làm mát nòng dựa trên sự chênh lệch áp suất tại đầu ống và cuối ống dẫn khí khi bắn là có cơ sở. Vận tốc dòng khí trong ống là thông số đầu vào quan trọng cho tính toán hệ số làm mát nòng khi bắn.❖

Ngày nhận bài: **25/5/2024**
Ngày phản biện: **15/6/2024**

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.
[3]. Lê Công Cát; *Kỹ thuật nhiệt,* Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2001.
[4]. Trần Ích Thịnh, Ngô Như Khoa; *Phương pháp phần tử hữu hạn,* NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
[5]. ANSYS Inc, *ANSYS Workbech User's Guide,* Release 21R1, 11/2021.

OPTIMIZATION OF PLASMA SPRAYING PARAMETERS TO FRICTION PROPERTIES OF 60% AL_2O_3 – 40% TIO_2 COATINGS

TỐI ƯU HOÁ THÔNG SỐ PHUN PHỦ PLASMA ĐẾN ĐẶC TÍNH MA SÁT CỦA LỚP PHỦ 60% Al_2O_3 – 40% TiO_2

Bui Van Khoan
Hung Yen University of Technology and Education

ABSTRACT

In this research, the tribological properties of the Al_2O_3 - TiO_2 ceramic alloy plasma spraying on the surface of C45 carbon steel were investigated and optimized to improve the mechanical wear-resistance of the parts machine. The influence of spray mode parameters on the friction coefficient of the coating was evaluated using the Taguchi method and ANOVA technique. Survey and optimization results show that the coating has the smallest friction coefficient of 0.49 when using spray parameters of 600A spraying current and 2.1kg/hour powder feed flow during the spraying process. The spray distance is 130mm, and the spray current intensity has the most significant influence, with 80.1%, on the friction coefficient of the test samples. The obtained experimental results had an error of 4.08% compared to the optimal values.

Keywords: *Plasma praying layer; 60% Al_2O_3 – 40% TiO_2; Optimization; Coefficient.*

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, các đặc tính ma sát học của lớp phủ plasma hợp kim gốm hệ Al_2O_3 - TiO_2 trên bề mặt thép các-bon C45 được khảo sát và tối ưu hoá nhằm nâng cao khả năng chống mài mòn cơ học của các chi tiết máy trong quá trình sử dụng. Ảnh hưởng của các thông số chế độ phun tới hệ số ma sát của lớp phủ được đánh giá bằng phương pháp Taguchi và kỹ thuật ANOVA. Các kết quả khảo sát và tối ưu cho thấy, lớp phủ có hệ số ma sát nhỏ nhất là 0,49 khi sử dụng bộ thông số phun là cường độ dòng điện phun 600A, lưu lượng cấp bột trong quá trình phun là 2,1kg/giờ, khoảng cách phun là 130mm và cường độ dòng điện phun có ảnh hưởng lớn nhất với 80,1% đến hệ số ma sát của các mẫu thử. Các kết quả thí nghiệm kiểm chứng thu được có sai số là 4,08% so với các giá trị tối ưu.

Từ khoá: *Lớp phủ plasma, Hệ gốm 60% Al_2O_3 – 40% TiO_2, Tối ưu hoá, Hệ số ma sát.*

1. INTRODUCTION

Thermal spraying has many advantages, including diverse spray materials that enable the coating quality to meet the harsh working conditions of machine parts. Mainly, it is cost-effective, leading to its widespread application in various industries such as infrastructure construction, biomedical, electronics, and more [1-4, 9]. The wear resistance capability depends on many factors, such as surface preparation, spray materials, and especially the spray technology parameters [5]. Plasma spraying, with its high thermal power, offers high productivity, various spray materials, and good coating quality [9].

The factors contributing to coating quality include the spray equipment, spray materials, and spray technology parameters, among which the spray technology parameters play a crucial role [5-12]. Ceramic coatings based on Al_2O_3 possess many good technical properties such as high hardness, wear resistance, chemical durability, and resistance to high temperatures [9]. Optimizing the spraying parameters to create a high-quality coating is essential. Therefore, researching the optimization of spraying parameters to reduce the friction coefficient of Al_2O_3 – 40%TiO_2 ceramic coatings is necessary. Experimental design according to the L9 array of TAGUCHI combined with ANOVA variance analysis is used to find the optimal parameter set for the friction coefficient of the coating [4, 7].

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1. Substrate and Coating Materials

Substrate samples with 50 x 50 x 6 mm dimensions were roughened to a surface roughness of 8 to 10 μm. The roughening process was carried out using a TM-R-6F machine (Italy) at the Institute of Mechanical Research Laboratory, and the roughness was measured using a Mitutoyo 178-954-4E roughness tester (Japan). The sample spray material used was C45 steel.

Table 1. Chemical Composition of C45 Steel [7]

Grade			**C45**
Content (%)	C		0.42-0.50
	S		0.17 – 0.37
	Mn		0.50 – 0.80
	P	≤	0.04
	S		0.04
	Cr		0.25
	Ni		0.25

Metallization, UK supplied the Al_2O_3 – TiO_2 spray powder used for the plasma spraying method. The powder particles selected for experimental spraying ranged from 5 to 45±5 μm. The powder's composition includes 60% Al_2O_3 and 40% TiO_2, creating a coating that provides excellent wear resistance.

2.2. Experimental Spraying process

The spraying was carried out using the PRAXAIR Model 3710 plasma spraying system equipped with an SG100 spray gun to fabricate the ceramic coating. The coating thickness was maintained at 400 μm with a 10 to 20 μm deviation. The spray parameters were arranged according to Taguchi's L9 orthogonal array (Table 2). The remaining parameters are shown in Table 3. ☞

Table 2. Research Parameters and Levels used in this study

Spray parameters	Symbol	Level		
		1	2	3
Powder feed rate (kg/h)	M	1.7	1.9	2.1
Spray distance (mm)	L	90	110	130
Current (A)	I	400	500	600

Table 3. Other spray parameters

Spray parameters		Giá trị
Spray gun movement speed (m/min)		20
Vontage (V)		60
Primary flow	(l/min)	120
Secondary air flow	(l/min)	15
Powder carrier gas flow	(l/min)	10

2.3. Testing Method

The testing phase was rigorously conducted, focusing on the coating's dry wear and sliding wear resistance from 60% Al_2O_3 – 40% TiO_2 spray powder using various abrasion methods [8]. These measurements were carried out at the esteemed Metallography and Heat Treatment Laboratory of Hanoi University of Science and Technology, known for its stringent quality standards. The friction coefficient was measured under dry conditions (without lubricant), with an applied load of 10 N, at room temperature.

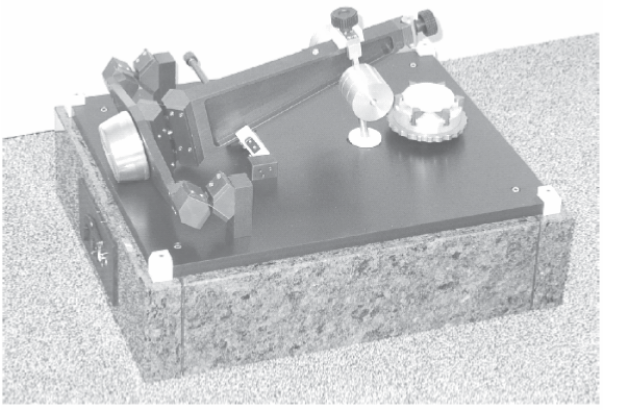


Figure 1. Friction Coefficient Measurement Device (Static Friction)

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Experimental Results

The spraying process parameters were designed according to Taguchi's L9 orthogonal array [4, 7]. After spraying, the coating samples were ground flat to achieve a uniform thickness of 0.4 mm and then cut into smaller pieces using the wire-cutting method. The size and number of the samples included ten pieces, with nine samples corresponding to the nine experiments and the 10th sample used for verification testing (Figure 2).

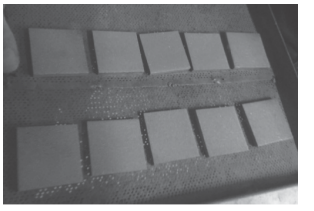


Figure 2. Image of the Samples After Spraying

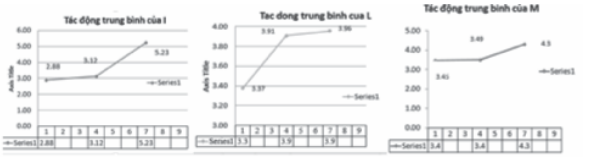


Figure 3. Impact Level Diagram of Parameters I, L, M

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

Table 4. Experimental Parameters According to L9 Array and Friction Coefficient measurement Results

No.	Spray parameters			Friction coefficient
	I	M	L	
1	400	1.7	90	0,757
2	400	1.9	110	0,709
3	400	2.1	130	0,688
4	500	1.7	110	0.786
5	500	1.9	130	0,628
6	500	2.1	90	0,689
7	600	1.7	130	0,524
8	600	1.9	90	0,582
9	600	2.1	110	0,538

The results from Table 5 indicate that the parameter level combination I3L3M1, corresponding to I = 600 A, L = 130 mm, and M = 1.7 kg/h, produces the coating with the lowest friction coefficient of 0.524. The variation in spray parameters significantly affects the measured values, demonstrating that the current intensity, powder feed rate, and spraying distance have a substantial impact on the coating's friction coefficient. This confirms that selecting these parameters for investigation is appropriate.

3.2. S/N Ratio Analysis

Reducing the friction coefficient of the coating helps improve its durability during operation, particularly for coatings subjected to wear [4]. Therefore, the S/N ratio, according to Taguchi's method, where smaller values are better, was used to calculate based on each experimental result using Minitab15 software and presented in Table 5. The optimal parameters are the levels of spray parameters with the highest average S/N ratio. Figure 4 illustrates the impact variation of factors influencing the friction coefficient of the coating, indicating that the predicted optimal spray parameter combination is I3L3M3 (I = 600 A, L = 130 mm, M = 2.1 kg/h). The predicted optimal results show a significant improvement in the friction coefficient of the coating.

To determine the influence of parameters (I, M, L) on coating adhesion, variance analysis based on experimental results and S/N values will be conducted. The calculation process will rely on Minitab software; the results are shown in Table 5.

Table 5. ANOVA Analysis Results Based on S/N Ratio

Parameters	Degrees of freedom	Sum of squares of factors	Mean squared	Influence level
I	2	0,053	0,026299	80,1%
L	2	0.005	0,0025	7,6%
M	2	0,008	0,004034	12,3%
Sum	8	0,066	--	100%

The influence percentage in Table 5 shows that spray current (I) has the largest influence on coating porosity, with 80.1%, powder feed rate (M) is 12.3%, and spray distance (L) is 7.6 %. The chart in Figure 5 illustrates this.

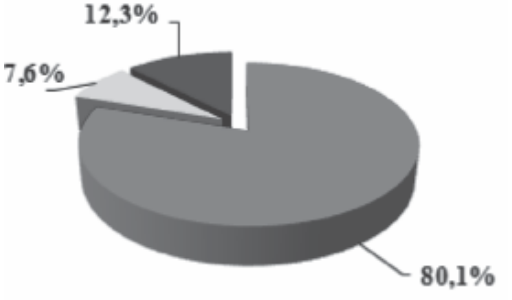


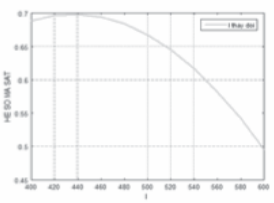
Figure 4. Percentage influence of parameters I, M, L on coating friction coefficient.

3.3. Evaluate the relationship between coating friction coefficient and spray parameters

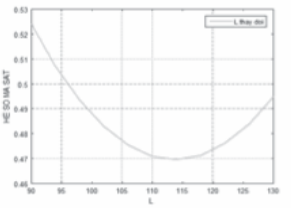
To analyze the influence trend of parameters I, M, and L on the coating friction coefficient (σbd), the regression function represents the mathematical relationship between σbd and spray parameters I, M, and L below. Linear form is constructed. Minitab software with the Gau-Newton algorithm obtains the mathematical function (1):

$$H = -7{,}6082.10^{-6}.I^2 + 9{,}6476.10^{-5}.L^2 - 0{,}7623.M^2 - 0{,}0012.I.M + 0{,}0051.L.M + 0{,}0092.I - 0{,}0327.L + 2{,}7972.M - 2{,}0411 \quad (1)$$

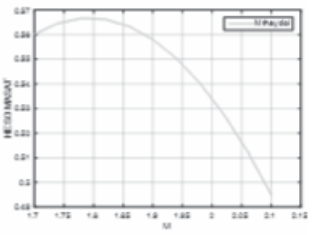
With $R^2 = 0.9864$, the mathematical function obtained is highly reliable as all R^2 values approach 1. The optimal spray parameters are determined to be I3L3M3. Combining this with the regression equation (1), the influence of each spray parameter on the friction coefficient of the coating can be determined through the graphs in Figures 5 and 6.



a, Effect of I

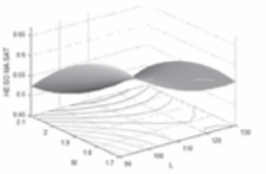


b. Effect of L

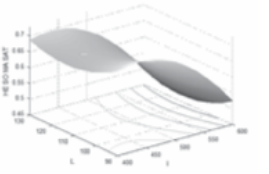


c. Effect of M

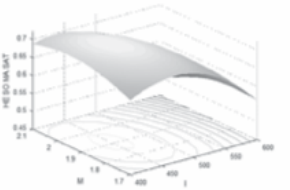
Figure 5. Graph of the dependence of friction coefficient on spray parameters at the optimal level in 2D form.



a. Influence of M and L;



b. Influence of L and I



c. Influence of M and I

Figure 6. Graph of the dependence of friction coefficient on spray parameters at the optimal level in 3D.

Figure 6a shows that when L and M vary, the friction coefficient reaches its minimum value at the point where L = 130 mm and M = 2.1 kg/h. Similarly, Figures 6b and 6c demonstrate the correlation between the friction coefficient and the spraying distance and current intensity, respectively.

3.4. Verification Experiment

A sample was sprayed with the optimal spray parameters I3L3M3, then cut and ground before measuring the coating's friction coefficient. The friction coefficient measured on the verification sample was 0.51, while the optimal criterion yielded a result of 0.49. The deviation was 4.08% compared to the optimal value. Although slightly higher than the optimal value, the obtained result is considerably lower than in Table 4.7.

4. CONCLUSIONS

In this study, the Taguchi method combined with ANOVA was used to optimize

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

spray parameters, including current intensity (I), spraying distance (L), and powder feed rate (M), for the friction coefficient of $Al_2O_3 – TiO_2$ coating on C45 steel substrate using plasma spraying. The optimization process identified the optimal spray parameters (I = 600 A, L = 130 mm, M = 2.1 kg/h) for the coating with the lowest friction coefficient of 0.49. ANOVA analysis showed that the order of influence of parameters on the friction coefficient was current intensity (80.1%) > powder feed rate (12.3%) > spraying distance (7.6%). The verification experiment resulted in a friction coefficient of 0.51, slightly higher than the optimal value but lower than the experimental sample results (Table 4), with a deviation of 4.08% from the predicted result. This confirms the optimal parameters for a high-quality coating with a low friction coefficient. The combination of Taguchi-ANOVA methods proves to be an effective tool for optimizing problems with multiple influencing factors. ❖

References:

[1]. K. H. Zum Gahr, W. Bundschuh và B. Zimmerlin (1993): "*Effect of grain size on friction and sliding wear of oxide ceramics*", Elsevier Sequoia, Jour. Wear, 162-164, pp. 269-279.

[2]. You Wang, Stephen Jiang, Meidong Wang, Shihe Wang, T. Danny Xiao, Peter R. Strutt (1999): "*Abrasive wear characteristics of sprayed nanostructured alumina/titania coatings*", J. Wear (Elsevier):www.elsevier.com/locate/wear.

[3]. Y. Wang, S. Jiang, M. Wang, S. Wang, T.D. Xiao, P.R. Strutt (2000), "*Abrasive wear characteristics of plasma sprayed nanostructured alumina/titania coatings*", Wear, Vol. 237, pp. 176-185.

[4]. Roy, Ranjit K, "*Design of experiments using the Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement*". John Wiley & Sons, 2001.

[5]. Sofiane Guessosma, Mokhtar Bounazef (2004): "*Experimental Design to Study the Effect of APS Process Parameters on Friction Behaviour of Alumina-Titania Coatings*", J. Advanced Engineering Materials (6/2004), No. 11, pp.907-910.

[6]. Fei Zhou, Yuan Wang, Honyan Ding, Meiling Wang, Min Yu, Zhendong Dai (2008): "*Friction characteristic of micro-ars oxidative Al_2O_3 coatings sliding against Si_3N_4 balls in various environments*", Elsevier, Surface & Coatings Technology, ScienceDirect, J. Surface & Coatings Technology, No. 202 (2008) 3808-3814.

[7]. Golkar, Golnoush, and Seyed Mojtaba Zebarjad. "*Optimizing the ignition behavior of microwave-combustion synthesized Al_2O_3/TiC composite using Taguchi robust design method*". Journal of Alloys and Compounds 487.1-2 (2009): 751-757.

[8]. Zhao, Xiaoqin, et al. "*Friction and wear behavior of plasma-sprayed Al_2O_3-13 wt.% T_iO_2 coatings under the lubrication of liquid paraffin*". Journal of thermal spray technology 23.4 (2014): 666-675.

[9]. Boulos, Maher I., Pierre L. Fauchais, and Emil Pfender. "*Handbook of thermal plasmas*". New York, NY, USA: Springer International Publishing, 2019.

[10]. Tran Van Dung (2012): "*Study on the Influence of Spray Regime and Heat Treatment on the Adhesion Strength of Plasma Sprayed Coatings*", Doctoral Dissertation in Materials Forming Technology, Institute of Mechanics, Hanoi.

[11]. Ngo Xuan Cuong (2022), "*Research on creating composite coatings on the surface of components to resist wear and corrosion in harsh chemical environments containing fluorine*", Ministry of Industry and Trade project.

☞

EFFICIENCY ESTIMATION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTORS APPLYING DUAL EXTENDED KALMAN FILTER APPROACH WITH LEAST SQUARES INITIALIZATION

ƯỚC LƯỢNG HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN CẢM ỨNG BA PHA ÁP DỤNG BỘ LỌC KALMAN MỞ RỘNG KÉP VÀ KHỞI TẠO THAM SỐ BAN ĐẦU BẰNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH PHƯƠNG TỐI THIỂU

Quoc Dien Le[1, 2, 3], Nguyen Huu Loc Khuu[1, 2, 3], Hoa Binh Tran[1, 2, 3], Tran Thanh Cong Vu[2], Tuong Quan Vo[1, 2, 3]

[1]Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

[2]Bach Khoa Research Center for Manufacturing Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

[3]Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

ABSTRACT

In industrial environments, three-phase induction motors are becoming more widely used and are irreplaceable. Therefore, monitoring motor conditions, particularly efficiency, is essential to support energy optimization processes and predictive maintenance. This paper proposes a complete framework to estimate the efficiency of a 3-phase induction motor based on input voltages and output currents. A dual extended Kalman filter is used in the proposed method to estimate model states and parameters simultaneously. Additionally, the initial conditions are established by applying the least squares method to the measurement set of response currents when injecting DC voltage into the stator winding. Simulation results show that the proposed method can achieve a steady state error of less than 2% for the problem of estimating motor efficiency with a settling time of less than 0.5s.

Keywords: *EKF; Induction motor; Efficiency; Non-instrusive estimation; Dual estimation.*

TÓM TẮT

Trong môi trường công nghiệp, động cơ điện cảm ứng ba pha ngày càng được sử dụng rộng rãi và trở thành thiết bị không thể thay thế. Do đó, việc giám sát tình trạng động cơ, đặc biệt là hiệu suất, là điều cần thiết để hỗ trợ các quá trình tối ưu hóa năng lượng và bảo trì dự đoán. Bài báo này đề xuất một khung làm việc hoàn chỉnh để ước tính hiệu suất của động cơ cảm ứng 3 pha dựa trên điện áp đầu vào và cường độ dòng điện đầu ra. Phương pháp được đề xuất sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng kép để ước tính đồng thời các trạng thái và tham số của mô hình. Ngoài ra, các điều kiện ban đầu được khởi tạo bằng cách áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu cho tập dữ liệu đo của đáp ứng dòng điện khi đưa điện áp một chiều vào cuộn dây stato. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp đề xuất có thể đạt được sai số xác lập nhỏ hơn 2% với thời gian xác lập nhỏ hơn 0,5s đối với bài toán ước lượng hiệu suất động cơ.

Từ khóa: *Bộ lọc Kalman mở rộng; Động cơ điện cảm ứng; Hiệu suất; Ước lượng không xâm lấn; Ước lượng kép.*

1. INTRODUCTION

Three-phase induction motors are widely used in various industrial applications that require continuous and reliable operation, such as pumps and compressors, conveyors, machine tools, robots, and generators, etc. They occupy a large number in the factory and ensure that automation lines operate synchronously and continuously. Therefore, monitoring the efficiency of electric motors can support post-processing processes to bring benefits in optimizing energy operation and equipment maintenance (especially predictive maintenance) [1, 2]. Measuring the efficiency of electric motors during operation is still a challenge because it requires expensive measuring equipment and intrusive measurements. In addition, electric motors' performance can fluctuate over time due to aging, wear, operating conditions, and faults. Therefore, a non-intrusive and reliable approach is necessary to estimate the performance of 3-phase induction motors and track their health status.

Different methods of calculating efficiency have been mentioned in some standards for electric motors [3-5]. These methods are based on test procedures and specify techniques for obtaining specific losses depending on whether performance is determined directly or indirectly. Direct measurement involves measuring the input power based on the voltage and current supplied and the output power based on the rotational speed and torque. Indirect measurement involves measuring the input power and calculating the output power based on the losses within the motor. Many indirect measurement methods are proposed to provide alternatives in situations where direct measurement is not feasible (such as the power of the test motor is too large, machine-bearing construction is not permitted, and tests under load are not made) but still ensure precision and repeatability. However, most methods require intrusive measurement forms (voltage, resistance, mechanical power) and measurement at specific load points (no load, rated load) to determine specific losses. Therefore, it is challenging for these methods to be applied in industrial systems that require continuous operation. Numerous research efforts have been carried out to reduce the intrusive testing procedures from the above standards. For instance, El-Ibiary [6] describes a low-cost and accurate method for determining motor efficiency by applying fewer measurements on two load points, motor efficiency can be calculated from the governing equation of motor behavior as a function of input voltage, input current, motor parameters, and slip. Al-Badri et al. [7] present a novel technique for estimating refurbished induction motors' full-load and partial-load improvements from no-load tests based on the modification of the IEEE Std 112: 2004 Method 3 on data obtained from a DC test. Testing at one or two load points is necessary for the methods mentioned above. The in-service motor's temporary isolation from the production line and configuration under proper load conditions to estimate efficiency is still considered highly intrusive.

In a survey on efficiency estimation methods for in-service induction motors, Lu et al. [8] describe more than 20 of the most commonly used methods, particularly considering the motor condition monitoring requirements. Furthermore, four efficiency estimation methods have been suggested for non-intrusive in-service motor efficiency estimation and condition monitoring applications, namely ORMEL96, REMW, OHME, and especially the air-gap torque method. The air-gap torque (AGT)-based methods have been promised as the least intrusive level due to rotor speed, ☞

and stator resistance is extracted from motor input currents instead of being measured [9]. However, the stator resistance, which is required to estimate the output torque, is estimated by signal injection-based methods. This method required some extra hardware and the installation of the injection circuit in the motor control center for the mains-fed machine. Also, the injected DC signal unbalances the stator voltages and current and causes additional low power dissipation and torque distortion [9, 10]. To overcome this problem, Salomon et al. [10] propose an air-gap torque-based method using a new concept of stator resistance that includes the mechanical losses effect. This new stator resistance is estimated through a particle swarm optimization approach based on the stator flux equations and minimization of torque error at the rated operation point. Then, the obtained stator resistance is used in the AGT equations to estimate the shaft torque and efficiency. Thus, the proposed efficiency estimation method relies only on line currents, line voltages, and nameplate data, which are appropriate for in-service applications. Dlamini et al. [11] proposed a non-intrusive method for estimating motor speed using vibration signature analysis. This approach uses the compensated slip method, where the motor speed is accurately estimated using signature analysis of vibration data collected from the motor housing. The estimated motor speed is then used to calculate the performance. However, the vibration signal is susceptible because it is easily affected by other machines operating simultaneously. Furthermore, installing a vibration sensor on the motor housing is inappropriate for some applications with an embedded motor in the machine. Li et al. [12] proposed a new concept called load ratio for estimating motor efficiency under variable speed. The load ratio is the percent of actual and maximum output power used to correct the results of the estimated motor efficiency under various load conditions. Experimental results from the published database demonstrate that the proposed method can achieve a relative error of ±10% when the speed ratio is above 0.5. Promising other methods could consider the load and speed ratio in estimating motor efficiency with VFD-driven.

The primary way to estimate efficiency in 3-phase induction motors is through the equivalent circuit-based approach. The term equivalent circuit refers to a simplified representation of voltages and currents in a 3-phase motor with respect to its resistances, reactances, and slip. It can accurately determine the stray load losses used in calculating motor efficiency according to IEEE-112 Std in case all circuit parameters are known. In order to reduce the intrusive level, numerous optimization techniques were used to estimate the parameters of the equivalent circuit with the objective function constructed based on the measured voltage and current data from the terminal box [13-24]. These optimization techniques mainly belong to the category of the evolutionary algorithm, such as Genetic Algorithm (GA) or GA-based [14-19], Bacterial Foraging Algorithm [20-22], Strength Pareto Evolutionary Algorithm-based [16], and Differential Evolution [23]. However, the estimated parameters are not directly in the objective function, thus leading to the case that the objective function was optimized, but the estimated parameter is a different set (local optimum solution). Furthermore, evolutionary algorithms are very computationally expensive for determining the exact parameters of an equivalent circuit. Thus, these algorithms need to be more appropriate for on-site implementation of compact devices.

In a general analysis, the primary research problem related to efficiency estimation for 3-phase induction motors is reducing the

intrusive level when installing sensor systems on the motor [6-7, 9-23]. Methods based on air-gap torque and evolutionary algorithms have further advantages because output power can be estimated based only on the signal measured from current and voltage in the terminal box. Moreover, some of the above studies concentrate on solving other problems related to efficiency estimation for refurbished motors [7, 13], under variable speed operation or VFD driven [12, 15], under unbalanced or distorted voltage [13, 14, 17, 19, 22], and under over/under-voltage [17]. However, no studies focus on estimating motor efficiency with a specific concern of building a health index for industrial predictive maintenance applications where multiple working conditions can affect motor performance. The computational cost is also a big concern for hardware limitations and on-site estimation due to the large number of motors in industrial applications.

In this paper, we propose a complete framework to estimate the efficiency of 3-phase induction motors, specifically concerning the construction of a health index for industrial predictive maintenance applications. Current and voltage measurements at the electrical terminal box are required by the proposed framework. The proposed method is based on the Dual Extended Kalman Filter for estimation of states and parameters, with the initial condition given by the least squares method.

The simulation results show that the Kalman Filter's characteristic and proposed initialization method can estimate the motor efficiency with acceptable accuracy and settling time.

The remains of this paper is organized as follows. Section 2 introduces the preliminary analysis and proposed approach. The simulation results and discussion are described in Section 3. Finally, the conclusion and feature work are provided in Section 4.

2. PROPOSED FRAMEWORK

This paper proposes a complete framework to estimate the efficiency of 3-phase induction motors using only the measurement signals in the electrical box. As shown in Figure 1, our framework is divided into two main stages: offline parameters initialization and online parameters and state estimation. In the offline stage, we apply a DC voltage to the stator windings to estimate the model parameters. The initial value is approximated using the least squares method to the measurement sets of phase input voltages and output currents. As a result, the proposed parameter estimation framework can achieve greater accuracy and a faster convergence time. The DC voltage is selected to be small enough not to affect components wired directly to the motor windings.

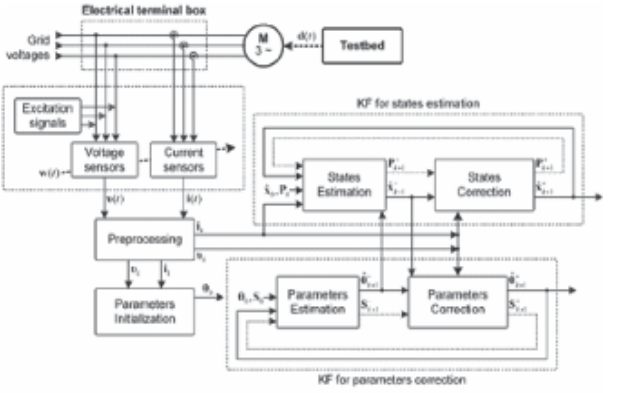


Figure 1. The overall framework of states and parameters estimation process.

In the online stage, we use a combination of two Extended Kalman Filter sets executing in parallel to estimate the state of the dynamic model and its parameters from the measurement signals. This approach can be effectively applied to systems where state and model parameters are ☞

unavailable or difficult to obtain [24, 25]. Finally, motor efficiency can be calculated by combining the measured instantaneous input power and estimated output power.

2.1. The mathematical model of an induction motor

In this study, the dynamics of a 3-phase induction motor are referenced from [26], which can be described by the following non-linear equations:

$$\begin{aligned}
\frac{di_{sd}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right) i_{sd} + \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}\psi_{rd} + \frac{L_m}{L_r L_\sigma} p_p \omega_m \psi_{rq} + \frac{1}{L_\sigma} v_{sd} \\
\frac{di_{sq}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right) i_{sd} + \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}\psi_{rq} - \frac{L_m}{L_r L_\sigma} p_p \omega_m \psi_{rd} + \frac{1}{L_\sigma} v_{sq} \\
\frac{d\psi_{rd}}{dt} &= \frac{R_r}{L_r} L_m i_{sd} - \frac{R_r}{L_r}\psi_{rd} - p_p \omega_m \psi_{rq} \\
\frac{d\psi_{rq}}{dt} &= \frac{R_r}{L_r} L_m i_{sq} - \frac{R_r}{L_r}\psi_{rq} + p_p \omega_m \psi_{rd} \\
\frac{d\omega_m}{dt} &= -\frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rq} i_{sd} + \frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rd} i_{sq} - \frac{1}{J_L}\tau_L \\
\frac{d\tau_L}{dt} &= 0
\end{aligned} \tag{1}$$

The state variables include i_{sd} and i_{sq}, which represent stator stationary axis components of stator currents. v_{sd} and v_{sq} are stator stationary axis components of stator voltages. ψ_{sd} and ψ_{sd} are stator stationary axis components of stator voltages. ω_m is the motor's angular velocity, and τ_L is the total mechanical load applied to the motor's shaft. Regarding the induction motor parameters, L_σ is the stator transient inductance, and σ is the leakage or coupling factor between the stator and rotor. L_s and R_s are the stator inductance and resistance. L_r and R_r are the rotor inductance and resistance. p_p is the number of pole pairs, and J_L is the total inertia of the induction motor and load.

The implementation of EKF requires the discretization of (1) with the sampling time t_s, which the following general form can describe from (2-3):

$$\begin{aligned}
\mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{d}_k^{\mathbf{x}} \\
\mathbf{y}_k &= \mathbf{H}_k^{\mathbf{x}} \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k^{\mathbf{x}}
\end{aligned} \tag{2}$$

where: $\mathbf{d}_k^{\mathbf{x}}$ and $\mathbf{w}_k^{\mathbf{x}}$ denote the state noise and the measurement noise for state vector, respectively. They are independent white noise with variances $\mathbf{Q}_k^{\mathbf{x}}$ and $\mathbf{R}_k^{\mathbf{x}}$, respectively.

For the parameters estimation problem, we denote $\theta = [R_s, R_r, L_s, L_r, L_m]^T$, which contains the model parameters to be estimated. The remaining parameters from the model (3) that are not estimated include the number of pole pairs p_p, assumed to be known, and the total inertia J_L, assigned to a small fixed value. The parameter vector θ is considered as constant and only affected by the process noise. Therefore, the dynamic equation for the parameters estimation problem has the form of:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\theta}_{k+1} &= \boldsymbol{\theta}_k + \mathbf{d}_k^{\boldsymbol{\theta}} \\
\mathbf{y}_k &= \mathbf{H}_k^{\boldsymbol{\theta}} \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k^{\boldsymbol{\theta}}
\end{aligned} \tag{4}$$

Where: $\mathbf{d}_k^{\boldsymbol{\theta}}$ and $\mathbf{w}_k^{\boldsymbol{\theta}}$ denote the process noise and the measurement noise for vector θ, respectively. They are also considered independent white noise with variances $\mathbf{Q}_k^{\boldsymbol{\theta}}$ and $\mathbf{R}_k^{\boldsymbol{\theta}}$, respectively.

2.2. Online joint estimation of the state and parameters of an induction motor

Figure 1 illustrates the simultaneous running of two Extended Kalman Filters to jointly estimate motor state and parameters in the online stage. At each step, the two EKF units will exchange information back and forth to perform a time update of parameters and status.

Finally, both filters will perform measurement-update based on the error between the estimated state and the measured signal from the sensor. The calculation process of dual EKF can be formulated using the following sequential equations.

The time update for the motor parameters and the estimated parameters error variance are:

$$\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-} &= \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k}^{+} \\ \mathbf{P}_{\theta|k+1}^{-} &= \mathbf{P}_{\theta|k}^{+} + \mathbf{Q}_{k}^{\theta}\end{aligned} \tag{5}$$

Where $\hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-}$ is the time-update of the motor parameters θ at time k. $\mathbf{P}_{\theta|k}^{+}$ is the posterior estimate of the estimated parameters error variance at time k.

Similarly, the time-update for the state vector and the estimated state vector error variance are:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{-} &= \mathbf{A}\left(\hat{\mathbf{x}}_{k}^{+}, \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-}\right)\hat{\mathbf{x}}_{k}^{+} + \mathbf{B}\left(\hat{\boldsymbol{\theta}}_{k}\right)\mathbf{u}_{k} \\ \mathbf{P}_{x|k+1}^{-} &= \mathbf{F}\left(\hat{\mathbf{x}}_{k}^{+}, \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-}\right)\mathbf{P}_{\theta|k}^{+}\left(\mathbf{F}\left(\hat{\mathbf{x}}_{k}^{+}, \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-}\right)\right)^{T} + \mathbf{Q}_{k}^{x}\end{aligned} \tag{6}$$

Where $\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{-}$ is the time-update of the state vector x at time k. $\mathbf{P}_{x|k}^{+}$ is the posterior estimate of the estimated state error variance at time k. F_k is the linearization of the nonlinear function $\mathbf{f}(\mathbf{x}, \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-}, \mathbf{u}_k)$, and is constructed by equations (7).

Next, the state vector is updated by measurement information:

$$\begin{aligned}\mathbf{K}_{k}^{x} &= \mathbf{P}_{x|k+1}^{-}\left(\mathbf{H}_{k}^{x}\right)^{T}\left(\mathbf{H}_{k}^{x}\mathbf{P}_{x|k+1}^{-}\left(\mathbf{H}_{k}^{x}\right)^{T} + \mathbf{R}_{k}^{x}\right) \\ \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{+} &= \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{-} + \mathbf{K}_{k}^{x}\left(\mathbf{y}_{k} - \mathbf{H}_{k}^{x}\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{-}\right) \\ \mathbf{P}_{x|k+1}^{+} &= \left(\mathbf{I} - \mathbf{K}_{k}^{x}\mathbf{H}_{k}^{x}\right)\mathbf{P}_{x|k+1}^{-}\end{aligned} \tag{8}$$

Finally, the measurement-update equations for the motor parameters are:

$$\begin{aligned}\mathbf{K}_{k}^{\theta} &= \mathbf{P}_{\theta|k+1}^{-}\left(\mathbf{C}_{k}^{\theta}\right)^{T}\left(\mathbf{C}_{k}^{\theta}\mathbf{P}_{\theta|k+1}^{-}\left(\mathbf{C}_{k}^{\theta}\right)^{T} + \mathbf{R}_{k}^{\theta}\right) \\ \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{+} &= \hat{\boldsymbol{\theta}}_{k+1}^{-} + \mathbf{K}_{k}^{\theta}(\mathbf{y}_{k} - \mathbf{H}_{k}^{\theta}\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^{-}) \\ \mathbf{P}_{\theta|k+1}^{+} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{k}^{\theta}\mathbf{C}_{k}^{\theta})\mathbf{P}_{\theta|k+1}^{-}\end{aligned} \tag{9}$$

Where: $\mathbf{C}_{k}^{\theta}$ can be formulated by the equations (10).

2.3. Offline parameters initialization

To begin the recursive computation, the Kalman Filter requires known initial states. If the initial states significantly deviate from the actual value, the initialization error will propagate through recursion as an undiscovered bias [27]. This error causes additional computations during the transient observation, leading to a longer estimation time or cannot converge to the actual value, especially in cases requiring numerous collected samples. In our case, the initial states must be given, including motor output x_0 and model parameter θ_0. Where x_0 can be known since the initial state of the motor output is usually zero for all different motors and environmental conditions. The initial value of the model parameter θ_0 is more challenging to estimate because θ_0 can vary widely. A systematic approach is therefore needed to give an initial guess for induction motor parameters θ_0. After that, the θ_0 will be adjusted by Dual EKF to improve estimation accuracy.

The stator windings in this paper are ejected with a low DC voltage signal. Then, the least squares method is used to estimate the initial values of the model parameter from the measured currents.

When supply DC voltage (ω_m = 0) to ☞

the stator winding, the dynamic equation from (1) become:

$$\begin{aligned}
\frac{di_{sd}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right) i_{sd} + \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}\psi_{rd} + \frac{1}{L_\sigma} v_{sd} \\
\frac{di_{sq}}{dt} &= -\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right) i_{sd} + \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}\psi_{rq} + \frac{1}{L_\sigma} v_{sq} \\
\frac{d\psi_{rd}}{dt} &= \frac{R_r}{L_r} L_m i_{sd} - \frac{R_r}{L_r}\psi_{rd} \\
\frac{d\psi_{rq}}{dt} &= \frac{R_r}{L_r} L_m i_{sq} - \frac{R_r}{L_r}\psi_{rq}
\end{aligned} \tag{11}$$

Taking the Laplace transform of equations (11), we can obtain the transfer function for each stator stationary axis component as follows:

$$\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{L_r^3 s + L_r^2 R_r}{L_\sigma L_r^3 s^2 + (L_\sigma L_r^2 R_r + R_s L_r^3 + L_m^2 L_r R_r)s + R_r R_s L_r^2} \tag{12}$$

Which has a state space representation as follows:

$$\begin{bmatrix} i_{sd(k+1)} \\ i_{sq(k+1)} \\ \psi_{rd(k+1)} \\ \psi_{rq(k+1)} \\ \omega_{m(k+1)} \\ \tau_{L(k+1)} \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_{k+1}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1-\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right)t_s & 0 & \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}t_s & \frac{RL_m}{L_r L_\sigma} p_p \omega_m t_s & 0 & 0 \\ 0 & 1-\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right)t_s & -\frac{RL_m}{L_r L_\sigma} p_p \omega_m t_s & \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}t_s & 0 & 0 \\ \frac{R_r L_m}{L_r}t_s & 0 & 1-\frac{R_r}{L_r}t_s & -p_p\omega_m t & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R_r L_m}{L_r}t_s & p_p\omega_m t & 1-\frac{R_r}{L_r}t & 0 & 0 \\ -\frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rq} t_s & \frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rd} t_s & 0 & 0 & 1 & -\frac{1}{J_L}t_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_k} \underbrace{\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \\ \omega_m \\ \tau_L \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_k} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_\sigma}t_s & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_\sigma}t_s \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} \underbrace{\begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix}}_{\mathbf{u}_k} + \mathbf{d}_k^*$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}}_{\mathbf{y}_k} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \\ \omega_m \\ \tau_L \end{bmatrix} + \mathbf{w}_k^*$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{di_s}{dt} \\ \frac{d^2 i_s}{dt^2} \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}^{DC}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ b_0 & b_1 & -a_0 & -a_1 \end{bmatrix}}_{\boldsymbol{\Theta}} \underbrace{\begin{bmatrix} v_s \\ \frac{dv_s}{dt} \\ i_s \\ \frac{di_s}{dt} \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}^e} \tag{13}$$

and the discrete equation with the sampling time t_s has the form of:

$$\mathbf{x}_{k+1}^{DC} = \mathbf{x}_k^{DC} + \boldsymbol{\Theta}\mathbf{x}_k^e t_s \tag{14}$$

Our objective is to find $\hat{\boldsymbol{\Theta}}$ from the measurement set of $\mathbf{X}_k^e = \{\mathbf{x}_k^e\}$ and $\mathbf{X}_{k+1}^{DC} = \{\mathbf{x}_{k+1}^{DC}\}$ to minimize the following cost function:

$$J = \frac{1}{2}\left\| \mathbf{X}_{k+1}^{DC} - \mathbf{X}_k^{DC} - \hat{\boldsymbol{\Theta}}\mathbf{X}_k^e t_s \right\| \tag{15}$$

This is the general least squares problem with the unique solution as follows:

$$\hat{\boldsymbol{\Theta}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ b_0 & b_1 & -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} = \frac{\mathbf{X}_{k+1}^{DC} - \mathbf{X}_k^{DC}}{t_s}\left(\mathbf{X}_k^e\right)^T \left[\mathbf{X}_k^e \left(\mathbf{X}_k^e\right)^T\right]^\dagger \tag{16}$$

Where $\left[\mathbf{X}_k^e \left(\mathbf{X}_k^e\right)^T\right]^\dagger$ is the pseudo-inverse of $\mathbf{X}_k^e \left(\mathbf{X}_k^e\right)^T$.

If we assume that $L_s \approx L_r$, we can obtain the relatively good initial parameters for the induction motor model by following equations:

$$\begin{aligned}
L_\sigma &= \frac{1}{b_1}, \quad L_s = L_r = \frac{a_1}{b_0} - \frac{a_0 b_1}{b_0^2} \\
R_s &= \frac{a_0}{b_0}, \quad R_r = L_r \frac{b_0}{b_1}, \quad L_m = \left|\sqrt{L_r^2 - L_\sigma L_r}\right|
\end{aligned} \tag{17}$$

Finally, the estimated motor efficiency can be calculated as follows:

$$\mu = \frac{\hat{\tau}_L \hat{\omega}_m}{\sqrt{3}(u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c)\cos\vartheta} \tag{18}$$

Where $\cos\vartheta$ is the power factor of 3-phase power line. $[u_a, u_b, u_c]$ and $[i_a, i_b, i_c]$ are the input voltages and currents of 3 stator windings a, b, and c of the induction motor, respectively.

3. SIMULATION AND RESULTS

Several simulations are performed to evaluate the feasibility of the proposed framework under various load torque

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

conditions. This paper utilizes a three-phase, four pole, 1.5 kW squirrel cage motor for simulation. The detailed specifications of the induction motor used for simulation are given in Table 1. The sampling rate used for the Dual EKF in the simulation is $t_s = 100\mu s$.

Table 1. The detailed specifications of the induction motor used for simulation.

Rated value	Value	Parameters	Value
P_{rated}, kW	3.0	R_s, Ω	2.283
f, Hz	50	R_r, Ω	2.133
U_{rated}, V	380	L_s, H	0.233
I_{rated}, A	6.9	L_r, H	0.231
n_{rated}, rpm	1430	L_m, H	0.220
τ_{rated}, Nm	20	J_L, kg.m^2	0.0055
cosϑ	0.93	p_p	2

The initial state x_0 starts with zero, and the initial parameters θ_0 are obtained from the estimation of offline parameters. The covariance matrix Q_k and R_k are chosen in diagonal form with the values obtained from trial-and-error to achieve a fast convergence rate with low steady-state error. The values of these covariance matrices are given as follows:

$$\begin{aligned}\mathbf{Q}_k^{\mathbf{x}} &= 10^{-6}\, diag(0.74, 0.74, 0.0074, 0.0074, 60, 1.15)\\ \mathbf{Q}_k^{\boldsymbol{\theta}} &= 10^{-14}\, diag(0.96, 0.96, 0.01, 0.01, 1.0)\\ \mathbf{R}_k^{\mathbf{x}} &= \mathbf{R}_k^{\boldsymbol{\theta}} = 10^{-4}\, diag(0.18, 0.18)\end{aligned} \quad (19)$$

Figure 2 shows the state estimation results of the proposed framework under the different load torque conditions. The estimated states have a fast convergence rate (setting time $t_{ss} <$ 0.2s) and low steady-state error $(e_{ss}^{x} < 2\%)$ for all states. However, significant errors still remain at the transient state, especially for load torque and rotor speed. These errors are mainly caused by the un-estimated total inertia, directly affecting the motor speed setting time.

$$\mathbf{F}_k \triangleq \left.\frac{\partial \hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{u}}_{k+1}, k)}{\partial \mathbf{x}}\right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_k} = \begin{bmatrix} 1-\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right)t_s & 0 & \frac{R_r L_m}{L_r^2 L_\sigma}t_s & \frac{RL_m}{L_r L_\sigma}p_p\omega_m t_s & \frac{RL_m}{L_r L_\sigma}p_p\psi_{rq}t_s & 0 \\ 0 & 1-\left(\frac{R_s}{L_\sigma}+\frac{R_r L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}\right)t_s & -\frac{RL_m}{L_r L_\sigma}p_p\omega_m t_s & \frac{RL_m}{L_r^2 L_\sigma}t_s & -\frac{RL_m}{L_r L_\sigma}p_p\psi_{rd}t_s & 0 \\ \frac{R_r L_m}{L_r}t_s & 0 & 1-\frac{R_r}{L_r}t_s & -p_p\omega_m t & -p_p\psi_{rq}t & 0 \\ 0 & \frac{R_r L_m}{L_r}t_s & p_p\omega_m t & 1-\frac{R_r}{L_r}t & p_p\psi_{rd}t & 0 \\ -\frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rq}t_s & \frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}\psi_{rd}t_s & \frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}i_{sq}t_s & -\frac{3}{2}\frac{p_p L_m}{J_L L_r}i_{sd}t_s & 1 & -\frac{1}{J_L}t_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{C}_k^{\boldsymbol{\theta}} \triangleq \mathbf{H}_k^{\boldsymbol{\theta}} \left.\frac{\partial \hat{\mathbf{x}}_k^-}{\partial \boldsymbol{\theta}}\right|_{\boldsymbol{\theta}=\hat{\boldsymbol{\theta}}_{k-1}^-} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{i}_k}{\partial R_s} & \frac{\partial \mathbf{i}_k}{\partial R_r} & \frac{\partial \mathbf{i}_k}{\partial L_s} & \frac{\partial \mathbf{i}_k}{\partial L_r} & \frac{\partial \mathbf{i}_k}{\partial L_m} \end{bmatrix} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{i}_{sjk}}{\partial R_s} &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_\sigma}i_{sd} \\ -\frac{1}{L_\sigma}i_{sq} \end{bmatrix} \\
\frac{\partial \mathbf{i}_{sjk}}{\partial R_r} &= \begin{bmatrix} -\frac{L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}i_{sd} + \frac{L_m}{L_r L_\sigma}\psi_{rd} \\ -\frac{L_m^2}{L_r^2 L_\sigma}i_{sq} + \frac{L_m}{L_r L_\sigma}\psi_{rq} \end{bmatrix} \\
\frac{\partial \mathbf{i}_{sjk}}{\partial L_s} &= \begin{bmatrix} \left(\frac{R_s}{L_\sigma^2}+\frac{L_m^2 R_r}{L_r^2 L_\sigma^2}\right)i_{sd} - \frac{L_m R_r}{L_r^2 L_\sigma^2}\psi_{rd} - \frac{L_m}{L_r L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rq} - \frac{1}{L_\sigma^2}v_{sd} \\ \left(\frac{R_s}{L_\sigma^2}+\frac{L_m^2 R_r}{L_r^2 L_\sigma^2}\right)i_{sq} - \frac{L_m R_r}{L_r^2 L_\sigma^2}\psi_{rq} + \frac{L_m}{L_r L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rd} - \frac{1}{L_\sigma^2}v_{sq} \end{bmatrix} \\
\frac{\partial \mathbf{i}_{sjk}}{\partial L_r} &= \begin{bmatrix} \left(\frac{L_m^2 R_s}{L_r^2 L_\sigma^2}+\frac{L_m^2 R_r (L_r+L_\sigma)}{L_r^3 L_\sigma^2}\right)i_{sd} - \frac{L_m R_r (2L_s L_r - L_m^2)}{L_r^4 L_\sigma^2}\psi_{rd} - \frac{L_s L_m}{L_r^2 L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rq} - \frac{L_m^2}{L_r^2 L_\sigma^2}v_{sd} \\ \left(\frac{L_m^2 R_s}{L_r^2 L_\sigma^2}+\frac{L_m^2 R_r (L_s+L_\sigma)}{L_r^2 L_\sigma^3}\right)i_{sq} - \frac{L_m R_r (2L_s L_r - L_m^2)}{L_r^4 L_\sigma^2}\psi_{rq} + \frac{L_s L_m}{L_r^2 L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rd} - \frac{L_m^2}{L_r^2 L_\sigma^2}v_{sq} \end{bmatrix} \\
\frac{\partial \mathbf{i}_{sjk}}{\partial L_m} &= \begin{bmatrix} -\left(\frac{2L_m R_s}{L_r L_\sigma^2}+\frac{2L_s L_m R_r}{L_r^3 L_\sigma^2}\right)i_{sd} + \frac{R_r (L_r L_r + L_m^2)}{L_r^3 L_\sigma^2}\psi_{rd} + \frac{L_s L_r + L_m^2}{L_r^2 L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rq} + \frac{2L_m}{L_r L_\sigma^2}v_{sd} \\ -\left(\frac{2L_m R_s}{L_r L_\sigma^2}+\frac{2L_s L_m R_r}{L_r^3 L_\sigma^2}\right)i_{sq} + \frac{R_r (L_r L_r + L_m^2)}{L_r^3 L_\sigma^2}\psi_{rq} - \frac{L_s L_r + L_m^2}{L_r^2 L_\sigma^2}p_p\omega_m\psi_{rd} + \frac{2L_m}{L_r L_\sigma^2}v_{sq} \end{bmatrix}
\end{aligned} \quad (10b)$$

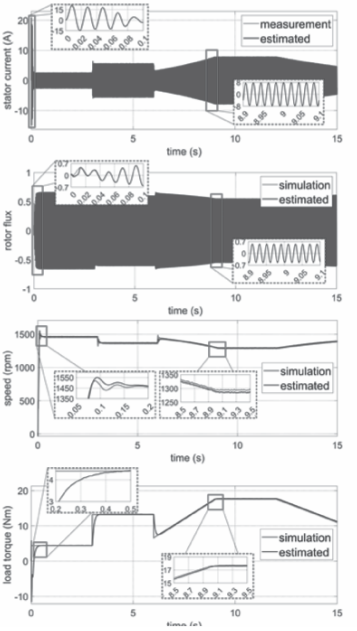


Figure 2. The state estimation results of the proposed framework

In Figure 3, the initial parameters estimated by the proposed offline initialization method already have a good estimation accuracy $(e_{ss}^{\theta} < 2\%)$. Compared to the framework without initialization, the proposed method can archive faster converge rate for the parameters estimation problem, leading to improved settling time and settlement error for the state estimation problem.

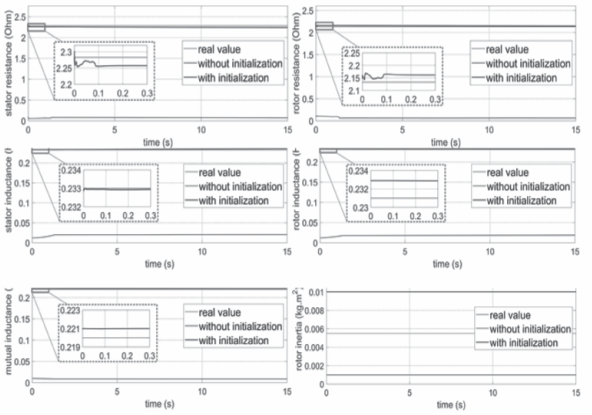


Figure 3. The parameters estimation results under the proposed offline parameters initialization.

Figure 4 shows the efficiency estimation result of the proposed framework. The steady state errors remained below 2% in all cases with the settling time less than 0.5s. The estimated efficiency also produces good transient errors for cases where the load torque does not change suddenly (t = 9s and t = 12s).

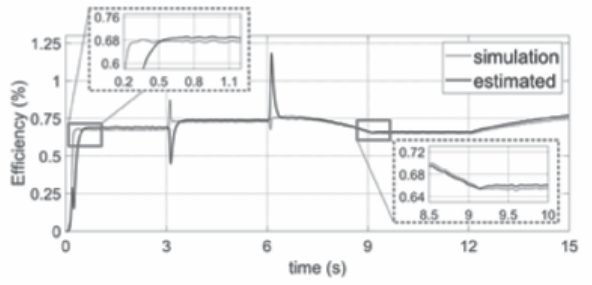


Figure 4. The efficiency estimation result of the proposed framework.

4. CONCLUSIONS

The aim of this paper is to present a comprehensive framework that relies on the Dual Extended Kalman Filter to estimate the efficiency of 3-phase induction motors. The least squares method parameter initialization is integrated to guarantee fast convergence response and settling time. The proposed framework only requires measurements of stator current and voltage at the electrical terminal box. The simulation results show that the proposed framework can achieve steady state errors below 2% for motor efficiency estimation problems with acceptable settling time (t_{ss} = 0.5s). This result holds promise for developing algorithms based on the health index for industrial predictive maintenance applications. In addition, estimating total inertia remains an issue that needs to be resolved to improve settling time and transient errors.

Acknowledgement:

We acknowledge Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM for supporting this study.

References:

[1]. Garcia, M., Panagiotou, P. A., Antonino-Daviu, J. A., & Gyftakis, K. N. (2018). *Efficiency assessment of induction motors operating under different faulty conditions.* IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(10), 8072-8081.

[2]. Singh, G., Kumar, T. C. A., & Naikan, V. N. A. (2019). *Efficiency monitoring as a strategy for cost effective maintenance of induction motors for minimizing carbon emission and energy consumption*. Reliability Engineering & System Safety, 184, 193-201.

[3]. "*IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*," in IEEE

Std 112-2017 (Revision of IEEE Std 112-2004) , vol., no., pp.1-115, 14 Feb. 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8291810.

[4]. "*NEMA Standard for Motors and Generators,*" in NEMA Std publication MG 1-2009, vol., no., pp.1-671.

[5]. "*IEC Standard Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles),*" in IEC Std 60034-2-1:2007, vol., no., pp. 1-154.

[6]. El-Ibiary, Y. (2003). *An accurate low-cost method for determining electric motors' efficiency for the purpose of plant energy management.* IEEE transactions on industry applications, 39(4), 1205-1210.

[7]. Al-Badri, M., Pillay, P., & Angers, P. (2014). *A novel algorithm for estimating refurbished three-phase induction motors efficiency using only no-load tests*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 30(2), 615-625.

[8]. Lu, B., Habetler, T. G., & Harley, R. G. (2006). *A survey of efficiency-estimation methods for in-service induction motors.* IEEE transactions on industry applications, 42(4), 924-933.

[9]. Lu, B., Habetler, T. G., & Harley, R. G. (2008). *A nonintrusive and in-service motor-efficiency estimation method using air-gap torque with considerations of condition monitoring*. IEEE transactions on Industry Applications, 44(6), 1666-1674.

[10]. Salomon, C. P., Sant'Ana, W. C., da Silva, L. E. B., Lambert-Torres, G., Bonaldi, E. L., de Oliveira, L. E., & da Silva, J. G. B. (2015). *Induction motor efficiency evaluation using a new concept of stator resistance.* IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 64(11), 2908-2917.

[11]. Dlamini, V., Naidoo, R., & Manyage, M. (2013). *A non-intrusive method for estimating motor efficiency using vibration signature analysis*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 45(1), 384-390.

[12]. Li, Y., Liu, M., Lau, J., & Zhang, B. (2015). *A novel method to determine the motor efficiency under variable speed operations and partial load conditions*. Applied Energy, 144, 234-240.

[13]. Rengifo, J., Albanez, E., Benzaquen, J., Bueno, A., & Aller, J. M. (2018, September). *Full-load range in-situ efficiency estimation method for induction motors using only a direct start-up*. In 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM) (pp. 1213-1219). IEEE.

[14]. Gomez, J. R., Quispe, E. C., de Armas, M. A., & Viego, P. R. (2008, September). *Estimation of induction motor efficiency in-situ under unbalanced voltages using genetic algorithms.* In 2008 18th International Conference on Electrical Machines (pp. 1-4). IEEE.

[15]. Phumiphak, P., & Chat-Uthai, C. (2008, November). *Nonintrusive method for estimating field efficiency of inverter-fed induction motor using measured values.* In 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (pp. 580-583). IEEE.

[16]. Çunkaş, M., & Sağ, T. (2010). *Efficiency determination of induction motors using multi-objective evolutionary algorithms*. Advances in engineering software, 41(2), 255-261.

[17]. Siraki, A. G., & Pillay, P. (2012). *Comparison of two methods for full-load in situ induction motor efficiency estimation from field testing in the presence of over/undervoltages and unbalanced supplies*. IEEE Transactions on Industry Applications, 48(6), 1911-1921.

[18]. Al-Badri, M., Pillay, P., & Angers, P. (2015). *A novel in situ efficiency estimation algorithm for three-phase IM using GA, IEEE method F1 calculations, and pretested motor data.* IEEE Transactions on Energy Conversion, 30(3), 1092-1102.

[19]. Al-Badri, M., Pillay, P., & Angers, P. (2017). *A novel in situ efficiency estimation algorithm for three-phase induction motors operating with distorted unbalanced voltages*. IEEE Transactions on Industry Applications, 53(6), 5338-5347.

[20]. Sakthivel, V. P., Bhuvaneswari, R., & Subramanian, S. (2010). *Non-intrusive* ☞

efficiency estimation method for energy auditing and management of in-service induction motor using bacterial foraging algorithm. IET Electric power applications, 4(8), 579-590.

[21]. Sakthivel, V. P., Bhuvaneswari, R., & Subramanian, S. (2011). *An accurate and economical approach for induction motor field efficiency estimation using bacterial foraging algorithm*. Measurement, 44(4), 674-684.

[22]. Santos, V. S., Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Lemozy, N. A., Jurado, A., & Quispe, E. C. (2014). *Procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 30(1), 331-339.

[23]. Guedes, J. J., Castoldi, M. F., Goedtel, A., Agulhari, C. M., & Sanches, D. S. (2018). *Parameters estimation of three-phase induction motors using differential evolution.* Electric Power Systems Research, 154, 204-212.

[24]. Haykin, S. (2004). *Kalman filtering and neural networks*. John Wiley & Sons.

[25]. Ling, L., & Wei, Y. (2021). *State-of-charge and state-of-health estimation for lithium-ion batteries based on dual fractional-order extended Kalman filter and online parameter identification.* Ieee Access, 9, 47588-47602.

[26]. Barut, M., Bogosyan, S., & Gokasan, M. (2007). *Speed-sensorless estimation for induction motors using extended Kalman filters*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54(1), 272-280.

[27]. Zhao, S., & Huang, B. (2020). *Trial-and-error or avoiding a guess? Initialization of the Kalman filter.* Automatica, 121, 109184.

RESEARCH ON THE AFFECT OF MECHANICAL PROPERTIES OF SEAT ON RIDING COMFORT

NGHIÊN CỨU VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA GHẾ NGỒI ĐẾN SỰ THOẢI MÁI KHI LÁI XE

Truong-Giang Nguyen, Van-Thanh Ngo
Mechanical and Power Engineering Faculty, Electric Power University

ABSTRACT

The popular image of a "comfortable seat" is that of a soft-cushioned chair having a luxurious appearance and feel and giving an instant sensation of conscious well-being. A good seat should have both instantaneous and long-lasting appeal to the user. Designing an optimum seat must take into account many factors including the range of seat user, their activities, and the maintenance of the seat and the environmental aspects of the seat. This research is concerned with the effects of mechanical properties including hip cushion and backrest support, and seat suspension to responses of human subjects. The knowledge of the seat design factors is a vital role to design optimum seat.

Keywords: *Comfortable seat; Mechanical property; Comfort level.*

TÓM TẮT

Hình ảnh thông thường về "chỗ ngồi thoải mái" là một chiếc ghế có đệm mềm mại, có vẻ ngoài sang trọng và mang lại cảm giác sảng khoái ngay lập tức. Một chiếc ghế tốt phải có sức hấp dẫn tức thì và lâu dài đối với người dùng. Thiết kế một chiếc ghế tối ưu phải tính đến nhiều yếu tố bao gồm phạm vi sử dụng ghế, hoạt động của người ngồi cũng như việc bảo trì ghế và các khía cạnh môi trường của ghế. Nghiên cứu này tập trung đến ảnh hưởng của các tính chất cơ học bao gồm đệm hông, hỗ trợ tựa lưng và hệ thống treo ghế đối với phản ứng của người ngồi. Sự hiểu biết về các yếu tố thiết kế là một vai trò quan trọng để thiết kế một chiếc ghế ngồi tối ưu.

Từ khóa: *Ghế ngồi thoải mái; Đặc tính cơ học; Mức độ thoải mái.*

1. INTRODUCTION

The human body is exposed to vibration in many kinds of maneuver, e.g. sports, work performances, as well as during travelling. People will not only get tired quickly but also can not attain high performance under vibration condition. Vibrations can result in discomfort, interference, and health impairment. To evaluate riding comfort, a nine-DOF multi-body model was selected to discuss and compare to a four-DOF lumped-parameter model. The comparison of the experimental data with those of four-DOF and nine-DOF model shown that nine-DOF model produced better matching in transmisibilities (T.G. Nguyen et al., 2020 [1]).

A vehicle suspension system can also be considered as a lumped-parameter model. In 2021, two kinds of vehicle models (2- and 3-D model [2, 3]) were selected to evaluate the affect of vibration on driver with two different road surfaces. In this case, the passenger was considered as a driver. The simulation results showed that, the 2-D model was restricted to the analysis of uniform road surfaces with the same input to both left and right tires. The 3-D model was recommended for analyzing the affect of vibration on passengers due to unevenness in the road (T.G. Nguyen et al., 2021 [4]).

In 2022, the nine-DOF multi-body model was considered as a driver. An integrated human-vehicle model with seventeen DOFs was constructed by integrating the nine-DOF multi-body model with the 3-D vehicle model for the purpose of enhancing the comfort level of passengers. The simulation results shown that the integrated human-vehicle model got better approximate the actual measurement of human vibrations and/or riding evaluation (T.G. Nguyen et al., 2022 [5]).

In 2023, the integrated human-vehicle model with seventeen DOFs was constructed by integrating the nine-DOF multi-body model with the 3-D vehicle model was used to analyze and evaluate the affect of driver/passengers position, vehicle speed and acceleration on riding comfort (T.G. Nguyen et al., 2023 [6]). For the purpose of designing optimum seat, the integrated human-vehicle model with seventeen DOFs was used to analyze and evaluate affect of mechanical properties of seat on riding comfort in this research.

2. MODELING CONSTRUCTION

2.1. Integrated human-vehicle model

In this case, the motions of each part of seated human model are considered in plane motion (translational motions in x and z directions, rotational motion respect to y-axis). So, the pitch motion of the vehicle also is considered as a role of input excitation to seated human model. Accordingly, an integrated human-vehicle system can be achieved by deleting the driver mass from 3-D vehicle model and substituting the seated human model. Assume that, the vehicle body and the vehicle seat are interconnected by a system of parallel linear springs and dampers with corresponding stiffness coefficient k_d and damping coefficient c_d, these coefficients were determined by increasing of the initial ones until the biodynamic response errors between the vehicle body and the vehicle seat were less than 1%. For this reason, the translational motion in vertical direction and the rotational motion respect to y-axis of the vehicle seat are considered as the translational motion in vertical direction of vehicle-seat position on vehicle body and rotational motion of vehicle body respect to y-axis.

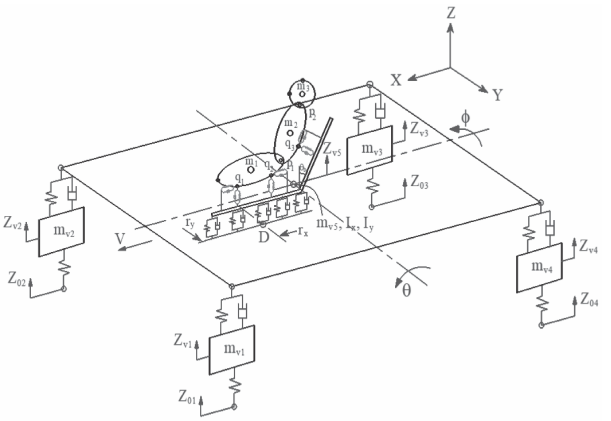


Figure 1. Schematic of integrated human-vehicle model [5]

The integrated human-vehicle model is shown in Fig. 1. Based on the system of EOMs of the nine-DOF multi-body model [1] and the system of EOMs of the 3-D vehicle model [4], the EOMs of a completely integrated human-vehicle model can be expressed by the following matrix form [5]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}\mathbf{X} = \mathbf{F} \quad (1)$$

The terms M, C and K in Eq. (1) are the 17×17 mass, damping and stiffness matrices of the integrated human-vehicle model, respectively; and $\ddot{\mathbf{X}}$, $\dot{\mathbf{X}}$, and $\mathbf{X}$ are the acceleration, velocity and displacement vectors of the system; **F** is the force input due to road excitation.

2.2. Road Profiles

The road-roughness excitation is also modeled into mathematical model. Many previous researches assert that excitations encountered by a vehicle in situations, such as highway driving are well characterized as random. Therefore, in this part of the study the different road classes, prescribed by ISO 2631 [7] and defined by the road roughness coefficients G_r, as listed in Table 1, are considered as the inputs for the vehicle wheels. Simulations of the integrated human-vehicle model in different random road profiles are also conducted, followed by an evaluation of the riding quality level for each profile.

Table 1. Road-roughness coefficients G_r (m^2/cycle/m) classified by ISO 2631 (1997) [7]

Road Class	A very good	B good	C average	D poor	E very poor	F	G
G_r (10^{-6})	4	16	64	256	1024	4096	16384

The disturbance to the wheels on the front axles can be represented by two white-noise signals ($w_1(t)$ for left side and $w_2(t)$ for right side) passing through the first-order filter G(s):

$$G(s) = \frac{(2\pi G_r V)^{1/2}}{s + \omega_0} \quad (2)$$

Where:
- G_r is the road-roughness coefficient.
- V is vehicle velocity.
- $\omega_0 = 2\pi v_0 V$ (v_0 is a spatial cut-off frequency between 0.001 and 0.02 cycle/m and used to limit the displacement to be finite at vanishingly small spectral frequencies).

Moreover, it is reasonable to consider the excitation at the rear wheels as a pure time delay, t_0 of those at the front wheels, and t_0 the ratio of wheelbase (L) to vehicle velocity (t_0 = L/V).

Again, a class C road surface is selected and the velocity is setting at 30m/s [7]. ☞

2.3. Mechanical Properties of Hip Cushion

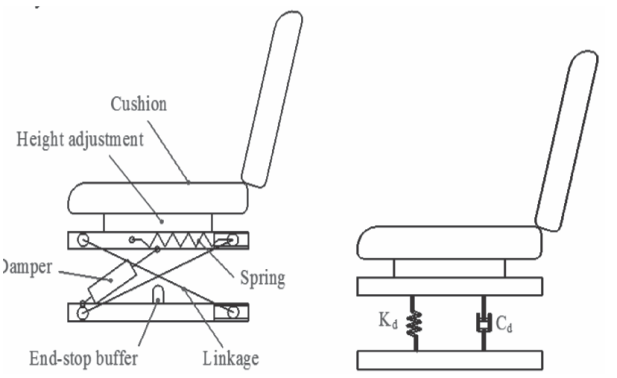
Some studies have shown that "pulsating" seat cushions can improve blood flow to the legs of persons confined for long periods in a car or other vibration environment. Furthermore, from basic vibration theory, it appears obvious that spring-damping structure tends to reduce the vibration transmission before the resonance frequency but enlarges thereafter. In this research, mechanical properties of hip cushion are presented by dampers and springs in parallel connection, both characteristics of the hip cushion are taken into consideration to observe the influence on riding comfort.

2.4. Mechanical Properties of Backrest Support

Several studies have shown that the transmission of vertical vibration to the head of seated human subjects is influenced by backrest support. The transmissibility between the head and floor is measured with and without backrest support by Cho and Yoon (2001) [8]. The measured data show that there is a significant difference between the transmissibility with and without backrest support. The fundamental mode without the backrest support is at 3.4Hz that is much lower than that with the backrest support at 4.2Hz. The peak magnitude of transfer function without the backrest support at 2.4 that is also much lower than that with the backrest support at 3.1. Hence, the backrest support increases the natural frequency and the magnitude of transfer function significantly. However, the backrest support can extend association of muscle forces on the trunk also generates spinal compression, thereby reducing the necessary muscle forces and reducing the compressive loading of the spinal column.

2.5. Mechanical Properties of Seat Structure

On vehicle, seat structure plays an important role to reduce the effect of vibration to driver or passengers seating in driving condition. The suspension of seat structure in most commercial suspension seats is a passive mechanism consisting of damper and some form of spring. The spring may be constructed of steel (e.g. a coil spring or torsion bar) or provided by a column of air. Figure 2(a) present the schematic of a typical seat structure. It has a mechanical under-seat 'X' linkage suspension mechanism. Suspension stiffness is provided by two parallel steel coil springs. Damping is provided by an inclined telescopic damper. Rubber buffers are used to limit the suspension travel. Purpose of this part is consideration to the effects of mechanical properties of seat structure on seated human subject in vertical direction. For this reason, the suspension of seat structure is simplified by a system of couples of linear spring and damper mounting parallelly with corresponding stiffness coefficient k_d and damping coefficient c_d as shown in Figure 2(b). The simulation algorithm is implemented with various spring constants k_d and damping coefficients cd in class C road surface and the vehicle velocity of 30m/s.



a) Schematic of the seat b) Simplified seat model

Figure 2. Schematic and simplified model of the seat

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

3. SIMULATION RESULTS

3.1. Mechanical Properties of Hip Cushion

In this part, the effect is considerable for the RMS acceleration of driver/passengers, a class C road surface is selected and the velocity is setting at 30m/s. The simulation algorithm is implemented with various spring constants and damping coefficients. The simulation results are shown in Figures 3. It should be noted that the RMS acceleration of the pelvis increases with an increase in the spring constants and almost unchanged belong to increase in the damping coefficient. The optimum hip cushion characteristics are found that the lower stiffness transmits the lower vibration to human body.

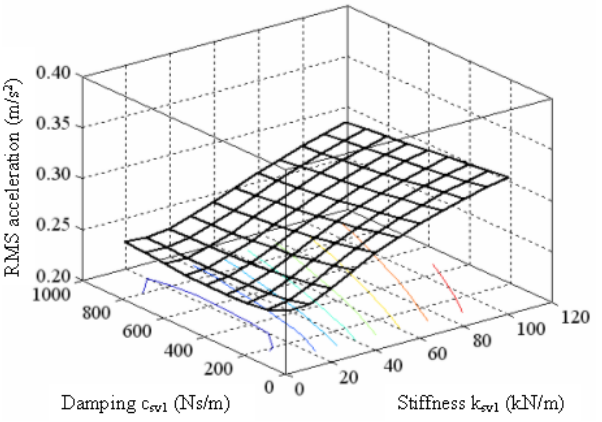


Figure 3. Influence of hip cushion mechanical properties to RMS accelerations of human body over road class C

3.2. Mechanical Properties of Backrest Support

In this part, a simulation of integrated human-vehicle model is performed to illustrate the influence of mechanical properties of seat structure. Again, a class C road surface is selected and the velocity is setting at 30m/s. The simulation algorithm is implemented with various spring constants and damping coefficients. The simulation results are shown in Figures 4. The RMS acceleration of the pelvis increases with an increase in the stiffness coefficient up to 80 kN/m and remains almost constant in value thereafter. On the other hand, damping coefficient has the reverse effect. Nevertheless, this decrease is inappreciable, it is almost unchanged belong to increase in the damping coefficient.

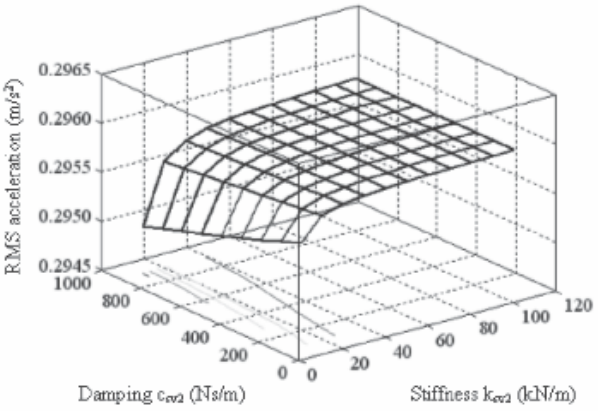


Figure 4. Influence of backrest support mechanical properties to RMS accelerations of human body over road class C

3.3. Mechanical Properties of Seat Structure

In this part, a simulation of integrated human-vehicle model is performed to illustrate the influence of mechanical properties of the backrest support. A class C road surface is selected and the velocity is setting at 30m/s. The simulation results are shown in Figures 5. It should be noted that the RMS acceleration of the pelvis decreases with an increase in the damping coefficient up to 1300 Ns/m and remains almost constant in value thereafter. On the other hand, seat stiffness has the reverse effect. An increase of stiffness tends to increase the pelvic acceleration until it reaches about 8000 N/m, after which point the acceleration remains approximately the same. This influence occurs similar effects on the simulation results ☞

with different road class (E and G). For this reason, the lower stiffness of seat structure is offered a more comfortable seat. Otherwise, the low stiffness of the seat structures causes them to deflect through many centimeters when loaded by the weight of driver/passengers. They are normally limited at about 10 cm of vertical travel so the stiffness must be adjusted according to subject mass in order that the seat operates about central position.

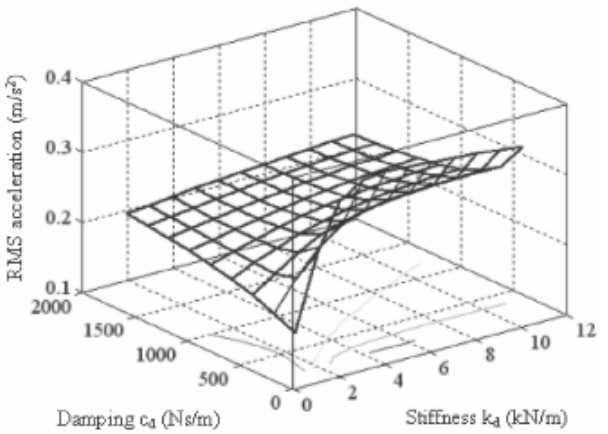


Figure 5. Influence of seat structure mechanical properties to RMS accelerations of human body over road class C

4. CONCLUSIONS

In this research, the influences of mechanical properties of seats including hip cushion, backrest support, and seat structure on riding comfort were evaluated. It has been noted that an increasing of stiffness coefficient tends to increase discomfort at given speeds and road surfaces up to certain value. However, damping coefficient has the reverse effect. This decrease is inappreciable, riding condition is almost unchanged belong to increase in the damping coefficient.❖

References:

[1]. Truong-Giang Nguyen, Thanh-Thuy Nguyen, 2020. *Analytical study on seated human models to improving better conditions for passengers*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 0866 – 7056, 93-100.

[2]. Baumal, A.E., McPhee, J.J., Calamai, P.H., 1998. *Application of genetic algorithms to the design optimization of an active vehicle suspension system*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 163, 87-94.

[3]. Zuo, L., Nayfeh, S.A., 2003. *Structured H2 optimization of vehicle suspensions based on multi-wheel models.* Vehicle System Dynamics 40(5), 351-371.

[4]. Truong-Giang Nguyen, Van-Thanh, Ngo, and Thanh-Thuy Nguyen, 2021. *Vehicle model assessment for research to enhance the comfort level of passengers.* Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2615 – 9910, số 9.

[5]. Truong-Giang Nguyen and Thanh-Thuy Nguyen, 2022. *Construction of an integrated human-vehicle model for researching on enhancing the comfort level of passengers.* Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2615 – 9910, số 291.

[6]. Truong-Giang Nguyen and Hong-Linh Nguyen, 2023. *Research on the affect of driver/passengers position, vehicle speed and acceleration on riding comfort.* Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2615 – 9910, số 304.

[7]. ISO 2631-1, 1997. *Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.* International Organization for Standardization.

[8]. Cho, Y., Yoon, Y.S., 2001. *Biomechanical model of human on seat with backrest for evaluating ride quality.* International Journal of Industrial Ergonomics 27, 331-345.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 316, tháng 6 năm 2024
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

LILAMA10 tiếp tục phát huy giá trị thương hiệu

Vượt qua nhiều khó khăn, thách thức, Công ty Cổ phần LILAMA10 đã phát huy lợi thế là đơn vị có thương hiệu hàng đầu trong ngành Lắp máy Việt Nam, tập thể lãnh đạo và người lao động Công ty đã hoàn thành và hoàn thành vượt mức các chỉ tiêu chủ yếu được Nghị quyết Đại hội đồng Cổ đông thường niên thông qua.

Hoàn thành vượt mức các chỉ tiêu chủ yếu

Năm 2023, 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, đặc biệt là sự chuyển đổi xanh ngành công nghiệp, sự leo thang của cuộc chiến Ukraina gây khó khăn rất lớn cho các doanh nghiệp nói chung và doanh nghiệp ngành cơ khí nói riêng. Tuy nhiên, nhờ tinh thần đoàn kết của Ban lãnh đạo, cùng đội ngũ cán bộ quản lý kinh nghiệm và tính chuyên nghiệp; đội ngũ công nhân kỹ thuật có tay nghề vững vàng, đáp ứng được những đòi hỏi ngày càng cao trong công tác thi công xây lắp các công trình trong giai đoạn hiện nay; phương tiện thiết bị thi công đã được chú trọng đầu tư nâng cao chất lượng, tăng về số lượng; có công việc ổn định cho người lao động, nên kết quả sản xuất kinh doanh (SXKD) của LILAMA10 vẫn rất khả quan, vượt kế hoạch (KH) nhiều chỉ tiêu quan trọng. Cụ thể, như: Giá trị SXKD đạt 1.032,0 tỷ đồng, đạt 103,2% KH; doanh thu 1.048,1 tỷ đồng, đạt 104,9% KH. So với năm trước, cả sản lượng và doanh thu đều vượt tương ứng đạt 2,8% và 1,2%.

Hoạt động SXKD tốt, nên kết quả thực hiện kế hoạch tài chính năm 2023 của Công ty cũng rất đáng nể, với chỉ tiêu lợi nhuận trước thuế 30,0 tỷ đồng, đạt 158,0% KH; nộp ngân sách nhà nước 29,9 tỷ đồng, đạt 103,1%; thu nhập bình quân của cán bộ công nhân viên 12 triệu đồng/người/tháng, đạt 107,1% KH.

Ông Đặng Văn Long - Chủ tịch HĐQT Công ty Cổ phần LILAMA10 cho biết, trong năm qua, Công ty tiếp tục triển khai thực hiện các dự án lớn như công tác chế tạo đường ống áp lực và lắp đặt của dự án Thuỷ điện Hoà Bình mở rộng, Thuỷ điện Ialy mở rộng; chế tạo các modules cho Thyssenkrup, công tác lắp đặt cho các dự án Điện đốt rác Bắc Ninh, Cống Rạch Mọp, Thuỷ điện Nạm Phak-Lào… Bên cạnh đó là triển khai thực hiện công tác lắp

Ông Đặng Văn Long - Chủ tịch HĐQT Công ty Cổ phần LILAMA10 báo cáo hoạt động của HĐQT năm 2023, nhiệm vụ năm 2024 tại Đại hội đồng Cổ đông thường niên 2024.

đặt cho các dự án Nhiệt điện Vũng Áng 2, Nhiệt điện Quảng Trạch 1, Điện khí Nhơn Trạch 3&4… đồng thời đã đàm phán đi đến ký kết một số hợp đồng lớn với tổng giá trị 1.698 tỷ đồng.

Tất cả các công trình và hạng mục công trình do Công ty đảm nhận thi công đều được lập biện pháp kỹ thuật thi công, biện pháp an toàn lao động, tổ chức chỉ đạo thi công hợp lý, khoa học; giám sát kỹ thuật thi công chặt chẽ, thực hiện nghiêm ngặt các quy trình kỹ thuật – công nghệ. Do đó, chất lượng thi công các công trình luôn đảm bảo, được chủ đầu tư đánh giá cao. Song song với việc chỉ đạo thực hiện thi công các dự án, Hội đồng quản trị và Ban Tổng giám đốc Công ty luôn quan tâm đến công tác thanh quyết toán, thu hồi vốn các khối lượng công việc hoàn thành tại các dự án đang thi công và các dự án đã bàn giao.

Giải pháp thực hiện kế hoạch năm 2024

Để tận dụng và phát huy tối đa giá trị thương hiệu LILAMA10, trên cơ sở những kết quả đạt được, Công ty xây dựng kế hoạch 2024, phấn đấu doanh thu đạt 1.000 tỷ đồng, lợi nhuận trước thuế 19 tỷ đồng, thu nhập bình quân 12 triệu đồng/người/tháng. Cùng với đó, một loạt các giải pháp thực hiện nhiệm vụ kế hoạch sản xuất kinh doanh năm 2024 cũng đã và đang được Ban lãnh đạo Công ty chỉ đạo triển khai quyết liệt.

Theo Chủ tịch HĐQT LILAMA10, đơn vị tiếp tục thi công, hoàn thiện các công trình đảm bảo an toàn, chất lượng, tiến độ, hiệu quả các dự án đã được ký kết; Quản lý dự án chặt chẽ, hiệu quả nhằm giảm chi phí phát sinh, tiết kiệm sử dụng nguyên, nhiên liệu, đồng thời đẩy mạnh công tác tiếp thị tìm kiếm việc làm trong nước và nước ngoài để đảm bảo đủ việc làm, ổn định cho người lao động. Nâng cao ý thức người lao động về việc chấp hành kỷ luật lao động về an toàn, vệ sinh môi trường, tăng cường đội ngũ cán bộ kỹ sư kỹ thuật làm công tác an toàn, bổ sung các trang thiết bị dụng cụ an toàn cho người lao động.

Bên cạnh đó là một loạt các biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm như xây dựng hệ thống kiểm tra, đánh giá chất lượng sản phẩm, tăng cường đội ngũ cán bộ QA/QC, quán triệt đến người lao động về tầm quan trọng của việc đảm bảo và nâng cao chất lượng sản phẩm, để từng bước nâng cao năng lực cạnh tranh của sản phẩm, dịch vụ của Công ty; Từng bước nâng cấp Nhà máy cơ khí chế tạo thiết bị Hải Dương để đa dạng hoá sản phẩm và phù hợp với chiến lược phát triển của Công ty trong những năm tiếp theo; Tiếp tục xây dựng đội ngũ người lao động có tay nghề cao, tác phong chuyên nghiệp và tạo cơ chế động viên, khuyến khích những lao động giỏi để đảm bảo người lao động yên tâm cống hiến, thực hiện tốt các dự án và xây dựng văn hoá doanh nghiệp chuyên nghiệp, thân thiện.

Với những nỗ lực và sự quyết tâm của Ban lãnh đạo Công ty cùng toàn thể cán bộ, người lao động, sự chủ động chuẩn bị các phương tiện thiết bị thi công, tin rằng LILAMA10 sẽ tiếp tục phát huy truyền thống, giá trị thương hiệu trên các công trình, dự án và đạt nhiều thành công mới trong năm 2024.❖

HẢI HÀ