

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Tên tác giả, đồng tác giả (kèm theo ghi chú về chức danh khoa học, học hàm, học vị, tên cơ quan công tác, email).

3. Tóm tắt bài báo bằng tiếng Việt và tiếng Anh không quá 350 từ (bao gồm có từ khóa tiếng Việt và tiếng Anh, đối với cụm từ khóa có khoảng 5 - 15 từ khóa).

4. Đặt vấn đề.

5. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.

6. Kết quả và thảo luận (có thể tách thành 2 phần riêng biệt: Kết quả, Thảo luận).

7. Kết luận.

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

Bản thảo được soạn trên máy vi tính, sử dụng Unicode, kiểu chữ Time New Roman, cỡ chữ 14, trên giấy A4 - một mặt, chế độ dẫn dòng: "1.5 lines spacing", căn lề trái phải mỗi bên: 3 cm, căn lề trên dưới: 2,5 cm, chế độ lề: "justified". Dung lượng mỗi bài báo khoảng 1.600-2.500 từ. Các đồ thị, hình và ảnh cần trình bày rõ ràng.

Các thuật ngữ khoa học nếu chưa được Việt hóa thì ưu tiên dùng nguyên bản tiếng Anh. Các ký hiệu viết tắt cần phải giải thích khi xuất hiện lần đầu.

Thứ tự bảng và hình được đánh số theo trình tự trong bài, không đánh theo thứ tự đề mục. Không được viết tắt các tiêu mục, tên bảng, hình vẽ. Tên bảng được ghi bên trên bảng, tên hình vẽ được ghi bên dưới hình. Chú thích in nghiêng.

Chỉ có những tài liệu được trích dẫn thực sự trong nội dung bài viết mới đưa vào phần tài liệu tham khảo. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự trích dẫn (tài liệu tiếng nước ngoài được sắp xếp theo họ của tác giả, tài liệu tiếng Việt sắp xếp theo tên tác giả) và theo trình tự: tên tác giả, năm xuất bản trong ngoặc 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 ký nộp bài, các tác giả có thể đề xuất 2 phản biện. Việc chọn các phản biện chuyên môn phù hợp thuộc quyền của Hội đồng Biên tập Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

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

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

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

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

Địa chỉ: Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), Mai Dịch, Cầu Giấy, Hà Nội

Điện thoại: (024) 37 920 650 - 0904 177 637 / 0982 254 465

Email: Tockvn.bbk@gmail.com * **Website:** cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

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

TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 310, tháng 12 năm 2023

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 HẢO** (Chủ tịch)
GS,TSKH. **BÀNH TIẾN LONG** (P. Chủ tịch)
KS. **TẠ QUANG MAI** (P. Chủ tịch)
TSKH. **PHAN XUÂN DŨNG**
PGS,TS. **HÀ MINH HÙNG**
PGS,TS. **TRƯỜNG VIỆT ANH**
GS,TS. **ĐÌNH VĂN CHIẾN**
GS,TSKH. **PHẠM VĂN LANG**
GS,TS. **CHU VĂN ĐẠT**
PGS,TS. **TRẦN VĨNH HƯNG**
PGS,TS. **ĐÀO QUANG KẾ**
PGS,TS. **NGUYỄN VĂN BẦY**
PGS,TS. **ĐÀO DUY TRUNG**
PGS,TS. **LÊ THU QUÝ**
PGS,TS. **BÙI TRUNG THÀNH**
PGS,TS. **LÊ VĂN ĐIỂM**
GS,TS. **LÊ ANH TUẤN**
GS,TS. **NGUYỄN HỮU LỘC**
PGS,TS. **DƯƠNG VĂN TÀI**
TS. **PHAN ĐĂNG PHONG**
TS. **TẠ NGỌC HẢI**
PGS,TS. **TRẦN NGỌC HIỀN**
PGS,TS. **TRƯỜNG HOÀNH SƠN**
TS. **HỒ TRẦN ANH NGỌC**

THIẾT KẾ MỸ THUẬT
NGÂN GIANG

*Tập 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
- 124 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 50.000 đồng/quyển Tập chí

TẠP CHÍ



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

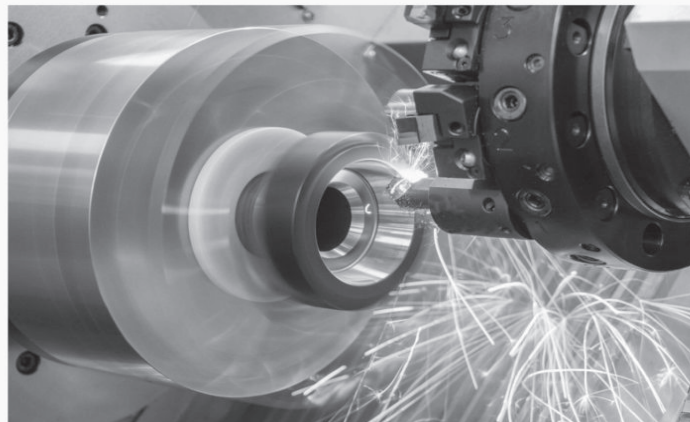
CƠ KHÍ

VIỆT NAM

VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM

• <http://cokhivietnam.vn> / tapchicokhi.com.vn



- ❖ Đột phá công nghệ in 3D SLA trong quy trình ép phun nhựa
- ❖ Nghiên cứu thiết kế và lắp đặt bàn thực hành tự động hóa khí nén, thủy lực
- ❖ Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số tới năng suất máy phá đồng dạng gầu

Số 310, tháng 12 năm 2023

Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 25 tháng 12 năm 2023

TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Mai Dịch, Cầu Giấy, Hà Nội

Điện thoại: (024) 3792 0650 **Hotline:** 0904 177 637 - 0982 254 465

Email: tckvietnam@gmail.com

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 1632/CBC-QLBC ngày 22 tháng 12 năm 2023 của Cục Báo chí,
Bộ Thông tin và Truyền thông, đề xuất bản số 310 tháng 12 năm 2023

Văn phòng đại diện:

1. Tại TP. Hồ Chí Minh:

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

- 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 Phường, Phường Đông, Uông Bí, Quảng Ninh
Điện thoại: 0904 116 189
Email: minhthuan.tckvn@gmail.com

3. Tại Thái Nguyên:

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

Phóng viên thường trú:

1. Tại Hải Phòng:

- Lê Thế Hiệp
Điện thoại: 0913 063 747
Email: daudentck@gmail.com

NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (5 – 120)

1. Hoàng Minh Hải, Lê Thanh Tình: Nghiên cứu thiết kế và lắp đặt bàn thực hành tự động hóa khí nén, thủy lực.....	5
2. Đỗ Thanh Bình, Trần Ngọc Thiện*, Nguyễn Lê Trung Thế, Võ Quốc Kiên, Tạ Hải Duy, Nguyễn Hoàng Phúc An, Trần Tuấn Anh, Trần Văn Tú: Đột phá công nghệ in 3D SLA trong quy trình ép phun nhựa	11
3. Vũ Quang Huy: Nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của các phương pháp cung cấp CNG đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ CNG được chuyển đổi từ động cơ phun xăng điện tử.....	18
4. Lê Xuân Thuyên, Trần Ngọc Huy: Hệ thống giám sát tự động quy trình đóng gói thủ công	24
5. ThS. Phạm Văn Hùng, ThS. Đoàn Văn Minh: Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số tới năng suất máy phá đồng dạng gàu.....	32
6. KS. Nguyễn Trọng Tín, PGS, TS. Nguyễn Thế Bảo: Nghiên cứu thực nghiệm cấp đồng cá tra có hỗ trợ sóng siêu âm.....	38
7. ThS. Trịnh Thị Mai, ThS. Nguyễn Tiến Dũng: Kiểm soát gia công trên các máy phay CNC bằng mô phỏng số trên điện thoại thông minh.....	47
8. TS. Nguyễn Quang Mạnh, ThS. Lê Hoàng Hiệp: Nghiên cứu tính toán thiết kế đầu dao chuốt rãnh xoắn nòng pháo P-230.....	51
9. Đỗ Văn Minh, Hoàng Kim Thành, Bùi Xuân Sơn, Nguyễn Văn Hường, Bùi Minh Tuấn: Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới quá trình cắt đại dẫn.....	56
10. Phạm Thị Thủy, Nguyễn Thanh Tùng: Tính toán, thiết kế và xây dựng mô hình máy tách bùn trực vít đa đĩa.....	63
11. ThS. Mai Quý Sáng, KSCC. Nguyễn Hà An, ThS. Hà Minh Thắng: Tính toán kiểm nghiệm thiết kế hệ thống giá đỡ lò hơi nhà máy điện hạt nhân theo tiêu chuẩn ASME.....	68
12. TS. Bùi Văn Bình, ThS. Phạm Hải Trình: Dao động tự do của tấm hình thang làm bằng vật liệu composite sợi thủy tinh nền polyester.....	75
13. Lê Phú Cường*, Cao Xuân Lại, Lê Thái Sơn: Ảnh hưởng của việc nung thép 40x để nhiệt luyện trong môi trường khí Nitơ.....	80
14. Nguyễn Thị Như Lan, Phạm Hồ Mai Anh: Nghiên cứu mô hình manikin tỏa nhiệt mô phỏng cơ thể người.....	85
15. TS. Nguyễn Hữu Tú: Xác định cơ tính của các màng mỏng vật liệu hai chiều P-CS, P-GEO, P-SNS và P-SNSE.....	92
16. Hung Ha Minh, Me Nguyen Van, Hung Nguyen Van, Huy Trieu Quy, Quan Nguyen Hoang, Mac Dinh Khac: Study of mechanical - physical and metallographic characteristics of composite materials of copper friction alloy - steel - copper friction alloy powder metallurgy.	101
17. Tri Dung Dang, Nguyen Minh Trieu, Nguyen Truong Thinh: Feedbot: A simple and smart design self-feeding robot for parkinson's patients and the elderly.....	111

DANH SÁCH
NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẦN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO
KHOA HỌC ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 310, THÁNG 12 NĂM 2023

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	TS. Vũ Trung Tuyền	Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương
2	TS. Nguyễn Hoàng Hải	Học viện Kỹ thuật Quân sự
3	PGS,TS. Hà Minh Hùng	Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ Tiên tiến
4	PGS,TS. Phạm Đức Thắng	
5	TS. Nguyễn Văn Trang	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên
6	PGS,TS. Bùi Hải Lê	Đại học Bách khoa Hà Nội
7	TS. Trần Mạnh Hà	Trường Đại học Công nghiệp Vinh
8	TS. Hoàng Minh Thuận	Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng
9	PGS,TS. Phạm Sơn Minh	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh
10	TS. Phan Công Bình	
11	TS. Trần Văn Thùy	Trường Đại học Phạm Văn Đồng
12	PGS,TS. Lê Đức Hạnh	Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
13	TS. Trần Đức Huân	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
14	TS. Nguyễn Văn Mùi	Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ LẮP ĐẶT BÀN THỰC HÀNH TỰ ĐỘNG HÓA KHÍ NÉN, THỦY LỰC

RESEARCH, DESIGN AND INSTALLATION OF A PNEUMATIC – HYDRAULIC
AUTOMATION PRACTICE TABLE

Hoàng Minh Hải, Lê Thanh Tình
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng

TÓM TẮT

Với ý tưởng tạo ra mô hình học cụ thực hành đa chức năng áp dụng được nhiều bài học, đảm bảo các yêu cầu về mục tiêu giảng dạy và học tập với nhiều mô đun, môn học khác nhau, giúp người học làm quen và rèn luyện được các kỹ năng cơ bản trong thiết kế, thực hành lắp ráp và lập trình điều khiển qua từng bài học, từng mô đun, môn học khác nhau, qua đó giúp người học tiếp cận ngay với trang thiết bị hiện đại trên thị trường hiện nay và bắt kịp với công nghệ sản xuất của doanh nghiệp. Nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế và tạo ra Bàn thực hành tự động hóa khí nén, thủy lực phục vụ giảng dạy và bồi dưỡng về các nội dung: Điều khiển điện khí nén, thủy lực sử dụng rơ le trung gian, sử dụng PLC; Điều khiển khí nén, thủy lực sử dụng HMI, PLC; Xây dựng hệ thống Scada sử dụng HMI, PLC; Lắp đặt tủ điện điều khiển.

Từ khóa: Thiết bị đào tạo; Khí nén; Thủy lực; PLC; HMI.

ABSTRACT

With the idea of creating a multi-functional model of practical learning tools that can apply many lessons, ensuring the requirements of teaching and learning goals with many different modules and subjects, helping learners do get familiar with and practice basic skills in design, assembly practice and control programming through each lesson and each different module and subject, thereby helping learners immediately access current equipment modern in today's market and keep pace with the production technology of the enterprise. The author group has researched, designed and created a pneumatic-hydraulic automation practice table to serve teaching and training on the content of electro-pneumatic and hydraulic control using intermediate relays, using use PLC; Pneumatic and hydraulic control using HMI, PLC; Building Scada system using HMI, PLC; Install electrical control cabinets.

Keywords: Training equipment; Pneumatics – hydraulics; PLC; HMI.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xuất phát từ thực trạng trang thiết bị phục vụ công tác giảng dạy mô đun điện khí nén, thủy lực của nhà trường còn ít, một số mô hình chưa có tính đa dạng trong ứng dụng vào nhiều bài học, mô đun. Do phải giảng dạy ở nhiều cơ sở nên việc vận chuyển trang thiết bị đào tạo đi lại khó khăn.

Nhu cầu thực tế cần bổ sung trang thiết bị đáp ứng cho việc nâng cao chất lượng dạy và học trong điều kiện nhà trường còn khó khăn về kinh phí đầu tư mua sắm mà giá thành mua lại cao.

Khai thác tiềm năng trí tuệ, sức sáng tạo của đội ngũ nhà giáo, học sinh, sinh viên và cán bộ quản lý của nhà trường trong việc tự làm thiết bị đào tạo nhằm phục vụ cho công tác đào tạo và nâng cao chất lượng đào tạo.

Trao đổi, học hỏi lẫn nhau giữa các cơ sở giáo dục nghề nghiệp về kinh nghiệm sáng chế, cải tiến thiết bị đào tạo; Lựa chọn các thiết bị đào tạo tự làm có chất lượng, hiệu quả trong đào tạo để áp dụng rộng rãi trong ngành.

2. Ý TƯỞNG THIẾT KẾ

Với các mô đun, môn học chuyên ngành như kỹ thuật cảm biến, điều khiển điện khí nén, kỹ thuật lập trình PLC,... phải đáp ứng được những yêu cầu đòi hỏi của thực tiễn nghề nghiệp liên quan đến phần vận hành, bảo trì, sửa chữa hệ thống tự động hóa trong công nghiệp. Người học không chỉ tiếp thu những tri thức khoa học mà còn phải biết vận dụng những kiến thức vào thực tiễn nghề nghiệp với nhiều tình huống khác nhau.

Với ý tưởng mô hình học cụ thực hành phải có tính đa chức năng áp dụng được nhiều

bài học, phải đảm bảo các yêu cầu về mục tiêu giảng dạy và học tập với nhiều mô đun, môn học khác nhau, giúp người học làm quen và rèn luyện được các kỹ năng cơ bản trong thiết kế, thực hành lắp ráp và lập trình điều khiển qua từng bài học và từng mô đun, môn học khác nhau, qua đó giúp người học tiếp cận ngay với trang thiết bị hiện đại trên thị trường hiện nay và bắt kịp với công nghệ sản xuất của doanh nghiệp.

Bản thực hành tích hợp được các khối kiến thức về khí nén, thủy lực, PLC, HMI, để giảng dạy lập trình điều khiển, giám sát trong công nghiệp, các thiết bị được bố trí thành những khối mô đun có chức năng riêng (Mô đun điều khiển dùng PLC, Mô đun HMI Weintek, Mô đun cơ cấu chấp hành là các xy lanh) giúp thuận tiện cho việc vừa học vừa thao tác đầu nối, kiểm tra, sửa chữa.

3. PHẠM VI ỨNG DỤNG

Bản thực hành được thiết kế để thực hiện một số mô đun thực hành hiện đại, sát với thực tế liên quan đến lĩnh vực Điện, Điện tử, do đó bản thực hành có thể được sử dụng để giảng dạy cho nhóm nghề: Lắp đặt điện và điều khiển trong công nghiệp; Điện công nghiệp; Điện tử công nghiệp; Cơ điện tử và tự động hóa;

Bản thực hành là phương tiện dạy học khi giảng dạy một số môn học và mô đun cụ thể như: Mô đun Điều khiển điện khí nén, thủy lực; Mô đun PLC cơ bản, PLC nâng cao; Lắp đặt tủ điện điều khiển công nghiệp;

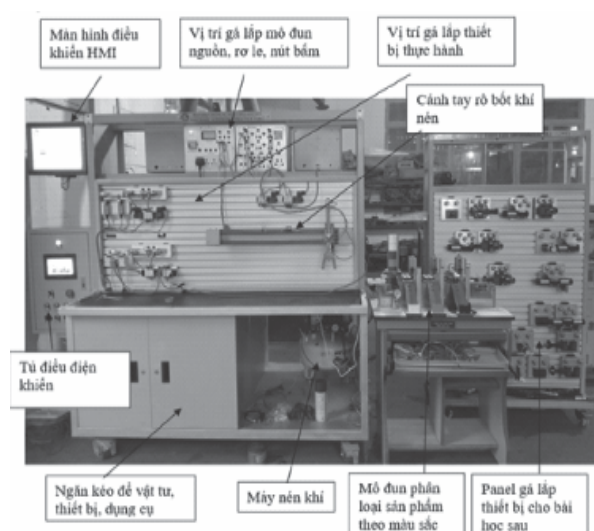
Nội dung giảng dạy: Điều khiển điện khí nén, thủy lực sử dụng rơ le trung gian, sử dụng PLC; Điều khiển khí nén, thủy lực sử dụng HMI, PLC; Xây dựng hệ thống Scada sử dụng HMI, PLC; Lắp đặt tủ điện điều khiển;

Bàn thực hành được lắp đặt theo kiểu module, dễ dàng tháo lắp, vận chuyển nên có thể cơ động di chuyển đi xa để phục vụ giảng dạy và bồi dưỡng các lớp ngắn hạn ở nhiều địa điểm khác nhau, cho các hệ đào tạo Sơ cấp, Trung cấp, Cao đẳng và Đại học.

4. CẤU TẠO VÀ ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT

4.1. Cấu tạo

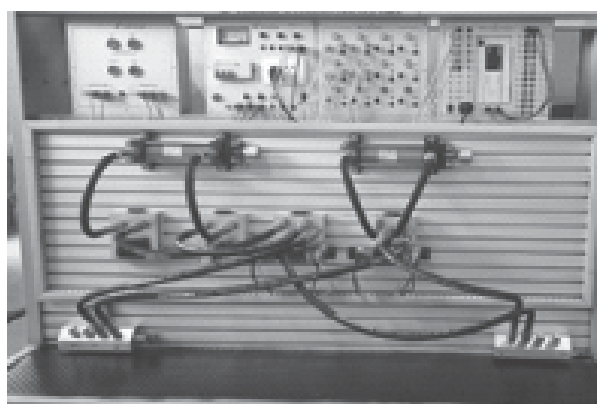
Khung bàn thực hành làm bằng sắt sơn tĩnh điện, phía dưới có ngăn kéo tủ chứa thiết bị, dụng cụ thực hành, bố trí máy nén khí phía trên bố trí thiết bị cấp nguồn và các thiết bị thực hành.



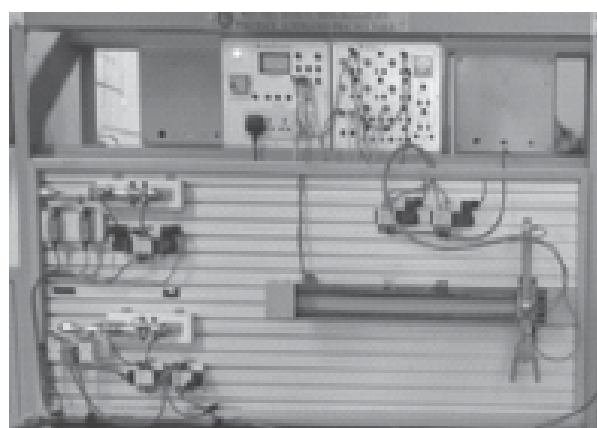
Hình 1. Cấu trúc tổng quát bàn thực hành (mặt trước)

Cấu trúc phía trên chia hai phần: Mặt trước và mặt sau.

- Một mặt dành cho các thiết bị thủy lực;



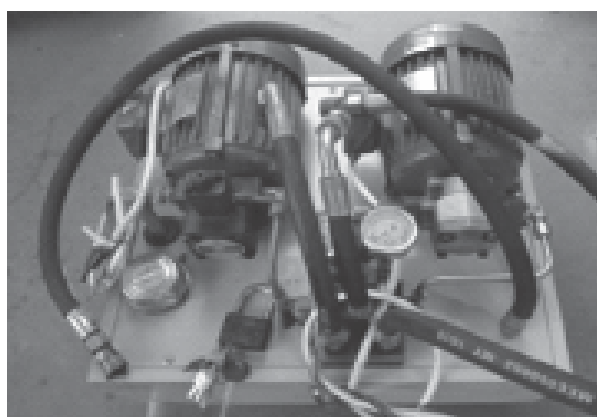
Hình 2. Panel bố trí nguồn và thiết bị thủy lực



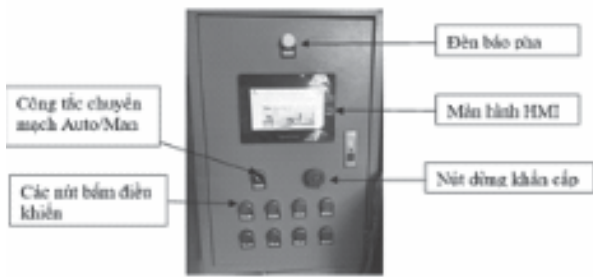
Hình 3. Panel bố trí nguồn và thiết bị khí nén

- Một mặt dùng cho các thiết bị khí nén;

- Mô đun bơm dầu thủy lực: Có 02 động cơ ba pha (01 động cơ dự phòng).

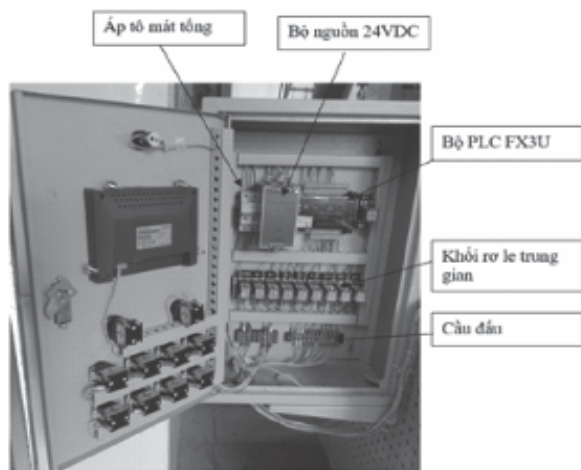


Hình 4. Mô đun bơm dầu thủy lực



Hình 5. Tủ điện điều khiển

- Tủ điện điều khiển:



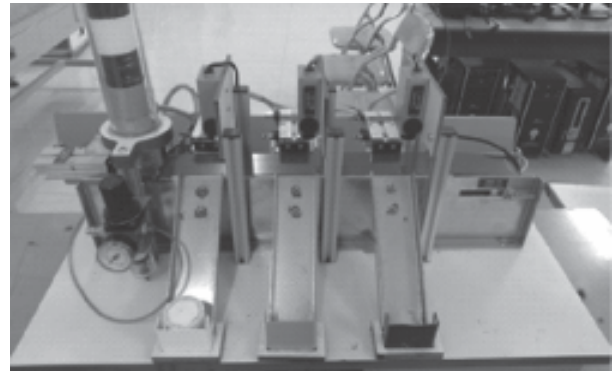
Hình 6. Cấu trúc bên trong tủ điện điều khiển

- Bàn để các thiết bị thực hành:



Hình 7. Panel bố trí dây thủy lực và thiết bị khí nén thủy lực

- Mô đun Phân loại sản phẩm theo màu sắc để phục vụ bài tập nâng cao: Lập trình điều khiển, giám sát sử dụng PLC, HMI:



Hình 8. Mô đun Phân loại sản phẩm theo màu sắc

Các thiết bị bố trí trên bàn thực hành:

+ Hệ thống điều khiển: PLC Mitsubishi, HMI, rô le trung gian.

+ Hệ thống truyền động: Xylanh khí nén, xylanh thủy lực.

+ Các thiết bị thủy lực và khí nén có thể được lắp đặt trên bảng có rãnh T.

+ Có ống kết nối nhanh, chuyên dụng để kết nối các bộ phận thủy lực và khí nén.

4.2. Đặc tính kỹ thuật

- Nguồn cấp cho bàn thực hành là ba pha 380V.

- Bộ điều khiển sử dụng PLC Mitsubishi.

- Màn hình điều khiển sử dụng HMI Weintek, có thể kết nối với PLC.

- Khối điều khiển dùng rô le trung gian cuộn hút 24V một chiều.

- Các van khí nén sử dụng đa dạng các loại van: 3/2; 4/2; 5/2; 5/3; 4/3; tín hiệu điều khiển van là điện một chiều 24V, khí nén.

5. HƯỚNG DẪN VẬN HÀNH, SỬ DỤNG

Để thực hành, ta phải thực hiện đầy đủ theo các bước sau đây:

- Lắp đặt, đấu nối các thiết bị: Căn cứ vào yêu cầu công nghệ của từng bài tập cụ thể, người học sẽ tiến hành nối dây theo đúng sơ đồ, đấu nối xong dùng đồng hồ vạn năng kiểm tra kết nối, đảm bảo đúng sơ đồ, chắc chắn, an toàn.

- Thiết kế mạch điều khiển theo từng yêu cầu cụ thể theo bài tập. Mạch điều khiển có thể sử dụng rơ le trung gian, sử dụng PLC hoặc PLC kết hợp HMI theo mức độ khó tăng dần. Lập trình PLC sử dụng máy tính có cài đặt phần mềm GX Work2 hoặc GX Develop để viết chương trình điều khiển. Đảm bảo chương trình điều khiển phải đúng với yêu cầu công nghệ. Chương trình viết ngắn gọn, dễ hiểu.

- Xây dựng giao diện điều khiển và giám sát cho HMI Weintek: Tùy theo từng bài học cụ thể để xây dựng giao diện điều khiển và giám sát.

- Kết nối máy tính với PLC Mitsubishi, HMI Weintek.

- Download chương trình từ máy tính cho PLC, tải giao diện từ máy tính cho HMI.



Hình 9. Giao diện HMI điều khiển, giám sát các mô hình

- Sửa các lỗi và chạy hoàn chỉnh hệ thống: Thao tác bằng cách tác động vào các nút ấn trên màn hình HMI hoặc nút bấm trên tủ điện

để kiểm tra hệ thống đã chạy đúng theo yêu cầu kỹ thuật. Kiểm tra và sửa các lỗi phát sinh (nếu có). Chạy hoàn chỉnh toàn bộ hệ thống, điều khiển và giám sát bằng màn hình HMI.

6. KẾT LUẬN

Đây là một bản thực hành hoàn chỉnh, đảm bảo các tiêu chí, các nguyên tắc của thiết bị dạy học như tính khoa học, tính thẩm mỹ, tính thực tiễn, tính sư phạm, khả năng ứng dụng và giá thành không cao, đảm bảo an toàn khi sử dụng, thuận tiện trong vận hành, bảo quản và bảo dưỡng.

Sản phẩm đã tham gia và đạt Giải Nhất Hội thi Thiết bị đào tạo tự làm tỉnh Quảng Ninh, giải Ba Hội thi Thiết bị đào tạo tự làm toàn quốc năm 2022 và giải Khuyến khích Cuộc thi Sáng tạo kỹ thuật tỉnh Quảng Ninh năm 2023.



Hình 10. Ảnh nhóm tác giả và bản thực hành tự động hóa khí nén, thủy lực



Hình 11. Đại diện nhóm tác giả nhận Bằng khen của Bộ trưởng Bộ Lao động – Thương binh và Xã hội cho Thiết bị đạt giải tại Hội thi Thiết bị đào tạo tự làm toàn quốc năm 2022 tổ chức tại Thành phố Vũng Tàu.

Ngày nhận bài: **30/10/2023**

Ngày phản biện: **25/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Ngọc Hải, Trần Xuân Tuyền (2019); *Hệ thống truyền động Thủy lực và khí nén*, NXB. Xây dựng.
- [2]. Trần Văn Hiếu (2019); *Tự động hóa PLC S7-1200 với tia Portal*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [3]. Trần Thế San, Trần Thị Kim Lang (2009); *Khí nén và thủy lực*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Ngọc Phương, Huỳnh Thế Hoàng (2019); *Hệ thống điều khiển bằng thủy lực (lý thuyết và các ứng dụng thực tế)*, NXB. Giáo dục.
- [5]. Ngô Văn Thiên, Phạm Quang Huy; *Lập trình với PLC: S7-1200 và S7-1500*, NXB. Thanh niên.
- [6]. <https://plctech.com.vn/tai-lieu-plc-siemens-s7-1200-tieng-viet/>
- [7]. <https://www.ebookbkmt.com/2017/03/tong-hop-tai-lieu-ve-plc-siemens.html>
- [8]. <http://www.hmiweintek.vn/2016/04/tai-lieu-huong-dan-lap-trinh-hmi-weintek.html>
- [9]. <https://hmivietnam.com/download-phan-mem-lap-trinh-hmi-weintek-weinview/>
- [10]. <https://plcmitsubishi.com/huong-dan-ket-noi-hmi-weintek-voi-plc-mitsubishi.html>
- [11]. Hoàng Minh Hải và các đồng tác giả (2022); *Hồ sơ thiết bị dự thi thiết bị đào tạo tự làm: Bàn thực hành tự động hóa khí nén thủy lực*, Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng.

ĐỘT PHÁ CÔNG NGHỆ IN 3D SLA TRONG QUY TRÌNH ÉP PHUN NHỰA

BREAKTHROUGH IN 3D SLA PRINTING TECHNOLOGY IN THE INJECTION MOLDING PROCESS

**Đỗ Thanh Bình, Trần Ngọc Thiện*, Nguyễn Lê Trung Thế, Võ Quốc Kiên, Tạ Hải Duy,
Nguyễn Hoàng Phúc An, Trần Tuấn Anh, Trần Văn Tú**
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Ngày nay, người tiêu dùng có nhu cầu sử dụng các sản phẩm nhựa rất phong phú và đa dạng. Vì vậy, sản lượng sản xuất các sản phẩm nhựa ngày càng giảm và thay đổi mẫu mã liên tục. Điều này dẫn đến giá thành sản phẩm sẽ tăng theo vì quá trình sản xuất cần phải thay đổi khuôn ép phun. Hiện nay, với sự bùng nổ của công nghệ in 3D SLA, đặc biệt là sự phát triển của vật liệu in 3D đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này đã ứng dụng công nghệ in 3D SLA với vật liệu chuyên dụng Rigid 10K nhằm chế tạo tấm lòng khuôn để tạo hình cho sản phẩm nhựa có sản lượng nhỏ hoặc vòng đời ngắn. Mục đích của nghiên cứu này nhằm nâng cao chất lượng ngoại quan sản phẩm và chất lượng sản phẩm ép phun. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đánh giá khả năng làm việc của tấm lòng khuôn được in 3D SLA sau 50 chu kỳ ép. Kết quả cho thấy rằng, khả năng đáp ứng việc chế tạo khuôn rất đáng kể, bề mặt ngoại quan sản phẩm ép là như khuôn kim loại truyền thống. Tuy nhiên, chu kỳ ép một sản phẩm dài hơn và độ bền kéo đối với sản phẩm nhựa giảm so với sản phẩm được ép bằng khuôn truyền thống. Bên cạnh đó, nghiên cứu này làm lộ ra những hạn chế như vấn đề bôi trơn bề mặt khuôn và giải nhiệt khuôn cần được xem xét tiếp theo.

Từ khóa: In 3D khuôn ép nhựa; In 3D SLA; Khuôn ép phun; Sản lượng ép phun nhỏ; PA6; EVA.

ABSTRACT

Today, consumers have a growing demand for a wide variety of plastic products. Consequently, the production volume of plastic items is decreasing, and the designs are constantly changing. This leads to increased production costs as the injection molding process necessitates mold changes. With the recent explosion of SLA 3D printing technology, especially the development of 3D printing materials applied across various fields, this study seeks to employ SLA 3D printing technology using specialized Rigid 10K material for creating mold inserts for low-volume or short-lifecycle plastic products. The objective of this research is to enhance the visualization and quality of injection-molded products. Additionally, this study evaluates the working capabilities of SLA 3D printed mold inserts after 50 molding cycles. The results demonstrate a significant ability to create a mold insert in a short time, the visual quality of products is similar to traditional metal molds. However, the molding cycle for each product is longer, and the tensile strength of the plastic products is reduced compared to those molded using traditional molds. Furthermore, this research highlights limitations such as surface lubrication and mold cooling issues that require further consideration.

Keywords: 3D SLA printing; Mold Insert; Low-volume; PA6; EVA; Polymer blended. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ép phun là một trong các phương pháp phổ biến được dùng để sản xuất các sản phẩm nhựa ngày càng đa dạng về chủng loại, số lượng lớn và năng suất cao. Vì thế, việc thiết kế và chế tạo khuôn ép phun ngày nay đã được tiêu chuẩn hóa với vỏ khuôn với độ chính xác cao, việc còn lại là phụ thuộc vào quá trình thiết kế và chế tạo tấm lòng khuôn (tấm tạo hình cho sản phẩm). Đối với trước đây, lòng khuôn được làm bằng kim loại và chế tạo bằng các phương pháp gia công cắt gọt. Điều này dẫn đến chi phí đầu tư cho một bộ khuôn là rất lớn và mất nhiều thời gian nên chỉ phù hợp cho dạng sản xuất hàng loạt lớn trở lên. Còn đối với các dạng sản xuất hàng loạt vừa trở xuống thì tính kinh tế sẽ không được đảm bảo nếu sử dụng phương pháp ép phun để chế tạo.

Ngày nay, in 3D đang phát triển với tốc độ nhanh chóng về công nghệ và vật liệu nhằm hỗ trợ tối ưu cho các phương pháp truyền thống là điều hết sức cần thiết [1]. Cùng với xu hướng này, việc ứng dụng công nghệ in 3D vào việc chế tạo lòng khuôn ép phun ngày càng thu hút được sự quan tâm của các nhà sản xuất máy in và giới khoa học vì giải pháp này giải quyết được vấn đề tiết kiệm vật liệu và thời gian khi chế tạo khuôn cho các loạt sản phẩm có thể tích nhỏ và số lượng không đáng kể, đặc biệt là các sản phẩm trong giai đoạn ép thử. Trong nghiên cứu của Novus Applications tạo hàng trăm nắp ren với khuôn in 3D sử dụng vật liệu Rigid 10K. Họ đã tiến hành khoảng một trăm chu kỳ ép phun, sản phẩm có tính ổn định tốt khi độ sai lệch trung bình kích thước đường kính là $\pm 0,04$ mm. Họ đã tiết kiệm rất nhiều thời gian và đơn giản hóa quy trình phức tạp trước đây và ước tính rằng việc in 3D khuôn có giá thấp hơn một nửa so với việc gia công như trước đây [2]. Cùng với đó, Holimaker đã tiến hành ép phun

trên khuôn in 3D nhựa Grey Pro [3] với 100 lần phun đối với vật liệu PA ở mức nhiệt độ 270°C và 100 lần phun đối với PP, TPE, hoặc POM ở nhiệt độ thấp hơn. Holimaker cũng đã thiết kế một hệ thống làm mát tích hợp trong khuôn để giúp giảm chu kỳ lấy sản phẩm. Họ đã sản xuất khuôn trong một tuần và chi phí giảm 4-5 lần so với khuôn kim loại [2]. Braskem chế tạo hàng nghìn dây đeo khẩu trang trong một tuần với khuôn in 3D sử dụng nhựa High Temp Resin [4]. Họ dùng vật liệu bôi trơn để thuận tiện cho việc tách sản phẩm, phun sau mỗi 50 đến 60 lần phun, tổng thời gian chu kỳ trung bình là 30 giây, bao gồm cả việc làm mát và tách thủ công. Đối với nghiên cứu này, Braskem đã đi từ ý tưởng đến sản xuất trong vòng một tuần, tiết kiệm được 90-94% thời gian và 80-97% chi phí so với các giải pháp thay thế [2]. Stratasys cũng đã sử dụng khuôn ép in 3D để sản xuất và thử nghiệm các bộ phận bọc kín nước cho các linh kiện điện tử sử dụng vật liệu nhựa ABS [2].

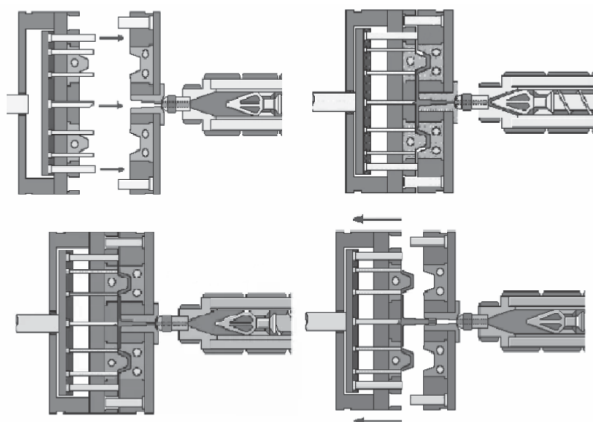
Từ những nghiên cứu này cho thấy việc chế tạo khuôn bằng công nghệ in 3D hiện nay đang là xu thế mới trong việc sản xuất các sản phẩm nhựa có khối lượng nhỏ ở dạng sản xuất vừa và nhỏ hoặc là các sản phẩm thử nghiệm ban đầu trước khi sản xuất hàng loạt. Tuy nhiên, vật liệu in trong công nghệ in 3D SLA hiện còn nhiều hạn chế và tuổi thọ khuôn in 3D cũng cần được nghiên cứu nhiều hơn nữa để đánh giá khả năng ứng dụng của chúng trong ngành sản xuất sản phẩm nhựa. Vì thế, trong nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc thiết kế, mô phỏng và chế tạo lòng khuôn in 3D kết hợp với vỏ khuôn kim loại để tạo ra các mẫu thử kéo, sau đó so sánh độ bền kéo của mẫu được ép bằng khuôn in 3D với các mẫu được ép bằng khuôn truyền thống. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy một số vấn đề cần lưu ý khi chế tạo lòng khuôn bằng công nghệ in 3D SLA.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

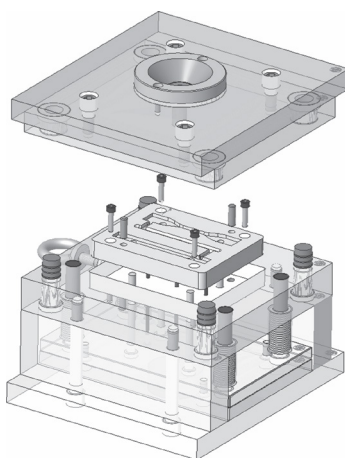
2.1. Phương pháp ép phun

2.1.1. Ép phun nhựa

Là quy trình chế tạo sản phẩm nhựa mà trong đó hạt nhựa được định lượng và hóa dẻo bằng hệ thống cấp liệu trước khi bơm với áp lực cao vào bên trong lòng khuôn đã được đóng kín. Sau quá trình nguội sơ bộ thì khuôn sẽ mở ra, sản phẩm sẽ được hình thành và cùng lúc này hệ thống ty đẩy sẽ đẩy sản phẩm ra khỏi khuôn. Chu kỳ này sẽ được lặp đi lặp lại trong suốt quá trình sản xuất sản phẩm (Hình 1).



Hình 1. Quy trình ép phun.



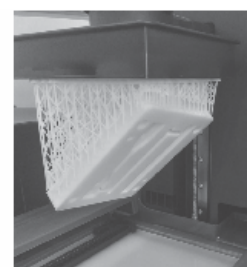
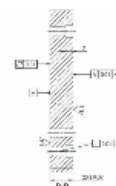
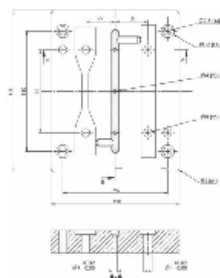
Hình 2. Khuôn ép.

2.1.2. Lòng khuôn ép nhựa được in 3D SLA

Khác với khuôn truyền thống, lòng khuôn tạo hình sản phẩm được làm từ vật liệu kim loại và được gia công cắt gọt và gia công CNC thì điểm nổi bật của nghiên cứu này là lòng khuôn được chế tạo bằng nhựa chịu nhiệt chuyên dụng Rigid 10K trong công nghệ in 3D SLA do hãng Formlabs nghiên cứu phát triển. Tám lòng khuôn trong nghiên cứu này là khuôn family để tạo hình cho hai mẫu kiểm nghiệm độ bền kéo và uốn với mục đích so sánh kết quả với hai mẫu tương tự được ép phun bởi khuôn kim loại truyền thống (Hình 2). Kích thước tám lòng khuôn được thiết kế để có thể in trên máy in 3D SLA Form 2 của hãng Formlab (Hình 3).

2.1.3. Vật liệu và thông số ép

Vật liệu được sử dụng để thử khuôn trong thí nghiệm này là hỗn hợp nhựa gồm 70% PA6 + 30% EVA theo khối lượng [6]. Với vật liệu PA6 hay còn được gọi là “nylon”, nổi bật với độ cứng cao, độ bền tốt, khả năng chống ăn mòn tốt, chịu nhiệt độ thấp, dễ gia công, độ trơn bóng cao, không độc, dễ pha màu nhưng tính chịu axit kém, không thể nhuộm màu với chất nhuộm có tính axit. Trong khi nhựa EVA có khả năng chịu lực cao và không độc hại nhưng khả năng chịu lực cao và không độc hại. Vì thế, trong nghiên cứu này đã trộn hai loại nhựa này lại với nhau để giảm nhiệt độ nhựa vào khuôn và cải thiện cơ tính sản phẩm ép.



Hình 3. Tám lòng khuôn family



Hỗn hợp nhựa PA6 và EVA được cho vào trong bồn máy theo % khối lượng, khuấy và trộn liên tục, sau đó sẽ được mang đi sấy khô trong 8 tiếng trước khi ép trên máy Haitan Mars 1200 III với các thông số ép được nêu ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số ép phun

Áp suất phun (bar)	50
Nhiệt độ phun (°C)	230
Tốc độ phun (%)	60
Thời gian phun (s)	2.8
Thời gian làm nguội (s)	40

2.2. Vật liệu và quy trình in 3D tấm lòng khuôn

2.2.1. Vật liệu in 3D SLA

Nhựa in được sử dụng trong nghiên cứu này là nhựa Rigid 10K có độ cứng cao nhất mà Formlabs nghiên cứu và phát triển. Rigid 10K thích hợp cho các bộ phận công nghiệp chính xác cần chịu được tải trọng đáng kể mà không bị uốn cong. Nhựa Rigid 10K có bề mặt mờ mịn và có khả năng chịu nhiệt và hóa chất cao [5]. Nhựa Rigid 10K thường được ứng dụng vào việc chế tạo khuôn ép và lòng khuôn tuổi thọ ngắn hoặc các bộ phận, đồ gá và đồ đặc chịu nhiệt và tiếp xúc với chất lỏng.

Bảng 2. Một số tính chất của nhựa Rigid 10K

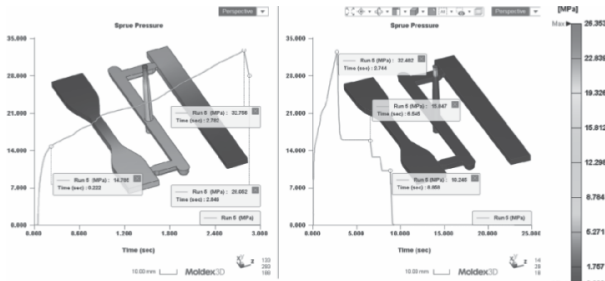
	Green	UV Post-cured	UV + Thermal
Tính chất bền kéo			
Độ bền kéo (MPa)	55	65	53
Modul kéo (GPa)	7.5	10	7.5
Độ giãn dài giới hạn (%)	2	2	2
Thuộc tính uốn			
Độ bền uốn (MPa)	84	126	103
Môđun uốn (GPa)	6	9	10
Thuộc tính tác động			
Độ bền va đập IOZD (J/m)	16	16	18
Tính chất nhiệt			
Nhiệt độ lệch nhiệt 1.8 MPa (°C)	56	82	110
Nhiệt độ lệch nhiệt 0.45 MPa (°C)	65	163	218
Sự giãn nở nhiệt 0 ÷ 150°C (µm/m/°C)	48	47	46

2.2.2. Phân tích mẫu ép

Dựa vào kết quả phân tích trên phần mềm Modex 3D (Hình 4), giá trị áp suất tập trung lớn nhất ở phần miệng cuống phun, sau đó giảm dần đến hệ thống kênh dẫn và cuối cùng đến sản phẩm. Quá trình điền đầy: áp suất lúc đầu tăng tương đối nhanh đến thời điểm 0.222s

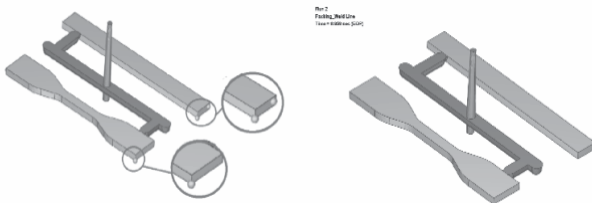
đạt giá trị 14.785 MPa, sau đó áp suất tăng đến cực đại tại thời điểm 2.782s với áp suất 32.756 MPa rồi tiếp tục giảm xuống khoảng 28.052 MPa trong khoảng thời gian còn lại của quá trình điền đầy. Quá trình giữ áp: áp suất giảm từ cuối quá trình điền đầy tiếp tục giảm nhanh tại thời điểm 6.545 s với giá trị 15.847 MPa, sau đó giảm dần về giá trị 10.245 MPa tại thời

điểm 8,858 s. Cuối cùng áp suất giảm về giá trị 0 và kết thúc một chu kỳ ép phun. Dựa vào kết quả mô phỏng, ta thấy áp suất suất lớn nhất trong quá trình ép khoảng 32.8 MPa và chu kỳ ép là khoảng 9s.



Hình 4. Kết quả phân tích áp suất mẫu ép.

Nhìn chung giá trị áp suất khoảng từ 12.2 MPa đến 15.8 MPa phân bố ở hệ thống kênh dẫn, cũng là khoảng giá trị lớn nhất tác động lên tấm lòng khuôn. Từ đó, ta sẽ lấy giá trị 16 MPa để phân tích độ bền cho lòng khuôn.



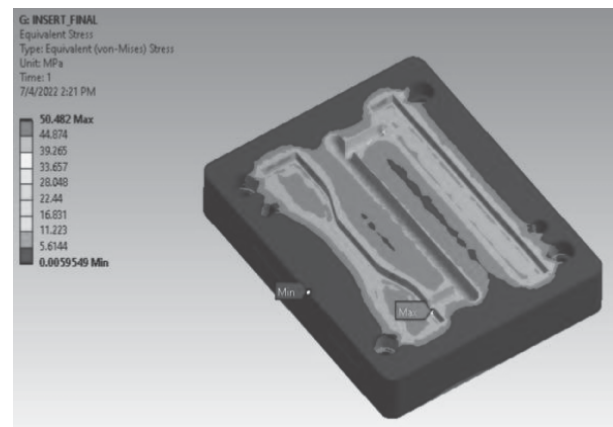
Hình 5. Kết quả phân tích rỗ khí và đường hàn.

Dựa vào kết quả mô phỏng ở Hình 5, ta có thể thấy các rỗ khí xuất hiện ở các góc nhọn của sản phẩm. Vì vậy trong việc thiết kế tấm lòng khuôn cần được bố trí rãnh thoát khí. Bên cạnh đó, khi phân tích đường hàn cho thấy sản phẩm không xuất hiện đường hàn do không có sự đối đầu của hai dòng chảy. Vì vậy, cần xem xét đến áp lực và nhiệt độ của dòng chảy phù hợp để tăng độ bền khuôn.

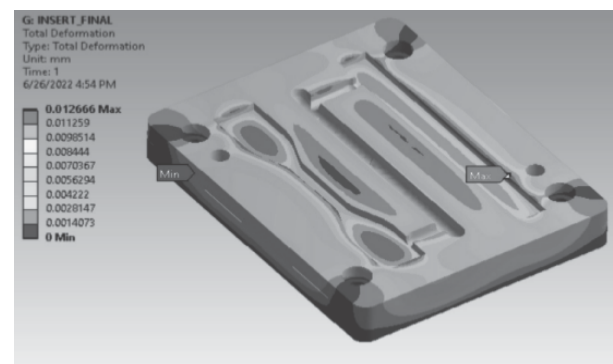
2.2.3. Phân tích tấm lòng khuôn

Qua kết quả phân tích ứng suất trên

phần mềm Ansys (Hình 6) cho thấy ứng suất phân bố đều trên bề mặt lòng khuôn và có nhỏ hơn ứng suất ở kênh dẫn. Giá trị ứng suất cao nhất 50.482 MPa là tại vị trí cổng vào nhựa và thấp hơn độ bền uốn và độ bền kéo của Rigid 10K (Bảng 2) sau xử lý UV lần lượt là 126 MPa và 65 MPa, qua đó thỏa mãn điều kiện bền của vật liệu.



Hình 6. Kết quả phân tích ứng suất tấm lòng khuôn.



Hình 7. Kết quả phân tích biến dạng tấm lòng khuôn.

Bên cạnh đó, với kết quả mô phỏng biến dạng tấm lòng khuôn cho thấy vùng biến dạng lớn nhất có giá trị 0.0127 mm tại hai khu vực chứa nhiều nhựa của mẫu kéo và các cạnh của mẫu độ bền uốn (Hình 7). Tuy rằng hai vị trí này không gây ảnh hưởng lớn đến kết quả kiểm nghiệm nhưng cần phải lưu ý về khả năng hình thành ba-via khi số lượt ép ngày càng tăng lên về sau.

2.2.4. Quy trình in 3D SLA tấm lòng khuôn



Bước 1: Nhằm thiết lập các thông số in đạt độ cứng cao nhất cho chi tiết, mỗi lớp in là 0.05mm (độ dày mỗi lớp in nhỏ nhất cho vật liệu Rigid 10K). Độ nghiêng của tấm lòng khuôn so với bàn in là 45 độ với hệ thống đỡ như hình 3 [7].

Bước 2: Sau khi in xong, bàn in sẽ được tháo ra khỏi máy in 3D SLA và được gá đặt vào máy Form Wash để làm sạch nhựa bằng dung môi IPA trong 20 phút (thời gian này được khuyến cáo bởi Formlabs cho nhựa Rigid 10K).

Bước 3: Sấy UV. Sau khi quá trình rửa mẫu in hoàn tất, mẫu được lấy ra khỏi bàn in trước khi đến công đoạn sấy tia UV để tăng độ cứng cho lòng khuôn in 3D. Sấy ở mức nhiệt 60 độ và trong 60 phút [5].

Bước 4: Ủ nhiệt bổ sung. Ủ nhiệt bổ sung để giảm khả năng biến dạng nhiệt cho chi tiết được in với nhiệt độ 90°C trong thời gian 125 phút [5].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả mẫu sau khi ép

3.1.1. Ngoại quan

Sau 50 chu kỳ ép, kết quả thu được mẫu 30%EVA + PA6 được ép bằng khuôn in 3D có ngoại quan tương tự với mẫu được ép bởi khuôn kim loại [6]. Tuy nhiên, quan sát Hình 8 thấy có ba-via xuất hiện xung quanh các mẫu ép do khuôn chưa kín trong quá trình phun. Nguyên nhân của lỗi này có thể là do quá trình xử lý hệ thống đỡ chi tiết in chưa phẳng hoặc hóc dulong

để lắp ghép trên vỏ khuôn gia công chưa phẳng.

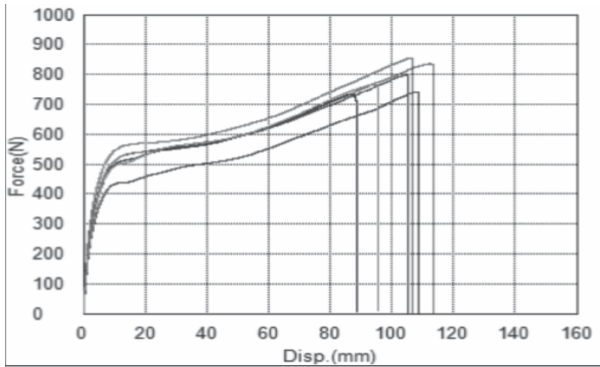


Hình 8. Sản phẩm sau khi ép

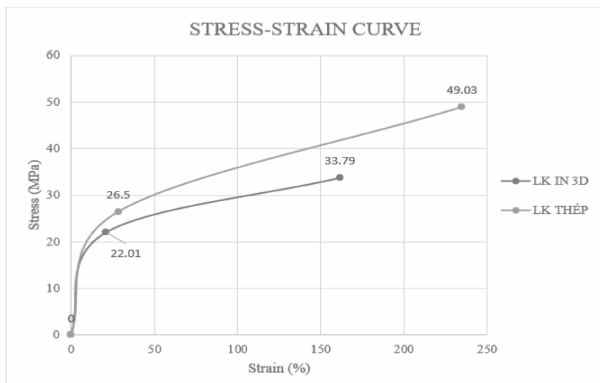
3.1.2. Độ bền kéo

Đồ thị biến dạng của các mẫu chịu kéo đo được trong quá trình thí nghiệm thu được có hình dạng của một biểu đồ nhựa dẻo thông thường (Hình 9), mẫu bị kéo đứt nằm trong khoảng đứt cho phép với độ giãn dài trung bình của mẫu chịu kéo là 105.10 mm, nhỏ hơn 15.72 mm của mẫu được ép bằng khuôn kim loại. Lý do khả năng chịu kéo của mẫu được ép bằng khuôn in 3D là do tốc độ giải nhiệt của khuôn nhựa chậm hơn khuôn kim loại. Vì vậy, thời gian làm nguội sẽ dài hơn và đó là nguyên nhân dẫn đến độ bền kéo của mẫu trong nghiên cứu này nhỏ hơn mẫu truyền thống [8]. Đây nhược điểm lớn cần phải được nghiên cứu khắc phục khi sử dụng tấm lòng khuôn bằng nhựa in 3D.

Biểu đồ so sánh các đường cong ứng suất – biến dạng (Hình 10) đưa ra kết quả đo được thấp hơn khi so sánh với sản phẩm từ khuôn truyền thống với hai thông số lần lượt là: ứng suất tại điểm đứt là 33.79 MPa so với 49.03 MPa và ứng suất điểm chảy là 22.01 MPa so với 26.5 MPa. Điều này tiếp tục cho thấy thời gian nguội của khuôn in 3D sẽ ảnh hưởng đáng kể đến cơ tính sản phẩm nhựa nói chung và độ bền kéo nói riêng, vì thế cần tiếp tục nghiên cứu để khắc phục vấn đề này.



Hình 9. Kết quả độ biến dạng của các mẫu ép.



Hình 10. Biểu đồ so sánh đường cong ứng suất – biến dạng giữa hai loại khuôn.

4. KẾT LUẬN

Ứng dụng in 3D vào khuôn ép phun để chế tạo lòng khuôn cho việc sản xuất cho các sản phẩm nhựa có sản lượng hoặc sản xuất thử nghiệm trước khi đưa vào sản xuất hàng loạt là điều cần thiết. Và trong nghiên cứu cũng cho thấy rằng:

- Việc thiết kế và chế tạo khuôn ép nhựa kết hợp giữa vỏ khuôn kim loại và tấm lòng khuôn in 3D cho loạt sản xuất nhỏ sẽ tiết kiệm vật liệu, thời gian và sự chủ động trong việc sản xuất.

- Lòng khuôn được in từ nhựa Rigid 10K có khả năng đáp ứng được các điều kiện ép phun sản phẩm nhựa có sản lượng nhỏ.

- Sau 50 lượt sản phẩm được ép, độ bền lòng khuôn vẫn được đảm bảo. Bên cạnh đó có

thể thay đổi thông số, quy trình in và xử lý sau in để cải thiện thêm cơ tính của khuôn in 3D SLA.

- Chất lượng ngoại quan sản phẩm ép tương đồng với sản phẩm được ép bằng khuôn kim loại.

- Tuy nhiên, các chỉ số về độ bền kéo nhỏ hơn nhiều so với khuôn truyền thống do thời gian nguội trong khuôn còn quá lớn. Cần xem xét để cải thiện vấn đề này ở các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu này thông qua đề tài mã số SV2023-95. ❖

Ngày nhận bài: 25/9/2023

Ngày phản biện: 16/10/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez, "A Review of Additive Manufacturing", International Scholarly Research Notices, vol. 2012, 2012, 10 trang.
- [2]. Formlabs, "Low – Volume Rapid Injection Molding With 3D Printed Molds", formlabs.com, 2020, <https://3d.formlabs.com/injection-molding>, 06/06/2023.
- [3]. Formlabs, "Grey Pro Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/standard/#grey-pro-resin>, 6/6/2023.
- [4]. Formlabs, "High Temp Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/jewelry/#high-temp>, 6/6/23.
- [5]. Formlabs, "Rigid 10K Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/rigid>, 6/6/2023.
- [6]. Minh-Nhat Nguyen, Quy-Long Nguyen, Ngoc-Thien Tran, "A Study of The Tensile Strength for The Mixing Ratio of Eva in PA6/EVA Blends", Proceeding of 6th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 2022, page 482-485.
- [7]. Michaela Tayag Espino, Brian Jumaquio Tuazon, Gerald Sanqui Robles, John Ryan Cortez Dizon (2020), "Application of Taguchi Methodology in Evaluating the Rockwell Hardness of SLA 3D Printed Polymers", Material Science Forum, vol.1055, 2020, page 166-173.
- [8]. Muhammad Khan, S. Kamran Afaq, Nizar Ullah Khan, and Saboor Ahmad, "Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design", International Scholarly Research Notices, vol. 2014, 2014, 8 pages.

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP CUNG CẤP CNG ĐẾN TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ CNG ĐƯỢC CHUYỂN ĐỔI TỪ ĐỘNG CƠ PHUN XĂNG ĐIỆN TỬ

THE STUDY OF THE EFFECTS OF CNG SUPPLY METHODS ON TECHNICAL FEATURES AND EMISSION OF CNG ENGINE CONVERTED FROM ELECTRONIC FUEL INJECTION ENGINE

Vũ Quang Huy

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của các phương pháp cung cấp khí thiên nhiên nén CNG đến đặc tính kỹ thuật và phát thải của động cơ CNG được chuyển đổi từ động cơ phun xăng điện tử kiểu INZ-FE do hãng Toyota sản xuất. Kết quả cho thấy, động cơ phun xăng khi chuyển sang sử dụng CNG cấp vào đường nạp (cả khi dùng bộ trộn và khi phun điện tử) và không thay đổi kết cấu cũng như góc đánh lửa sớm thì công suất giảm nhiều nhưng hàm lượng phát thải, suất tiêu hao nhiên liệu được cải thiện đáng kể so với động cơ xăng nguyên thủy.

Sử dụng phương pháp phun CNG điều khiển điện tử thì hàm lượng phát thải CO và HC thấp hơn so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn trong khi phát thải NO_x cao hơn. Tuy nhiên mức chênh lệch hàm lượng phát thải giữa hai phương pháp cấp CNG không nhiều, chỉ từ 5% ÷ 6%.

Từ khóa: Khí thiên nhiên nén (CNG); Động cơ CNG.

ABSTRACT

This article presents the results of simulation research on the effects of CNG compressed natural gas supply methods on the technical characteristics and emissions of CNG engines converted from INZ-FE electronic fuel injection engines manufactured by Toyota. The results show that when the fuel injection engine switches to using CNG supplied to the intake manifold (both when using the mixer and when using electronic injection) and does not change the structure or ignition advance angle, the power is greatly reduced, but emissions and fuel consumption are significantly improved compared to the original gasoline engine.

Using the electronically controlled CNG injection method, CO and HC emissions are lower than those of CNG engines using a mixer, while NO_x emissions are higher. However, the difference in emission content between the two CNG supply methods is not much, only 5% ÷ 6%.

Keywords: Compressed natural gas (CNG); CNG engine.

1. GIỚI THIỆU

Khí thiên nhiên là nhiên liệu thay thế có tiềm năng lớn. Khí thiên nhiên có thành phần chính là methane (70-90%) cộng thêm một số các hydrocacbon và các tạp chất khác. Do đó, sử dụng khí thiên nhiên làm nhiên liệu rất tốt cho động cơ đốt trong đốt cháy cưỡng bức. Khí thiên nhiên có tỷ lệ C/H nhỏ hơn so với xăng và diesel nên phát thải CO và CO₂ thấp hơn. Mặt khác, khí thiên nhiên có giới hạn thành phần hỗn hợp cháy được rộng hơn các loại carburhydro khác nên động cơ cháy tốt hơn và có thể làm việc với hỗn hợp nghèo hơn. Nhiệt độ màng lửa của hỗn hợp thấp nên nồng độ NO_x trong sản phẩm cháy cũng thấp. Nhiên liệu có thể được lưu giữ ở dạng khí thiên nhiên nén (CNG) để cung cấp cho động cơ của các phương tiện vận tải [1, 2]. Bài báo này tập trung vào nghiên cứu làm rõ ảnh hưởng của các phương pháp cung cấp CNG đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ, nghiên cứu được thực hiện trên động cơ 1NZ-FE phun xăng điện tử do Toyota sản xuất.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost trên động cơ Toyota Vios 1NZ-FE sử dụng nhiên liệu xăng truyền thống và nhiên liệu khí thiên nhiên nén (CNG) được cung cấp bằng hai cách: Một là từ một bộ hòa trộn bố trí trên đường nạp và hai là sử dụng hệ thống điều khiển điện tử phun vào đường nạp động cơ [3, 4]. Sau đó công suất, mô men, tiêu thụ nhiên liệu và phát thải của động cơ được so sánh với hai phương pháp trên để đưa ra nhận xét.

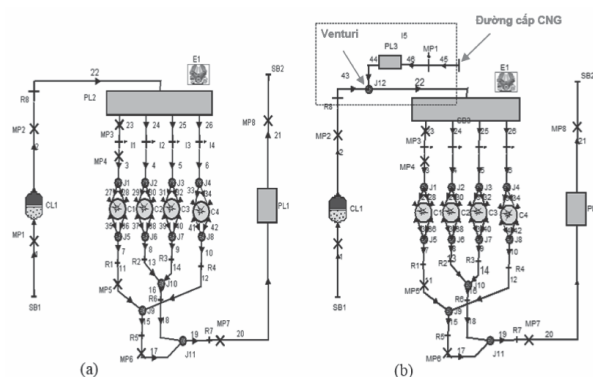
Bảng 1. Thông số cơ bản của động cơ Toyota Vios 1NZ-FE

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Hành trình piston/Đường kính (mm)	S/D	84,7/75
Số xylanh	i	4
Công suất định mức (kW)	N _e	80
Mô men cực đại ở n = 4200 v/ph (Nm)	M _{e max}	140
Số vòng quay định mức (v/ph)	n _{dm}	6000
Tỷ số nén	ε	10,5:1

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng trên AVL-Boost

Dựa vào các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất cũng như các thông số đo đạc trên thực tế, mô hình mô phỏng động cơ được xây dựng như thể hiện trên hình 1 bằng phần mềm chuyên dùng mô phỏng động cơ đốt trong AVL-Boost [3, 4].



(a) Mô hình mô phỏng động cơ phun xăng và phun CNG

(b) Mô hình mô phỏng động cơ cung cấp CNG bằng bộ hòa trộn kiểu ống Venturi

Hình 1. Mô hình động cơ 1NZ-FE trên AVL-Boost

3.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

Bảng 1 thể hiện so sánh kết quả tính toán mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở đường đặc tính ngoài với số liệu thực nghiệm. Đồ thị cho thấy sự sai lệch lớn nhất giữa công suất tính toán và số liệu đo là 7,8% tại tốc độ 4000v/ph và sai lệch trung bình 2,0% trên toàn dải tốc độ của động cơ. Suất tiêu thụ nhiên liệu mô phỏng có sai lệch lớn nhất 2,4% so với thực và sai lệch trung bình 0,1% trên toàn dải tốc độ.

Bảng 1. So sánh kết quả tính toán mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở đường đặc tính ngoài với số liệu thực nghiệm

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
N_e – thực nghiệm (kW)	7.1	12.5	20.0	28.2	35.0	41.1	46.4	53.0	
N_e – mô phỏng (kW)	7.5	12.8	19.1	27.0	36.9	44.4	50.0	52.1	
Sai lệch (%)	5.2	2.5	-4.7	-4.2	5.5	7.9	7.8	-1.7	2.0
g_e – thực nghiệm (kW.h)	362.7	306.3	272.0	254.7	245.6	256.9	279.7	281.0	
g_e – mô phỏng (kW.h)	355.6	300.3	271.8	258.1	251.4	253.9	282.5	285.0	
Sai lệch (%)	-2.0	-2.0	-0.1	1.3	2.4	-1.2	1.0	1.4	0.1

3.3. Đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ 1NZ-FE khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu CNG

Việc nghiên cứu mô phỏng đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ 1NZ-FE khi sử dụng nhiên liệu CNG được thực hiện qua việc so sánh kết quả tính toán mô phỏng các thông số công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải của động cơ khi sử dụng CNG được cung cấp bởi hệ thống phun và bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi so với khi sử dụng xăng.

- Công suất: Bảng 2 so sánh công suất của động cơ ở chế độ toàn tải từ tốc độ 1000v/ph ÷ 4000v/ph khi sử dụng xăng RON 92, CNG phun vào cửa nạp và CNG được cung cấp bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi. Có thể thấy trên toàn dải tốc độ, công suất của động cơ khi sử dụng CNG đều thấp hơn so với khi sử dụng xăng. Trong đó, phương pháp phun CNG cho công suất thấp khoảng 4,8% ÷ 16,3%, trung bình 16,2% so với khi sử dụng xăng trong khi phương pháp sử dụng bộ hòa trộn kiểu ống Venturi cho công suất thấp hơn khoảng 21,1% ÷ 26,7%, trung bình 20,7% so với khi sử dụng xăng.

Bảng 2. So sánh công suất mô phỏng khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (kW)	7.5	12.8	19.1	27.0	36.9	44.4	50.0	52.1	
CNG-trộn (kW)	5.6	9.8	14.9	21.3	27.0	33.4	38.8	41.2	
Chênh lệch (%)	-25.2	-23.3	-21.7	-21.1	-26.7	-24.7	-22.4	-21.0	-20.7
CNG-phun (kW)	4.8	10.7	16.9	23.0	30.8	36.9	41.8	43.2	
Chênh lệch (%)	-35.9	-16.4	-11.3	-14.8	-16.6	-17.0	-16.4	-17.1	-16.2

- Suất tiêu hao nhiên liệu: Trên Bảng 3 so sánh suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở chế độ toàn tải từ tốc độ 1000v/ph ÷ 4500v/ph khi sử dụng xăng RON 92, CNG phun vào cửa nạp và CNG được cung cấp bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi. Đồ thị cho thấy, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ được cải thiện rõ rệt khi sử dụng nhiên liệu CNG so với nhiên

liệu xăng. Mức giảm tiêu hao nhiên liệu trung bình khoảng 7,2% khi sử dụng phun CNG và giảm 3,9% khi sử dụng bộ hòa trộn so với khi sử dụng xăng. Do CNG có nhiệt trị khối lượng cao hơn xăng nên công suất sinh ra tính trên một đơn vị khối lượng nhiên liệu tiêu thụ cao hơn.

Bảng 3. So sánh suất tiêu hao nhiên liệu mô phỏng khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (g/kW.h)	355.6	300.3	271.8	258.1	251.4	253.9	282.5	285.0	
CNG-trộn (g/kW.h)	354	301.0	264.2	244.7	236.3	240.8	258.7	263.0	
Chênh lệch (%)	-0.3	0.2	-2.8	-5.2	-6.0	-5.1	-8.4	-7.7	-3.9
CNG-phun (g/kW.h)	356	295.3	252.3	235.5	228.3	232.86	239.1	242.0	
Chênh lệch (%)	0.3	-1.7	-7.2	-8.7	-9.2	-8.3	-15.3	-15.1	-7.2



- Phát thải CO: Đồ thị trên Bảng 4 cho thấy, hàm lượng phát thải CO của động cơ khi sử dụng CNG giảm trung bình đến 76,2% và 77,4% trên toàn dải tốc độ tương ứng với trộn và phun CNG. Vì nhiên liệu CNG (thành phần chính là CH_4) có tỷ lệ C/H nhỏ hơn so với xăng (thành phần chính gần với C_8H_{18}) với cấu trúc

đơn giản hơn, hỗn hợp cháy đồng nhất hơn và cháy kiệt hơn nên phát thải CO của động cơ khi sử dụng CNG thấp hơn nhiều so với khi sử dụng xăng. Động cơ phun CNG phát thải CO thấp hơn không nhiều so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn, mức chênh lệch trung bình dưới 5%.

Bảng 4. So sánh nồng độ phát thải CO khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	5372.1	5976.2	6729.0	7052.0	7263.6	7356.1	7694.4	7865.0	
CNG-trộn (ppm)	1209.3	872.4	731.9	854.8	854.8	958.1	1072.2	1178.0	
Chênh lệch (%)	-77.5	-85.4	-89.1	-87.9	-88.2	-87.0	-86.1	-85.0	-76.2
CNG-phun (ppm)	1168.4	854.8	675.2	710.1	710.1	801.0	885.2	1184.0	
Chênh lệch (%)	-78.3	-85.7	-90.0	-89.9	-90.2	-89.1	-88.5	-84.9	-77.4

- Phát thải HC: Bảng 5 cho thấy động cơ khi sử dụng CNG có hàm lượng phát thải HC giảm nhiều so với khi sử dụng xăng trên toàn dải tốc độ của động cơ, giảm trung bình đến 81,1% đối với bộ trộn và 81,4% với phun CNG trên toàn dải tốc độ và giảm lớn nhất đến 92,5% ở tốc độ 3000v/ph. Khi sử dụng CNG, phát thải HC giảm mạnh như vậy là do hỗn hợp CNG-không khí đồng nhất hơn so với hỗn hợp xăng-không khí nên cháy kiệt hơn. Thêm nữa,

nhiên liệu CNG có tỷ số C/H nhỏ hơn so với nhiên liệu xăng trong khi phát thải HC cùng được tính quy về hàm lượng C_3H_8 nên hàm lượng phát thải HC của động cơ khi sử dụng CNG sẽ thấp hơn nhiều so với khi sử dụng nhiên liệu xăng. Động cơ phun CNG phát thải HC thấp hơn không đáng kể so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn. Mức chênh lệch lớn nhất khoảng 5%.

Bảng 5. So sánh phát thải HC khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	1295.7	1433.0	1600.6	1805.3	1922.5	1922.5	1901.3	1900.0	
CNG-trộn (ppm)	137.4	137.4	137.4	137.4	144.6	155.5	171.6	170.0	
Chênh lệch (%)	-89.4	-90.4	-91.4	-92.4	-92.5	-91.9	-91.0	-91.1	-81.1
CNG-phun (ppm)	132.2	132.2	132.2	140.8	140.8	148.0	164.8	162.0	
Chênh lệch (%)	-89.8	-90.8	-91.7	-92.2	-92.7	-92.3	-91.3	-91.5	-81.4

- Phát thải NO_x : Bảng 6 cho thấy hàm lượng phát thải NO_x giảm đáng kể khi sử dụng nhiên liệu CNG so với khi sử dụng xăng, mức giảm trung bình trên 50%. Điều này được giải thích do nhiệt độ cháy của CNG thấp hơn xăng,

do đó làm giảm nhiệt độ quá trình cháy dẫn tới phát thải NO_x giảm. Động cơ phun CNG phát thải NO_x cao hơn một chút so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn, mức chênh lệch trung bình khoảng 6%.

Bảng 6. So sánh phát thải NO_x khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	1,802.9	1,891.5	2,282.6	2,980.9	3,759.6	4,272.1	4,346.4	4,457.0	
CNG-trộn (ppm)	520.8	874.7	1,199.8	1,419.0	1,472.4	1,499.7	1,499.7	170.0	
Chênh lệch (%)	-71.1	-53.8	-47.4	-52.4	-60.8	-64.9	-65.5	-96.2	-56.9
CNG-phun (ppm)	606.6	900.9	1,209.8	1,430.2	1,515.9	1,604.3	1,654.7	1,712.0	
Chênh lệch (%)	-66.4	-52.4	-47.0	-52.0	-59.7	-62.4	-61.9	-61.6	-51.5

4. KẾT LUẬN

Động cơ phun xăng khi chuyển sang sử dụng CNG cấp vào đường nạp và không thay đổi kết cấu cũng như góc đánh lửa sớm của động cơ thì công suất giảm nhiều nhưng hàm lượng phát thải được cải thiện đáng kể so với động cơ xăng nguyên thủy. Suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ CNG cũng được cải thiện so với động cơ xăng nguyên thủy.

Động cơ phun CNG có hàm lượng phát thải CO và HC thấp hơn so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn trong khi phát thải NO_x cao hơn. Tuy nhiên, mức chênh lệch hàm lượng phát thải giữa hai phương pháp cấp CNG không nhiều, chỉ từ 5% ÷ 6%. ❖

Ngày nhận bài: 28/10/2023

Ngày phản biện: 10/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. Knapp (1990), *Knowledge of thermodynamic properties for natural gas processing*, Gas Separation & Purification 4 (3), pp 123-136.
- [2]. Mahmood Farzaneh-Gord, Mahdi Deymi-Dashtebayaz, Hamid Reza Rahbari (2011), *Studying effects of storage types on performance of CNG filling stations*, Journal of Natural Gas Science and Engineering 3 (1), pp 334-340.
- [3]. Nguyễn Thành Trung, 2019; *Luận án Tiến sĩ kỹ thuật*, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [4]. AVL GmbH (2001), *Singer cylinder research engine 5402*, Austria.



HỆ THỐNG GIÁM SÁT TỰ ĐỘNG QUY TRÌNH ĐÓNG GÓI THỦ CÔNG

AUTOMATIC MONITORING SYSTEM FOR MANUAL PACKAGING PROCESS

Lê Xuân Thuyên¹, Trần Ngọc Huy²

¹Phòng Thí nghiệm Innovation FabLab, Trường Đại học Bách Khoa,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Bộ môn Điều khiển Tự động, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Đóng gói sản phẩm là một trong những quy trình phổ biến và quan trọng trong sản xuất nhưng lại khó để tự động hóa hoàn toàn trong nhiều ngành sản xuất do những rào cản về mặt tài chính và kỹ thuật. Sự thiếu thốn các cơ chế tự động hóa quy trình đóng gói tạo ra nhiều khó khăn trong việc số hóa quy trình sản xuất do thiếu nguồn dữ liệu giám sát. Nhằm giải quyết vấn đề trên, nghiên cứu này đề xuất xây dựng các hệ thống giám sát các quy trình đóng gói thủ công thay cho việc tự động hóa toàn bộ quy trình. Kết quả thực nghiệm tại một nhà máy ở Việt Nam cho thấy hệ thống được đề xuất có khả năng số hóa được quy trình đóng gói và tạo tiền đề dữ liệu cho các hệ thống số khác.

Từ khóa: Số hóa sản xuất; Đóng gói sản phẩm; IoT; MES.

ABSTRACT

Product packaging is one of the common and important processes in manufacturing but it is difficult to automate completely in many industries due to financial and technical barriers. The lack of automation mechanisms for packaging processes creates many difficulties in manufacturing digitalization due to the lack of reliable and constant data sources. To address this issue, this study proposes to build monitoring systems for manual packaging processes instead of automating the entire process. Experimental results at a factory in Vietnam show that the proposed system can digitalize the packaging process and create data foundations for other digital systems.

Keywords: Manufacturing digitalization; Product packaging; IoT; MES.

1. GIỚI THIỆU

Đóng gói sản phẩm là một quy trình quan trọng trong công nghiệp sản xuất. Quy trình đóng gói sản phẩm giúp bảo vệ sản phẩm khỏi tác động từ môi trường trong quá trình đưa sản phẩm đến tay người dùng cũng như hỗ trợ cho quá trình marketing sản phẩm. Mặc dù các công nghệ sản xuất hiện đại đã cơ giới hóa và tự động hóa nhiều khâu trong quá trình sản xuất hàng hóa, trong nhiều ngành sản xuất, đặc biệt là các ngành sản xuất có sản phẩm không ở dạng chất lỏng hoặc dạng hạt, quy trình đóng gói sản phẩm vẫn chưa đạt được trình độ tự động hóa và cơ giới hóa như nhiều quy trình sản xuất khác. Tình trạng này là do quy trình đóng gói quá phức tạp ở các ngành này, dẫn đến khó có thể đưa ra các giải pháp cơ giới hóa và tự động hóa hiệu quả và có thể sinh lợi về mặt chi phí [1].

Sự thiếu vắng các máy móc hỗ trợ cho quy trình đóng gói sản phẩm không chỉ để lại hậu quả là làm tăng chi phí sản xuất sản phẩm mà còn làm cản trở quá trình hiện đại hóa sản xuất thông qua các công nghệ số [2]. Các công nghệ từ Cuộc Cách mạng Công nghiệp lần thứ 4 đòi hỏi luồng dữ liệu liên tục và đều đặn từ hiện trường sản xuất để xử lý, lưu trữ, hiển thị và đưa ra quyết định [3]. Việc tạo ra luồng dữ liệu này sẽ dễ dàng hơn rất nhiều trên các quy trình sản xuất tự động nhờ cơ chế giao tiếp máy-máy thay vì người-máy. Tuy nhiên, ngay cả điều này cũng không tạo đủ động lực để các chủ doanh nghiệp đầu tư vào các quy trình đóng gói tự động, đặc biệt đối với các sản phẩm phức tạp và doanh nghiệp vừa và nhỏ.

Để giải quyết vấn đề tạo nền tảng dữ liệu cho các công nghệ số, nghiên cứu này đề xuất phương pháp tự động hóa khâu giám sát và thu thập dữ liệu các quy trình đóng gói thủ công,

thay vì tự động hóa cả quy trình để giảm thiểu chi phí và rủi ro cho các nhà máy sản xuất sẵn sàng xây dựng quy trình tự động hóa hoàn chỉnh.

Để hệ thống sát với thực tế, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát quy trình đóng gói thủ công tại một nhà máy sản xuất phụ kiện vệ sinh nhựa tại Việt Nam với quy trình đóng gói điển hình cho các quy trình đóng gói khó thực hiện tự động hóa: kích cỡ các thành phần không đồng đều, đa dạng về chủng loại (nhựa, giấy, bao bì,...). Qua khảo sát, nhóm nghiên cứu nhận thấy quy trình đóng gói tại nhà máy gặp phải những vấn đề sau đây:

- Thiếu cơ chế kiểm soát sai sót trong quá trình đóng gói, dẫn đến tình trạng đóng gói thừa, thiếu hoặc sai linh kiện.

- Việc thu thập dữ liệu được thực hiện thủ công vào cuối ca, dẫn đến dễ sai sót hoặc gian lận.

- Tiến độ thực hiện không được giám sát liên tục.

- Thiếu nguồn dữ liệu để tích hợp các công nghệ số hóa quy trình quản lý nhà máy.

- Nhà máy có quy tắc phân công công việc trong một ca cho các công nhân, tuy nhiên quá trình này được thực hiện bằng tay dẫn đến dễ sai sót, mất thời gian và không tối ưu.

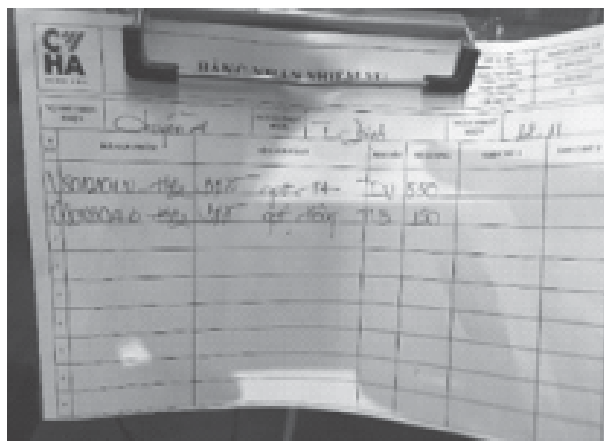
Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sẽ xây dựng một hệ thống giúp giải quyết các vấn đề kể trên. Trong mục 2, nghiên cứu này sẽ đi sâu vào phân tích quy trình đóng gói thủ công tại nhà máy nêu trên và phương án giải quyết vấn đề, mục 3 sẽ đi sâu vào phương án xây dựng hệ thống và mục 4 mô tả kết quả đạt được.



2. QUY TRÌNH VÀ PHƯƠNG ÁN

Nhà máy được khảo sát là một nhà máy có quy trình sản xuất tiêu biểu cho kiểu job-shop với các sản phẩm được sản xuất thông qua nhiều khâu khác nhau. Sau mỗi khâu, sản phẩm sẽ được nhập kho để chờ xuất ra cho khâu tiếp theo. Danh sách các chi tiết cần đóng gói có sự đa dạng nhất định về hình dạng, kích thước, trọng lượng, do đó rất khó để tự động hóa quy trình đóng gói mà không cần nhiều chi phí.

Quy trình đóng gói được thực hiện theo ca. Mỗi ca, mỗi người công nhân sẽ nhận được phân công định mức riêng cho ca làm việc. Việc phân công này sẽ được thực hiện theo quy tắc của nhà máy và kinh nghiệm của người quản lý quy trình. Công nhân thực hiện đóng gói các sản phẩm một cách tuần tự, hết loại sản phẩm này đến loại sản phẩm khác. Cuối mỗi ca, kết quả làm việc sẽ được thu thập lại. Dữ liệu này sẽ được dùng để quản lý tiến độ sản xuất và tính lương cho công nhân.



Hình 1. Bảng nhận nhiệm vụ đóng gói của từng công nhân

Theo quy tắc của nhà máy, công việc của mỗi công nhân sẽ được dựa trên độ thành thực của công nhân và số loại sản phẩm cần đóng gói trong ca. Các công nhân chưa thành

thực (được tính năng suất thấp hơn năng suất tiêu chuẩn) sẽ chỉ được giao một loại sản phẩm với độ phức tạp thấp để tập làm quen với công việc. Các phần công việc lẻ (có quy đổi thấp hơn năng suất 1 ngày của công nhân) sẽ được phân công cho các công nhân giàu kinh nghiệm hơn.

Để giải quyết các vấn đề nêu ở mục trên, hệ thống giám sát quy trình đóng gói tự động đề xuất cần thực hiện các nhiệm vụ:

- Số hóa được quy trình đóng gói tại nhà máy từ lúc nhận chỉ tiêu sản xuất cho toàn ca đến khi tạo các báo cáo sản xuất liên quan;
- Cung cấp cho người quản lý giao diện giám sát toàn bộ quy trình với nhiều trạm;
- Tương tác được với công nhân để hiển thị tiến độ và báo lỗi các gói hàng đóng gói sai quy cách;
- Cung cấp được dữ liệu cho các hệ thống khác;
- Quá trình phân công công việc được thực hiện tự động theo các quy tắc đã đặt ra của nhà máy.

Để thực hiện nhiệm vụ số hóa, giám sát và thu thập được dữ liệu, hệ thống sẽ cần ứng dụng giao diện và máy chủ để xử lý và lưu trữ dữ liệu. Để cung cấp dữ liệu cho giao diện này và tương tác với công nhân, mỗi trạm đóng gói sẽ được trang bị các thiết bị để hiển thị các thông tin cần thiết cho công nhân, cụ thể:

- Số lượng sản phẩm (Đạt chuẩn, Lỗi);
- Thông tin (ID) mã hàng đang đóng gói;

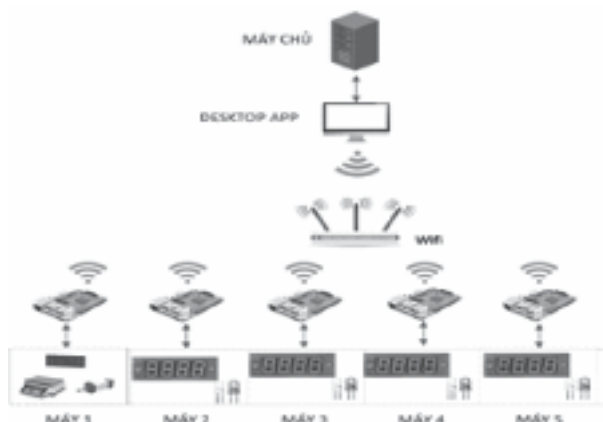
– Dấu hiệu xác nhận có chi tiết bị thiếu trong gói hàng để công nhân nhận diện và bổ sung.

Về vấn đề nhận diện sai sót và kiểm soát chất lượng, do các chi tiết trong quy trình đều khác nhau về khối lượng, hệ thống cân và thanh gạt sẽ được sử dụng để nhận biết và phân loại sản phẩm để công nhân có thể thực hiện đóng gói lại khi cần.

3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG KIỂM SOÁT QUY TRÌNH ĐÓNG GÓI TỰ ĐỘNG

3.1. Cấu trúc hệ thống

a) Tổng quan hệ thống



Hình 2. Sơ đồ hệ thống kiểm soát và giả lập đóng gói tự động

Dựa vào phương án thực hiện ở phần trên, hệ thống sẽ gồm các thành phần sau:

- Ứng dụng máy tính: Được thiết kế để giám sát toàn bộ quy trình sản xuất của hàng hóa, trong phạm vi bài báo này là quy trình đóng gói tự động, nhờ đó giảm thiểu được khâu ghi giấy tờ. Ngoài ra, phần mềm còn cung cấp giao diện thân thiện với người dùng là quản lý, trưởng ca. Các chức năng chính của phần mềm quản lý đóng gói:

- Nhập, chỉnh sửa, xóa thông tin của các đơn hàng đã thực hiện;

- Đọc thông tin đơn hàng định dạng file Excel lên phần mềm, cung cấp các thông tin và cho phép người sử dụng chọn, chỉnh sửa các rõ đề xuất kho;

- Giám sát tiến trình làm việc của công nhân thông qua bộ dữ liệu gửi từ các máy đóng gói lên máy chủ;

- Giao tiếp với máy chủ để lưu trữ lâu dài dữ liệu và truy xuất dữ liệu theo yêu cầu;

- Hiển thị thông báo khi có lỗi xảy ra hoặc khi thực hiện thao tác thành công.

- Máy chủ (Server): Lưu trữ và xử lý dữ liệu sản xuất vào database. Dữ liệu này có thể được truy xuất thông qua REST API trên ứng dụng máy tính để tạo báo cáo. Ngoài ra, REST API có thể được dùng để tận dụng nguồn dữ liệu liên quan đến các ca sản xuất trước nhằm mở rộng hệ thống nhờ vào tính thông dụng cao của nó [4].

- Raspberry Pi: Giao tiếp với máy chủ để nhận đơn hàng đóng gói gửi xuống từ máy chủ, xử lý gói tin đã gửi cũng như truyền dữ liệu làm việc hiện tại lên máy chủ (Mã máy, Thời gian truyền/nhận, Số lượng đơn hàng, Số lượng sản phẩm, Mã sản phẩm, Tên sản phẩm, Chi phí vật tư, Khối lượng chuẩn sản phẩm, Chuẩn đóng gói, Số lượng sản phẩm đạt chuẩn và không đạt chuẩn, Thời gian làm việc, Thời gian vận hành).

- Hệ thống phần cứng: Như trong phạm vi bài báo này, 1 hệ sử dụng 2 tay gạt xy lanh đường kính $\Phi 32$, hành trình 300mm, áp suất khí 0.1-1MPa kèm cân điện tử với ba mức chia

0.2g, 0.1g và 0.05g sử dụng nguồn 220VAC ($\pm 10\%$) được sử dụng để phân loại sản phẩm. Bộ LED 7 đoạn sử dụng nguồn 12VDC dùng để hiển thị tiến độ làm việc (số sản phẩm đạt chuẩn), chế độ làm việc (bình thường, tạm dừng – STOP, mã sản phẩm hiện tại) và báo thiếu hoặc dư chi tiết trong gói sản phẩm (nếu có), ngoài ra bộ LED còn hiển thị trạng thái kết nối giữa hệ thống đóng gói và máy chủ. Bộ ba nút nhấn gồm ba màu xanh, vàng, đỏ theo thứ tự từ trên xuống biểu thị ba chức năng: Xác nhận/Tiếp tục, Hiển thị ID đơn hàng hiện tại, Tạm dừng (STOP) và đèn báo biểu thị trạng thái của đơn hàng.

- Giao thức truyền nhận: MQTT – Giao thức truyền nhận dữ liệu/tin nhắn theo mô hình publish/subscribe, được sử dụng cho các thiết bị IoT với băng thông thấp, độ tin cậy cao và khả năng được sử dụng trong mạng lưới không ổn định [5]. Trong hệ thống này, giao thức MQTT giúp luân chuyển dữ liệu giữa ứng dụng máy tính, máy chủ và các gateway Raspberry thông qua mạng không dây. Đồng thời, MQTT cũng cung cấp khả năng mở rộng hệ thống thông qua nguồn dữ liệu giám sát có tính mở từ các gateway phát ra theo thời gian thực.

b) Lập trình

Về tổng thể, chương trình kiểm soát quy trình đóng gói sản phẩm hoạt động theo nguyên lý như hình 3.

Trình tự các bước xử lý gói tin (đơn hàng) và phân loại sản phẩm như sau:

- Bước 1: Kích cò giữ đến khi có gói hàng đặt lên cân.

- Bước 2: Nếu khối lượng cân trả về lớn hơn 0.05kg và xác lập trong vòng 2s, tiến hành

so sánh khối lượng gói hàng đặt lên cân và khối lượng chuẩn của gói hàng.

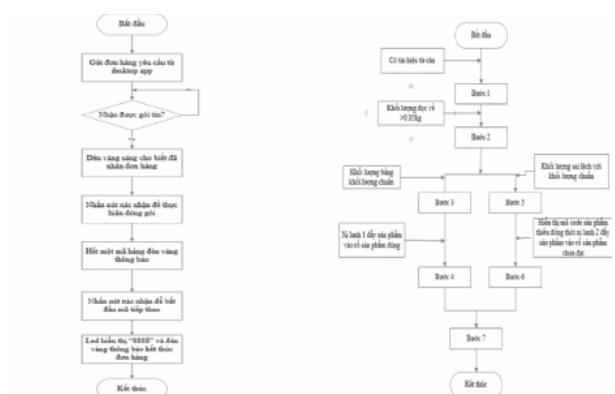
- Bước 3: Nếu khối lượng đúng như khối lượng chuẩn (sai số không quá 5 gram), xy lanh 1 sẽ được kích lên thông qua GPIO nối với van điện từ 5/2, tiến hành đẩy sản phẩm đạt chuẩn vào rổ.

- Bước 4: Tăng số lượng sản phẩm đạt chuẩn lên 1, hiển thị giá trị đó lên LED 7 đoạn và truyền dữ liệu lên server.

- Bước 5: Nếu khối lượng không đúng như khối lượng chuẩn (sai số vượt quá 5 gram), xy lanh 2 sẽ được kích lên thông qua GPIO nối với van điện từ 5/2, tiến hành đẩy sản phẩm không đạt chuẩn vào rổ.

- Bước 6: Tăng số lượng sản phẩm không đạt chuẩn lên 1, hiển thị mã báo thiếu hoặc thừa chi tiết trong gói hàng và truyền dữ liệu lên server.

- Bước 7: Đọc giá trị khối lượng hiện thời trên cân để xác định xem sản phẩm đã được đẩy đi chưa và reset cò. Nếu khối lượng hiện thời vẫn còn lớn hơn 0.05kg tức là có lỗi xy lanh xảy ra.

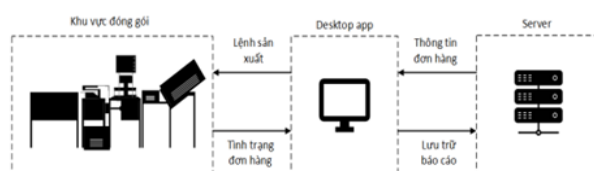


Hình 3. Sơ đồ chương trình kiểm soát quy trình đóng gói

Để giải quyết vấn đề phân việc tự động, hệ thống sẽ quy đổi số lượng sản phẩm cần đóng gói trong ca thành ngày công sản xuất và chia thành các gói công việc dựa trên loại sản phẩm và năng suất công nhân. Sau đó, hệ thống sẽ phân công công việc cho các công nhân có độ thành thực thấp trước dựa trên công suất của công nhân và độ phức tạp của của sản phẩm đã được lưu sẵn trên hệ thống. Sau đó, các gói công việc lẻ (có quy đổi ngày công bé hơn 1) sẽ được phân cho các công nhân có kinh nghiệm. Các gói công việc còn lại sẽ được chia cho các công nhân khác.

c) Kết nối dữ liệu

Khi bắt đầu ca làm việc, người quản lý quy trình nhận về thông tin đơn hàng từ các phòng ban khác trên hệ thống. Thông tin đơn hàng này sẽ được nhập vào phần mềm để tính ra lượng sản phẩm được phân công cho từng công nhân. Thông tin này sẽ được gửi trực tiếp đến hệ thống hiển thị tại các trạm đóng gói cho từng công nhân có thể nắm được công việc cần thực hiện. Xuyên suốt quá trình đóng gói, toàn bộ dữ liệu sẽ được cập nhật liên tục về giao diện giám sát để người quản lý có thể nắm được tiến độ. Cuối ca, dữ liệu này sẽ được chỉnh sửa lại lần cuối trước khi được lưu trữ lâu dài trên máy chủ và trích xuất để tạo các báo cáo cần thiết.



Hình 4. Sơ đồ truyền nhận giữa các khối (Máy chủ – Ứng dụng máy tính – Máy đóng gói)

Các chuỗi và broker giao tiếp giữa ứng dụng máy tính và máy đóng gói được quy ước như bảng sau:

Tên topic	Mục đích
PS/DG1 / ValueMessage	Raspberry Publish dữ liệu về tình trạng đóng gói
PS/DG1 / MachineStatus	Raspberry Publish dữ liệu về trạng thái của máy
PS/DG1/LWT	Topic LWT khi Raspberry kết nối đến broker, khi Raspberry mất kết nối, broker sẽ tự gửi tin nhắn mất kết nối vào topic này
PS/DG1 /ConfigMess	Ứng dụng máy tính gửi tin nhắn config về thông tin đơn hàng cần thực hiện
PS/DG1 /ErrorMessage	Raspberry Publish cảnh báo lỗi máy lên máy chủ

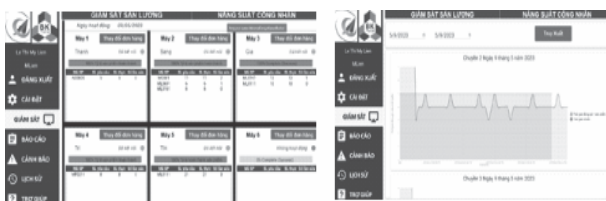
4. KẾT QUẢ

Toàn bộ hệ thống kiểm soát quy trình đóng gói tự động hoạt động liên tục và chính xác trong thời gian dài.



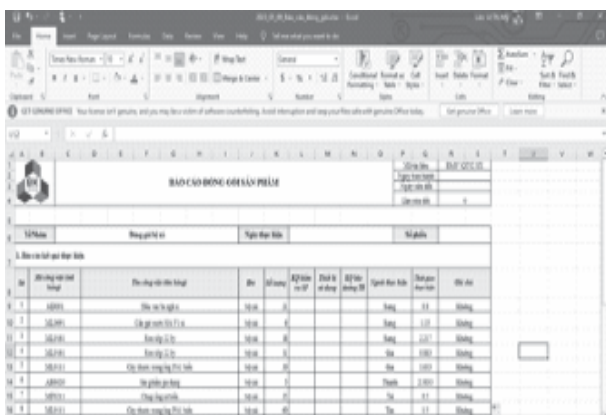
Hình 5. Trạm đóng gói sau khi được trang bị hệ thống giám sát

Phần mềm có thể tự động phân công công việc cho các trạm đóng gói dựa trên các quy tắc và dữ liệu đầu vào nhà máy đã định trước. Toàn bộ quá trình đóng gói sẽ được giám sát liên tục trên giao diện phần mềm thông qua các bảng tiến độ và biểu đồ. Biểu đồ tiến độ của công nhân đóng gói cho phép người trưởng ca có thể theo dõi và can thiệp nếu công nhân làm chậm so với tiến độ đóng gói (Hình 6).



Hình 6. Giao diện phần mềm quản lý hệ thống

Sau khi hoàn thành ca làm việc, toàn bộ dữ liệu thu thập được trong ca có thể được dùng để tạo các báo cáo và lưu trữ trên máy chủ.



Hình 7. Báo cáo cuối ca được tạo tự động

Ngoài việc số hóa quy trình đóng gói, hệ thống còn cung cấp khả năng mở rộng thông qua REST API đối với các dữ liệu báo cáo cuối ca và giao thức MQTT với các dữ liệu giám sát theo thời gian thực. Các dữ liệu này có thể được các bên thứ ba truy cập nhằm cải thiện hoặc tích hợp hệ thống vào những hệ thống số hóa cao hơn như hệ thống MES.

5. KẾT LUẬN

Nhằm giải quyết vấn đề tạo nền tảng thông tin cho quy trình đóng gói thủ công, cải thiện khả năng quản lý và giám sát sản xuất, nghiên cứu này đề xuất việc xây dựng một hệ thống giám sát các quy trình đóng gói thủ công một cách tự động mà thông qua việc tự động hóa và cơ giới hóa quy trình.

Hệ thống được đề xuất được dựa trên quy trình đóng gói thủ công điển hình tại một nhà máy ở Việt Nam, bao gồm các máy tính nhúng và ngoại vi cần thiết thu thập dữ liệu tại các trạm đóng gói, giao diện máy tính giám sát quy trình và máy chủ lưu trữ và quản lý dữ liệu báo cáo. Sau khi được xây dựng và ứng dụng thực tế, hệ thống được đề xuất có thể vận hành ổn định, thu thập được dữ liệu từ các quy trình đóng gói cũng như cung cấp các công cụ giúp người dùng số hóa một số hoạt động liên quan như lưu trữ và xuất các loại báo cáo.

Hệ thống còn cung cấp khả năng mở rộng thông qua việc sử dụng kênh truyền thông dữ liệu theo thời gian thực MQTT và REST API để truy cập dữ liệu sản xuất trong quá khứ. Tính điển hình của hệ thống cũng cho phép việc xây dựng các hệ thống tương tự trên các quy trình đóng gói thủ công không quá đặc biệt trong trường hợp các doanh nghiệp sản xuất không thể, hoặc chưa muốn đầu tư vào các hệ thống tự động toàn phần cho quy trình đóng gói.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm Chế tạo Sản phẩm mẫu (Innovation FabLab), Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM và Công ty Nhựa C.H.A. đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **30/10/2023**

Ngày phản biện: **18/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. R. C. Griffin, S. Sacharow, A. L. Brody, R. C. Griffin, S. Sacharow, and A. L. Brody, “*The Packaging Process: A Segment of Manufacturing Operations*”. In *Principles of Package Development*, Dordrecht: Springer Netherlands, 1985, pp. 168–204. doi: https://doi.org/10.1007/9789401173827_6.
- [2]. F. Doyle and J. Cosgrove, “*Steps towards digitization of manufacturing in an SME environment*”. *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 540–547, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.068>.
- [3]. M. C. Genest and S. Gamache, “*Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs*”. *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 1215–1220, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.170>.
- [4]. Amid Golmohammadi, M. Zhang, and A. Arcuri, “*Testing RESTful APIs: A Survey*”. arXiv (Cornell University), Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2212.14604>.
- [5]. MQTT Version 5.0 Specification. OASIS Standard, 2019. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>.



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ TỚI NĂNG SUẤT MÁY PHÁ ĐỔNG DẠNG GẦU

RESEARCH ON INFLUENCES OF SOME PARAMETERS ON RECLAIMING CAPACITY OF TYPE BUCKET WHEEL RECLAIMERS

ThS. **Phạm Văn Hùng**, ThS. **Đoàn Văn Minh**

Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Hiện nay ở Việt Nam, các nhà máy nhiệt điện than, nhà máy xi măng,... đều sử dụng vật liệu dạng rời (như than, đá, đất sét,...) được chứa trong kho làm nhiên liệu đốt cho lò hơi/hoặc làm nguyên liệu để sản xuất xi măng/hoặc dây chuyền sản xuất khác. Thiết bị phá đồng dạng bánh xe gầu xúc được sử dụng khá phổ biến trong dây chuyền công nghệ để lấy vật liệu tại kho chứa cấp vào các thiết bị khác để vận chuyển tới nơi tiêu thụ theo yêu cầu. Năng suất phá đồng được tính toán đáp ứng đủ yêu cầu tiêu thụ nguyên liệu của dây chuyền công nghệ sản xuất. Bài báo trình bày sự ảnh hưởng của một số thông số tới năng suất thực tế của quá trình phá đồng bằng máy phá đồng dạng bánh xe gầu xúc.

Từ khóa: Máy phá đồng; Bánh xe gầu; Năng suất.

ABSTRACT

Currently in Vietnam, coal-fired power plants, cement plants, etc. use bulk materials (such as coal, limestone, clay,...) stored in storages as fuel for boiler/or as raw material for cement production/or other production line. The bucket wheel reclaiming machine is used quite commonly in the technological line to take bulk materials at the stockpiled storage and feed them to other equipment for transportation to the required consumption place. The reclaiming capacity is calculated to meet the raw material consumption requirements of the technological production line. This paper presents the influence of some parameters on the actual reclaiming capacity of bucket wheel reclaimers.

Keywords: Reclaiming machine; Bucket wheel; Capacity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

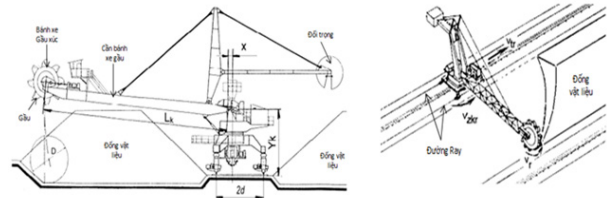
Xử lý và chuyển tải các vật liệu rắn rời trong kho chứa đóng một vai trò quan trọng trong dây chuyền công nghệ sản xuất của nhà máy/dự án. Chi phí của các hoạt động này có tác động đáng kể tới hoạt động của các công đoạn sau và ảnh hưởng trực tiếp tới giá của sản phẩm cuối cùng. Do đó, hệ thống xử lý nguyên vật liệu này phải hoạt động hiệu quả, đáng tin cậy, với chi phí thấp nhất. Điều này đòi hỏi các máy xếp đóng và dỡ đóng hoạt động hiệu quả hay năng suất phá đóng phải đáp ứng yêu cầu cho các công đoạn tiếp sau.

Các thiết bị được sử dụng để xử lý nguyên liệu thô (rút liệu) trong kho được gọi là máy phá đóng độc lập hoặc máy liên hợp (có cả chức năng đánh đóng và phá đóng). Máy phá đóng được sử dụng khá phổ biến tại các nhà máy nhiệt điện than, nhà máy xi măng,... với kho chứa nguyên liệu dạng kho dài là các máy phá đóng độc lập/liên hợp dạng bánh xe gầu di chuyển trên đường ray dọc theo chiều dài kho chứa.

Phạm vi giới hạn của bài báo chỉ phân tích ảnh hưởng của một số thông số như V – Thể tích vật liệu lấy được khi hoạt động phá đóng, t_k – Thời gian đào, t_m – Thời gian hoạt động tới năng suất thực tế (hoạt động phá đóng) của thiết bị phá đóng dạng bánh xe gầu trong hệ thống xử lý nguyên liệu rắn, rời trong các dây chuyền sản xuất hiện nay.

2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY PHÁ ĐÓNG BÁNH XE GẦU

Sơ lược cấu tạo và hoạt động của máy phá đóng dạng bánh xe gầu được mô tả tại hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy phá đóng dạng bánh xe gầu

(L_k – Chiều dài cần bánh xe gầu; Y_k – Chiều cao cần tại tâm quay của máy;

X – Khoảng cách giữa tâm quay và cần; $2d$ – Khoảng cách 2 ray; D – Đường kính bánh xe gầu)

Máy phá đóng gồm có các bộ phận chính:

- Bánh xe gầu xúc với bộ truyền động;
- Cần bánh xe gầu với băng tải trên cần;
- Bộ phận quay cần bánh xe;
- Bộ phận di chuyển máy trên ray;
- Khung máy và cần đối trọng;
- Hệ thống điện và điều khiển.

Trong quá trình phá đóng, gầu xúc của các máy chuyển động tuân theo một quỹ đạo 3D được xác định bởi một sự kết hợp của các chuyển động cơ bản, gồm:

- Chuyển động quay của gầu quanh trục của chính với vận tốc, v_r ;
- Chuyển động quay ngang của cần xoay quanh trục trung tâm của máy với tốc độ, v_{zkr} ;
- Di chuyển của máy trên ray song song với đồng vật liệu với vận tốc, v_{tr} ;
- Chuyển động nâng/hạ (lên/xuống) của cần bánh xe để dỡ tải hết chiều cao của đồng.

Như vậy, với các chuyển động của máy như trên, vật liệu tại đồng trong kho được gầu mức độ vào băng tải lắp trên cần và chuyển tới các thiết bị công nghệ khác theo yêu cầu. Thông thường, có 04 phương pháp phá đồng được sử dụng (tùy theo đơn vị sử dụng) và đồng vật liệu trong kho được dỡ hết (theo chiều rộng và chiều dài). Quá trình hoạt động phá đồng được lặp lại như ban đầu.

3. MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI NĂNG SUẤT CỦA MÁY PHÁ ĐỒNG

3.1. Năng suất phá đồng

Năng suất phá đồng lý thuyết được tính như sau [2], [3]:

$$Q_t = V_t \cdot \gamma = 60 \cdot V_g \cdot z \cdot \psi \cdot n_i \cdot \gamma \quad (1)$$

Trong đó:

- Q_t : Năng suất tính toán lý thuyết (tấn/h);
- V_g : Dung tích một gầu (m^3);
- z : Số lượng gầu trong bánh xe gầu;
- ψ : Hệ số điền đầy gầu xúc;
- n_i : Số vòng quay bánh gầu (v/p);
- γ : Trọng lượng riêng của vật liệu (tấn/ m^3).

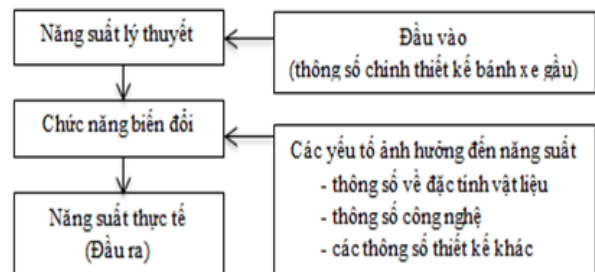
Tuy nhiên, giá trị trên không phải là giá trị thực có thể được mong đợi. Do đó, khi sử dụng nên biết năng suất thực tế của máy để lập kế hoạch sản xuất phù hợp. Năng suất thực tế của một hoạt động phá đồng bị ảnh hưởng của hầu hết các yếu tố quan trọng, như:

- Thông số thiết kế của máy;

- Các yếu tố cơ lý (đặc tính của vật liệu rời);

- Các thông số công nghệ (hình dạng khối, phương thức hoạt động).

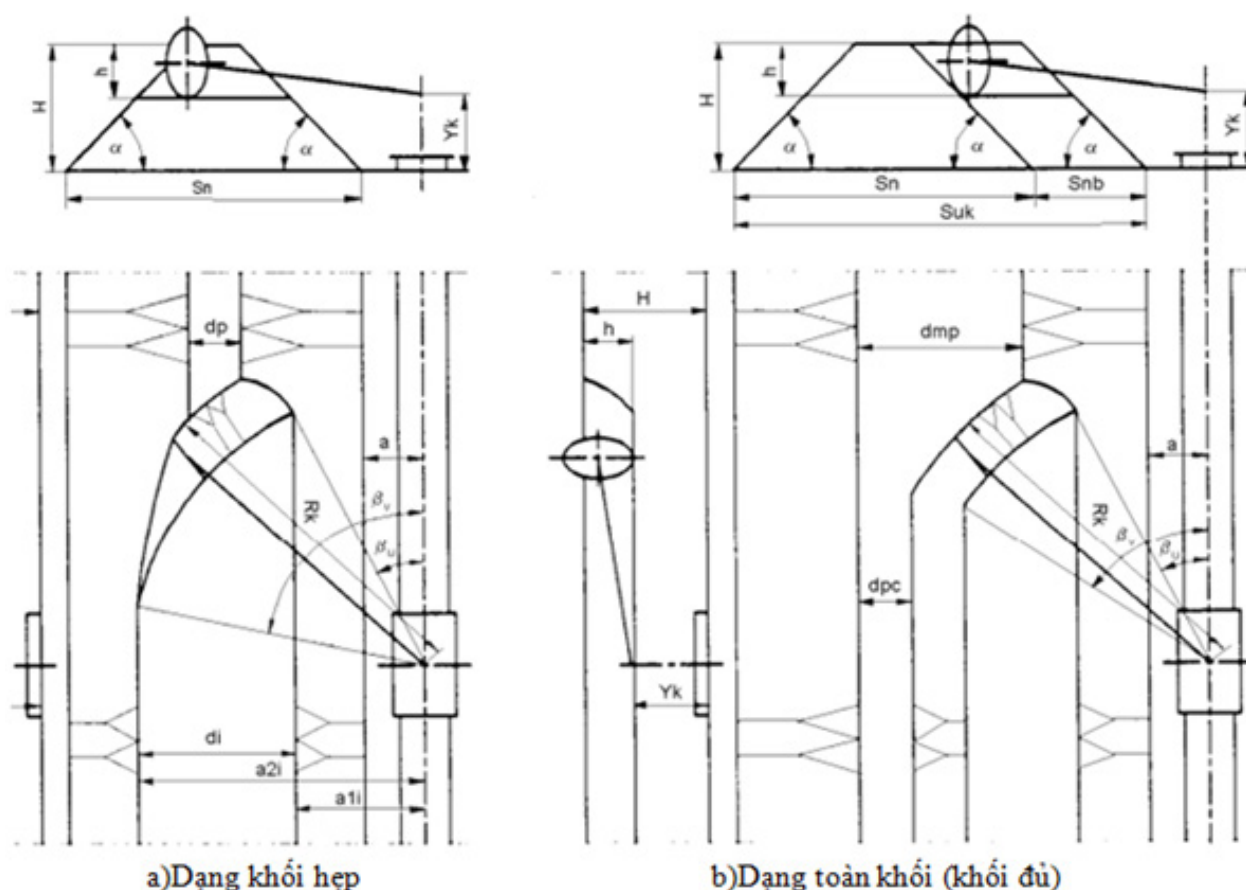
Các yếu tố và ảnh hưởng tới năng suất phá đồng có thể được mô tả trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quan hệ sự ảnh hưởng các yếu tố đến năng suất phá đồng

Đây là một vấn đề quan trọng, vì việc đánh giá không chính xác các thông số thiết kế của máy phá đồng ở giai đoạn chọn trước có thể gây ra hậu quả tiêu cực (và tốn kém) cho người sử dụng. Năng suất quá mức (dư thừa) không mong muốn thường liên quan đến vốn và chi phí vận hành cao hơn, trong khi nếu không đủ năng suất có thể gây nguy hiểm cho hiệu quả hoạt động của toàn bộ hệ thống xử lý vật liệu rời và các công đoạn tiếp sau. Việc đánh giá chính xác năng suất phá đồng trở thành một trong những điểm quan trọng của quá trình thiết kế, lựa chọn và vận hành thiết bị.

Năng suất phá đồng phụ thuộc vào hình dạng kho dự trữ, thời gian đào thay đổi theo dạng khối (hẹp hoặc đầy), trong khi thời gian hoạt động của máy phụ thuộc vào chế độ khai thác. Mối quan hệ giữa các kích thước tuyến tính của máy và kích thước hình học của đồng (khối) khi hoạt động phá đồng được mô tả tại hình 3.



a) Dạng khối hẹp

b) Dạng toàn khối (khối đủ)

Hình 3. Hình vẽ mối liên hệ các thông số của khối vật liệu khi hoạt động phá vỡ:

H - Chiều cao đồng vật liệu; h - Chiều cao của lớp vật liệu khi phá vỡ; Y_k - Chiều cao cần tại tâm quay máy; α - Góc đồng vật liệu; S_n - Chiều rộng đồng; S_{nb} - Chiều rộng khối đồng (khối đầy); S_{uk} - Tổng chiều rộng khối đồng; R_k - Khoảng cách cần tiếp cận khi phá vỡ; β_v - Góc quay cần phía xa đồng; β_u - Góc quay cần phía gần đồng; a - Khoảng cách giữa trục di chuyển của máy và chân đồng; d_i - Chiều rộng đồng tại lớp phá vỡ thứ i ; a_{i1} - Khoảng cách giữa trục di chuyển và mép gần lớp đồng i ; a_{i2} - Khoảng cách giữa trục di chuyển và mép xa lớp đồng i ; d_p - Chiều rộng mặt phẳng đỉnh đồng; d_{mp} - Chiều rộng mặt đỉnh đồng (khối đầy); d_{pc} - Chiều rộng mặt đỉnh đồng chưa phá vỡ.

3.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến năng suất phá vỡ

Năng suất thực tế khi máy hoạt động phá vỡ phụ thuộc vào thiết kế thiết bị, các thông số công nghệ, cũng như các đặc tính cơ lý và đặc điểm của vật liệu chất vỡ.

Năng suất phá vỡ thực tế được xác định như sau [4], [5]:

$$Q_{\text{eff}} = \frac{V}{t_k + t_m} \quad (2)$$

Trong đó:

- Q_{eff} : Năng suất thực tế (m^3/h);
- V : Thể tích (khối lượng) phá vỡ (m^3);
- t_k : Thời gian đào (h);
- t_m : Thời gian hoạt động của máy khi phá vỡ (h).



Từ công thức (2), ta nhận thấy sự ảnh hưởng của các thành phần tới năng suất khi hoạt động phá đông:

- Thể tích vật liệu lấy được khi hoạt động phá đông (V): Khối lượng thu hồi trong một lần đào tương ứng với thể tích được đào bởi bánh xe gầu trong một chu kỳ quay vòng – từ bên trong (gần) đến bên ngoài (xa) của đồng vật liệu và được xác định (xem hình 3a, 3b):

+ Với khối hẹp:

$$V_{z(i)} = \frac{R_{xi} \cdot h_i \cdot c_{\beta i} \cdot [\sin \beta_{vi} + \sin \beta_{2i} - (\sin \beta_{ui} + \sin \beta_{li})]}{2 \cdot \cos \beta_{li}} \quad (3)$$

+ Với khối đầy:

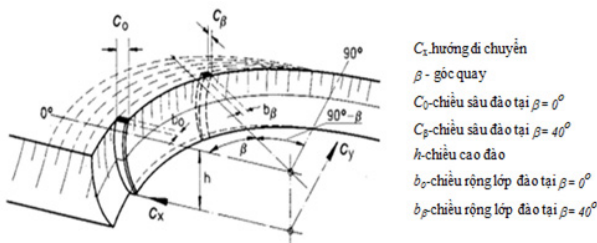
$$V_{z(i)} = \frac{R_{xi} \cdot h_i \cdot c_{\beta i} \cdot [\sin \beta_{vi} - 0.5 \cdot (\sin \beta_{ui} + \sin \beta_{li})]}{\cos \beta_{li}} \quad (4)$$

- Thời gian đào (t_k): Tổng thời gian đào là tổng thời gian đào của từng phần và được xác định như sau:

$$t_k = \sum t_i \quad (5)$$

Thời gian đào từng phần liên quan đến chuyển động quay vòng của cần bánh xe gầu xúc. Khi hoạt động phá đông theo khối, trong đó chỉ có chiều sâu đào thay đổi với góc quay ngày càng tăng của cần bánh xe gầu. Sự thay đổi này có thể được mô tả bởi quy tắc sau (xem hình 4):

$$c_{\beta} = c_0 \cdot \cos \beta \quad (6)$$



Hình 4. Sơ đồ mối liên hệ giữa chiều sâu đào với sự tăng góc quay cần

Trong quá trình quay vòng, khi chiều cao vết cắt không đổi. Để bù đắp cho sự hụt khối lượng và giữ cho các gầu luôn đầy thì tốc độ quay của bánh xe gầu phải tăng tương ứng và được xác định như sau:

$$v_{k\beta} = \frac{v_{k0}}{\cos \beta} \quad (7)$$

- Thời gian hoạt động của máy khi phá đông (t_m): Thời gian hoạt động t_m là thời gian tính đến các thao tác của một máy nhất định trong quá trình đào. Tùy thuộc vào chế độ phá đông, thời gian này được tính khác nhau. Nó không phụ thuộc vào loại khối (khối hẹp hoặc khối đầy đủ) trong một hoạt động phá đông. Thời gian này được xác định như sau:

$$t_m = t_{tr} + t_{pd} + \sum_{i=1}^n t_{pr(i)} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{od(i)} + \sum_{i=2}^n t_{sp(i)} \quad (8)$$

Trong đó:

- t_{tr} là thời gian dịch chuyển máy, hành động này được thực hiện sau khi nâng cần bánh xe gầu lên lớp đồng cao nhất và máy được định vị để bắt đầu chu kỳ thu hồi trong một mô-đun mới, nó phụ thuộc vào H, h_1, v_{tr} ;

- t_{pd} là thời gian nâng cần phù hợp với khối khi phá đông, nó phụ thuộc vào H, h_1, v_{pd} ;

- t_{pr} là thời gian cho việc di chuyển máy ở độ sâu vết đào để đào một vết cắt mới, nó phụ thuộc vào tốc độ v_{tr} , số lần đào khi phá đông;

- t_{od} là thời gian máy quay trở lại để đào lớp mới trên đồng vật liệu, nó phụ thuộc vào chiều cao đào và tốc độ của máy v_{tr} ;

- t_{sp} là thời gian để hạ cần bánh xe gầu xuống thấp để phá đông lớp vật liệu tiếp theo,

nó phụ thuộc vào H , v_{sp} , kích thước bánh xe gầu.

Vì vậy, khi tính toán năng suất, điều khiển vận hành máy phá đông đáp ứng yêu cầu của từng dự án thì cần thiết phải xem xét và tính toán các thông số ảnh hưởng tới năng suất nêu trên.

4. KẾT LUẬN

Từ phân tích trên có thể rút ra kết luận sau:

- Năng suất phá đông thực tế của máy phá đông dạng bánh xe gầu nhỏ hơn năng suất phá đông tính toán lý thuyết. Năng suất thực tế bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như: Thông số thiết kế của máy, thông số công nghệ (hình dạng khối đông và phương thức hoạt động phá đông), đặc tính cơ lý của vật liệu chất đông (liên quan đến khả năng chống đào, vì thế có ảnh hưởng thêm tới công suất tiêu thụ điện năng của máy);

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số (V , t_m , t_k) trên cũng là cơ sở để tính toán, thiết kế, lựa chọn năng suất của máy phá đông kiểu bánh xe gầu xúc đáp ứng khả năng xử lý

nguyên vật liệu trong kho đông bộ với yêu cầu xử lý vật liệu trong kho của dây chuyền công nghệ sản xuất. ❖

Ngày nhận bài: 12/9/2023

Ngày phản biện: 15/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trương Quốc Thành, Phạm Quang Dũng; *Máy và thiết bị nâng*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2000.
- [2]. Vũ Liêm Chính, Đỗ Xuân Đình, Nguyễn Văn Hùng, Hoa Văn Ngữ, Trương Quốc Thành, Trần Văn Tuấn; *Sổ tay máy xây dựng*, NXB. Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [3]. Phạm Văn Hùng; Báo cáo Đề tài khoa học công nghệ cấp cơ sở “Nghiên cứu, thiết kế máy đánh đông - phá đông liên hợp và máy đánh đông độc lập cho hệ thống cung cấp than nhà máy nhiệt điện đốt than công suất tổ máy 600MW”, Viện Nghiên cứu Cơ khí, 2017.
- [4]. Durst, W. et W. Vogt. *Bucket Wheel Excavator*, Trans Tech Publications, 1988.
- [5]. Dragan Komljenovic, *Mathematical model of functioning and technical selection of bucket wheel reclaimers and stacker/reclaimers*, Laval University, Quebec City, 2002.



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CẤP ĐÔNG CÁ TRA CÓ HỖ TRỢ SÓNG SIÊU ÂM

EXPERIMENTAL RESEARCH ON ULTRASOUND-ASSISTED FREEZING OF STRIPED CATFISH

KS. Nguyễn Trọng Tín, PGS, TS. Nguyễn Thế Bảo
Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm là một công nghệ bảo quản thực phẩm phổ biến và đáng chú ý nhằm bảo tồn các đặc tính cảm quan và giá trị dinh dưỡng. Việc lựa chọn các thông số sóng siêu âm hỗ trợ cho quá trình cấp đông lại không giống nhau cho tất cả các loại vật liệu và phương pháp cấp đông. Bài báo trình bày một số các ảnh hưởng của sóng siêu âm đến thời gian cấp đông, màu sắc và chất lượng dinh dưỡng trong quá trình cấp đông cá tra phi lê.

Từ khóa: Sóng siêu âm; Quá trình cấp đông; Cá tra phi lê; Thay đổi màu sắc; Chất lượng cấp đông.

ABSTRACT

Ultrasound-assisted freezing is a popular and notable food protection technology that preserves organoleptic properties and nutritional values. The selection of ultrasound parameters for the freezing process is not the same for all types of materials and freezing methods. This article presents some effects of ultrasound on freezing time, color change and nutritional quality during the freezing process of striped catfish fillets.

Keywords: Ultrasound; Freezing Process; Striped Catfish Fillet; Color Change; Frozen Quality.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình cấp đông được chia làm ba giai đoạn: giai đoạn đầu tiên là giai đoạn làm lạnh sơ bộ – làm lạnh vật liệu từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ đóng băng. Giai đoạn thứ hai là giai đoạn chuyển pha – kết tinh ẩm trong vật liệu (quá trình chuyển pha từ lỏng sang rắn bằng cách loại bỏ nhiệt ẩn của vật liệu), giai đoạn thứ ba là giai đoạn quá lạnh – quá lạnh vật liệu đến nhiệt độ cuối cùng. Giai đoạn chuyển

pha là giai đoạn quan trọng nhất liên quan đến quá trình kết tinh ẩm trong vật liệu, quyết định đến thời gian cấp đông và chất lượng của vật liệu. Trong giai đoạn này chia làm hai bước: tạo mầm và tăng trưởng tinh thể [1].

Về ảnh hưởng của sóng siêu âm đối với quá trình cấp đông, người ta cho rằng quá trình cấp đông có thể được diễn ra nhanh hơn bởi sự hỗ trợ của sóng siêu âm nhờ quá trình tạo mầm và tăng cường quá trình truyền nhiệt và truyền

chất. Quá trình tạo mầm có hỗ trợ sóng siêu âm gây ra chủ yếu bao gồm hai giai đoạn: tạo mầm sơ cấp và tạo mầm thứ cấp. Giai đoạn tạo mầm sơ cấp được bắt đầu khi nhiệt độ đạt đến nhiệt độ tạo mầm. Trong quá trình tạo mầm thứ cấp, dựa trên các tinh thể băng có sẵn, sự chiếu xạ của sóng siêu âm có thể phá vỡ các đuôi gai của băng tồn tại từ trước thành nhiều mảnh nhỏ hơn, do sự phá vỡ bong bóng và lực cắt bắt nguồn từ dòng chảy vi mô, dẫn đến nhiều vị trí tạo mầm khác nhau được tạo ra. Sự phá vỡ và chuyển động của các bong bóng có thể thay đổi động lực học chất lỏng và tăng hệ số truyền nhiệt và chất. Tuy nhiên, không phải ở cường độ và thời gian phát sóng siêu âm nào cũng tạo ra ảnh hưởng tích cực đến quá trình cấp đông [2]. Do vậy, nếu chọn cường độ sóng siêu âm quá lớn và thời gian phát sóng dài sẽ có ảnh hưởng không có lợi cho quá trình cấp đông do hiệu ứng nhiệt làm tan chảy các tinh thể đá sau đó tinh thể này kết tinh trở lại làm tăng thời gian cấp đông [3]. Mỗi loại vật liệu khác nhau thì ảnh hưởng của cường độ và thời gian phát sóng khác nhau. Do đó, cần có nghiên cứu riêng cho từng loại vật liệu.

Hầu hết các nghiên cứu cấp đông vật liệu có hỗ trợ của sóng siêu âm, vật liệu được nhúng trong chất tải lạnh:

Delgado và cộng sự [4] đã khảo sát ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình đông lạnh ngâm với mẫu cắt tiếp tuyến và cắt xuyên tâm quả táo trong hỗn hợp etylen glycol ($C_2H_6O_2$) và nước (1:1, v/v). Kết quả cho thấy rằng ứng dụng của sóng siêu âm (40 kHz, $0,23 \text{ W/cm}^2$) trong 120 giây giảm đáng kể thời gian cấp đông lên đến 8% so với đông lạnh ngâm không sử dụng siêu âm.

Franco và cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm (40 kHz, 50W)

đến chất lượng của chuỗi trong quá trình làm lạnh. Kết quả cho thấy rằng khả năng cải thiện chống oxy hóa và giữ lại được thành phần phenolic một cách hiệu quả, từ đó duy trì được màu sắc và chất dinh dưỡng tốt hơn. Ngoài ra, công nghệ làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm có khả năng chống được vi khuẩn tốt hơn.

Islam và cộng sự [6] cho thấy rằng giảm hơn 40% thời gian cấp đông được quan sát thấy trong tất cả các mẫu nắm thử nghiệm trong quá trình cấp đông ngâm có hỗ trợ siêu âm (20 kHz, $0,39 \text{ W/cm}^2$) trong một dung dịch chứa 50% ethylene glycol và 50% nước (v/v).

Chow và cộng sự [7] khảo sát quá trình tạo mầm sơ cấp và thứ cấp của băng được nghiên cứu trong dung dịch sacaroza được tạo ra bằng sóng siêu âm. Nhiệt độ tạo mầm có thể đạt được lớn hơn khi so với các điều kiện không có siêu âm. Các quan sát bằng kính hiển vi cho thấy các tinh thể băng trên bề mặt có thể bị phá vỡ thành các mảnh nhỏ hơn bằng sóng siêu âm.

Qiu và cộng sự [8] đã khảo sát sự ảnh hưởng của phương pháp hỗ trợ sóng siêu âm với tần số 25kHz và công suất 150W, 200W và 250W đến chất lượng của cá mè trắng Hoa Nam. Kết quả cho thấy rằng sóng siêu âm ở công suất 250W thúc đẩy quá trình oxy hóa protein, ở công suất 200W thì khả năng giữ nước và ổn định protein là tốt hơn so với các dãy công suất khác.

J. Tu và cộng sự [3] đã nghiên cứu quá trình cấp đông củ sen có hỗ trợ của sóng siêu âm với tần số 30kHz, công suất lần lượt 90, 150 và 210W. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng hỗ trợ sóng siêu âm ở công suất 150W có tốc độ cấp đông nhanh, cải thiện độ cứng và giảm sự mất nước, tăng khả năng bảo vệ vi cấu trúc của củ sen. 

Xin và cộng sự [9] đã chứng minh rằng cấu trúc vi mô và độ cứng của bông cải xanh làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm tốt hơn rõ rệt so với những mẫu làm lạnh bằng phương pháp làm lạnh ngâm truyền thống. Và điều kiện làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm tối ưu thu được khi công suất siêu âm là 150 W, 30 kHz và 175 W, 20kHz.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

Cá tra phi lê tươi được mua tại thành phố Hồ Chí Minh được bảo quản ở nhiệt độ khoảng từ $-1 \div 4^{\circ}\text{C}$ với thời gian chờ đông không được vượt quá 4 giờ. Cá tra phi lê mỗi miếng có khối lượng $250\text{g} \div 5\%$, chiều dày $15\text{mm} \div 5\%$ và khối lượng cá tra phi lê cho mỗi mẻ cấp đông 1000g. Nhiệt độ cá tra phi lê trước khi đưa vào cấp đông từ $10 \div 12^{\circ}\text{C}$.

2.2. Thiết bị thí nghiệm

1) Thiết bị cấp đông: Tủ đông gió hệ thống lạnh 2 cấp.

- Máy nén cấp 1: Model SECOP SC18CL; xuất xứ Trung Quốc.

- Máy nén cấp 2: Model TECUMSEH CAJ2446Z; xuất xứ Malaysia.

- Dàn nóng dải nhiệt gió: Kewely FNF – 1.2/5.4; xuất xứ Trung Quốc.

- Dàn lạnh: Model SUPCOOL DE-0.45/2.5; xuất xứ Trung Quốc.

2) Buồng cấp đông:

Kích thước: 800 x 600 x 500 (mm).

3) Bộ phát sóng siêu âm:

Model CDEXIM0620: tần số phát sóng 20kHz; xuất xứ Trung Quốc.

2.3. Thiết bị đo lường

2.3.1. Đo nhiệt độ

Nhiệt độ tâm vật liệu được đo bằng thiết bị Fox 1004 (-40 đến $90^{\circ}\text{C} \div 0,1^{\circ}\text{C}$), xuất xứ Hàn Quốc.

2.3.2. Cân khối lượng

Khối lượng vật liệu được cân bằng thiết bị cân điện tử Super SS với sai số $\pm 5\text{g}$, xuất xứ Đài Loan.

2.3.3. Đo màu sắc

Các thông số đặc trưng của màu sắc L^* (light/dark), a^* (red/green), b^* (yellow/blue) được đo bằng máy đo màu CHN SPEC CS-10 (Model: CS-10, xuất xứ Trung Quốc). Chỉ số màu WI (White Index) được tính theo ba thông số trên bằng công thức sau [10]:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số dE được xác định theo công thức [11]:

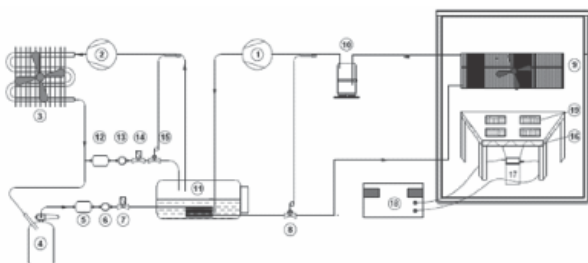
$$dE = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (2)$$

Trong đó: L_{ref}^* ; a_{ref}^* ; b_{ref}^* là các giá trị chuẩn, sử dụng các giá trị ban đầu của vật liệu tươi (trước khi cấp đông) làm giá trị chuẩn.

2.4. Quy trình thí nghiệm

Vận hành hệ thống hoạt động cho đến khi nhiệt độ ghi nhận được ở buồng cấp đông là -35°C . Vật liệu cấp đông với đầu dò nhiệt độ được đặt vào tâm của vật liệu được tiến hành

đưa lên khay cấp đông tiếp xúc với đầu phát sóng siêu âm trong buồng cấp đông, quá trình cấp đông kết thúc khi nhiệt độ tâm vật liệu đạt -18°C .



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý máy cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm

- 1 - Máy nén cấp 1; 2 - Máy nén cấp 2;
3 - Dàn ngưng giải nhiệt gió;
4 - Bình chứa cao áp; 5 - Phin lọc 1;
6 - Kính xem ga 1; 7 - Van điện từ 1; 8 - Van tiết lưu nhiệt 1; 9 - Dàn lạnh; 10 - Bình tách lỏng;
11 - Bình trung gian ống xoắn; 12 - Phin lọc 2;
13 - Kính xem ga 2;
14 - Van điện từ 2; 15 - Van tiết lưu nhiệt 2;
16 - Khay chứa vật liệu cấp đông;
17 - Đầu phát sóng siêu âm;
18 - Bộ nguồn phát sóng siêu âm;
19 - Vật liệu cấp đông.

2.5. Phương pháp thực nghiệm

Sử dụng phương pháp thực nghiệm đơn yếu tố để xác định các ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình cấp đông của vật liệu:

- Thí nghiệm ảnh hưởng của công suất phát sóng 0, 75, 100, 125, 150 và 175W ở tần số 20kHz đến thời gian cấp đông vật liệu.

- Thí nghiệm ảnh hưởng tỷ lệ phát sóng siêu âm gián đoạn đến thời gian cấp đông.

- Xác định ảnh hưởng của sóng siêu âm đến chất lượng dinh dưỡng, biến đổi màu sắc của vật liệu sau cấp đông.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

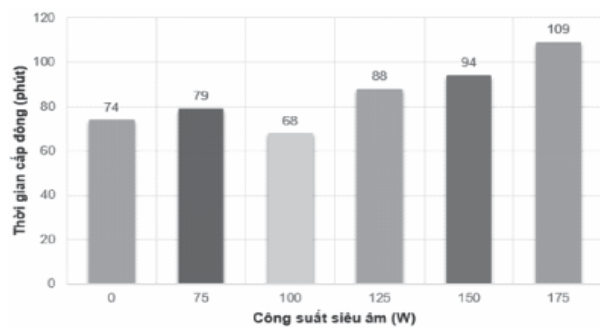
3.1. Thực nghiệm ảnh hưởng của công suất phát sóng siêu âm đến thời gian cấp đông cá tra phi lê

Thực nghiệm cấp đông cá tra phi lê có hỗ trợ của sóng siêu âm ở tần số 20kHz với các công suất phát sóng 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W.

Kết quả thí nghiệm:

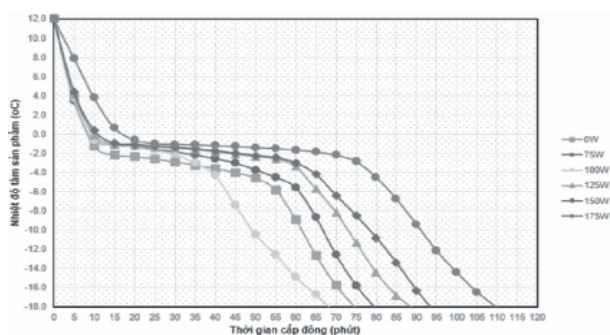
Khi cấp đông cá tra phi lê có sự hỗ trợ của sóng siêu âm tần số cố định 20kHz và công suất thay đổi 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W ở cùng điều kiện nhiệt độ môi trường, nhiệt độ vật liệu ban đầu, nhiệt độ và tốc độ không khí đối lưu trong buồng cấp đông. Kết quả cho thấy rằng khi tăng công suất phát sóng siêu âm từ 0W đến 75W thì thời gian cấp đông tăng 6,3%, tiếp tục tăng công suất phát sóng siêu âm lên đến 100W thì thời gian cấp đông được rút ngắn khoảng 8,1% khi so với thời gian cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Nếu tiếp tục tăng công suất phát sóng siêu âm lên đến 125W, 150W và 175W thì thời gian cấp đông có xu hướng tăng đều cụ thể là tăng thêm lần lượt khoảng 22,7%, 27,7% và 37,6% khi so với thời gian cấp đông khi có hỗ trợ sóng siêu âm ở 100W. Như vậy, thời gian cấp đông vật liệu có hỗ trợ của sóng siêu âm ở mức công suất 100W là thấp nhất. Tuy nhiên, khi tăng công suất phát sóng thì thời gian cấp đông cũng tăng theo do hiệu ứng nhiệt tạo ra từ sóng siêu âm [3].





Hình 2. Thời gian cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

Thực tế, tổng thời gian cấp đông không phản ánh chính xác ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình cấp đông cá tra phi lê. Người ta thường tính thời gian cấp đông bằng tổng thời gian của ba giai đoạn: Làm lạnh, chuyển pha và quá lạnh. Hình 3 thể hiện đường cong cấp đông ứng với các chế độ cấp đông có và không có hỗ trợ của sóng siêu âm, có thể chia làm ba giai đoạn: Giai đoạn làm lạnh ($12 \div 0^{\circ}\text{C}$), giai đoạn chuyển pha ($0 \div -5^{\circ}\text{C}$) và giai đoạn quá lạnh ($-5 \div -18^{\circ}\text{C}$) [1].

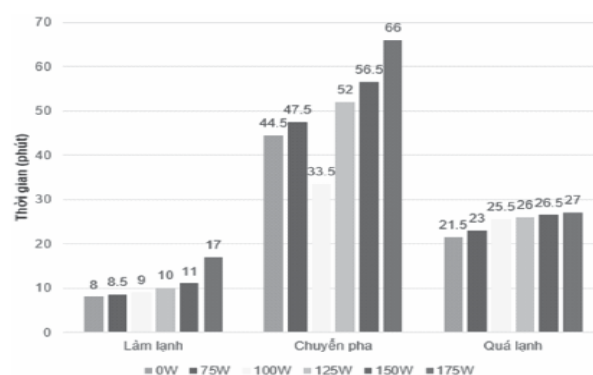


Hình 3. Đường cong cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

Hình 4 thể hiện rằng trong quá trình cấp đông thì thời gian chuyển pha là lớn nhất và thời gian làm lạnh là ngắn nhất ở các chế độ cấp đông. Đối với thời gian ở giai đoạn làm lạnh và quá lạnh sẽ tăng dần khi tăng công suất của sóng siêu âm, cụ thể là ở giai đoạn làm lạnh, khi tăng công suất sóng siêu âm đến 75W, 100W, 125W, 150W và 175W thì thời gian kéo

dài hơn tương ứng khoảng 5,9%, 11,1%, 20%, 27,3% và 52,9% khi so với thời gian làm lạnh khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Tương tự như vậy, đối với giai đoạn quá lạnh thì thời gian tăng tương ứng là 6,5%, 15,7%, 17,3%, 18,9% và 20,4%. Điều đó có thể thấy, sóng siêu âm hầu như không đóng vai trò có ích trong việc rút ngắn thời gian cấp đông ở các giai đoạn này.

Xét đến giai đoạn chuyển pha có thể thấy rằng ở các công suất siêu âm 75W, 125W, 150W, 175W đều làm gia tăng thời gian ở giai đoạn này, cụ thể thời gian chuyển pha tương ứng mất 47,5 phút, 52 phút, 56,5 phút và 66 phút khi so với 44,5 phút là thời gian chuyển pha khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Riêng đối với trường hợp ở công suất siêu âm là 100W thì thời gian chuyển pha giảm đáng kể, lên đến 24,7% khi so với thời gian chuyển pha khi không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Qua các thí nghiệm trên có thể kết luận rằng, khi lựa chọn công suất sóng siêu âm phù hợp là 100W đối với vật liệu cấp đông thì sẽ giúp rút ngắn thời gian chuyển pha đáng kể so với khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm dẫn đến rút ngắn toàn bộ quá trình cấp đông. Điều đó cũng được giải thích rằng trong quá trình chuyển pha, sóng siêu âm gây tác động tạo ra nhiều bong bóng trong lòng vật liệu giúp hình thành nhiều các tinh thể băng mịn hơn và tăng cường quá trình trao đổi nhiệt, trao đổi chất [2].



Hình 4. Thời gian mỗi giai đoạn cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

3.2. Thực nghiệm ảnh hưởng của tỷ lệ gián đoạn đến thời gian cấp đông của cá tra phi lê

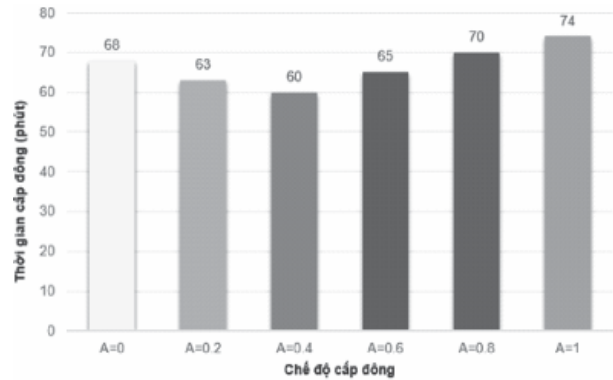
Thực nghiệm cấp đông ở mức công suất 100W (nhiệt độ phát sóng 0°C) với tỷ lệ gián đoạn lần lượt là 0, 0,2, 0,4, 0,6 và 0,8. Tỷ lệ gián đoạn được tính theo công thức [12]:

$$A = \frac{T_{off}}{T_{off} + T_{on}} \quad (3)$$

Trong đó: T_{on} – Thời gian cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm; T_{off} – Thời gian cấp đông không phát sóng siêu âm.

A = 0: Phát sóng liên tục;
A = 0,2: 30s bật 7,5s tắt;
A = 0,4: 30s bật 20s tắt;
A = 0,6: 30s bật 45s tắt;
A = 0,8: 30s bật và 120s tắt;
A = 1: Không phát sóng siêu âm.

Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng, phát sóng liên tục ảnh hưởng đến thời gian cấp đông. Việc kéo dài thời gian phát sóng sẽ gây ra hiệu ứng nhiệt làm tăng thời gian cấp đông. Do đó, thời gian cấp đông giảm so với chế độ cấp đông không hỗ trợ sóng siêu âm không nhiều [13]. Một số nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ phát sóng gián đoạn đến thời gian cấp đông [14]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ phát sóng gián đoạn ảnh hưởng đến thời gian cấp đông. Hình 5 cho thấy, ở các tỷ lệ phát sóng 0,2, 0,4, 0,6 đều có thời gian cấp đông thấp hơn chế độ không hỗ trợ của sóng siêu âm và khi có hỗ trợ sóng siêu âm liên tục. Ở tỷ lệ 0,4, thời gian cấp đông thấp nhất trong các chế độ cấp đông, giúp rút ngắn khoảng 18,9% thời gian cấp đông khi không có hỗ trợ sóng siêu âm. Điều đó cho thấy việc lựa chọn tỷ lệ thích hợp giúp rút ngắn thời gian cấp đông, giảm thời gian phát sóng và đảm bảo chất lượng sản phẩm.



Hình 5. Ảnh hưởng tỷ lệ phát sóng gián đoạn đến thời gian cấp đông vật liệu

3.3. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến màu sắc của vật liệu sau cấp đông, rã đông

Màu sắc của vật liệu sau cấp đông có thể được đánh giá bằng cảm quan hoặc dựa vào thông số màu sắc. Trong nghiên cứu này, dựa vào các thông số đặc trưng của màu sắc L^* (light/dark), a^* (red/green), b^* (yellow/blue) được đo bằng máy đo màu CHN SPEC CS-10 (Model: CS-10, xuất xứ Trung Quốc). Chỉ số màu WI (White Index) được tính theo ba thông số trên bằng công thức (1):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số dE được xác định theo công thức (2):

$$dE = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2}$$

Trong đó: L_{ref}^* ; a_{ref}^* ; b_{ref}^* là các giá trị chuẩn, sử dụng các giá trị ban đầu của vật liệu tươi (trước khi cấp đông) làm giá trị chuẩn. Qua các thực nghiệm về ảnh hưởng của siêu âm đến thay đổi màu sắc, kết quả như sau:

Bảng 1. Chỉ số màu của mẫu vật liệu tươi và các mẫu vật liệu sau cấp đông

Loại vật liệu	L*	a*	b*	WI
Mẫu tươi	46,26 ± 0,26	-1,21 ± 0,03	0,53 ± 0,03	46,24
Không có hỗ trợ siêu âm	60,13 ± 0,48	1,73 ± 0,15	5,08 ± 0,10	59,77
Hỗ trợ siêu âm 100W liên tục	59,64 ± 0,11	2,30 ± 0,30	5,78 ± 0,10	59,16
Hỗ trợ siêu âm 100W; A = 0,4	58,12 ± 0,40	1,53 ± 0,22	5,35 ± 0,05	57,75

Các kết quả ở bảng 1 có thể nhận thấy rằng, chỉ số L* và WI ở các chế độ cấp đông đều khác nhau không đáng kể và tất cả đều cao hơn so với mẫu tươi chưa qua cấp đông. Điều đó được giải thích rằng trong quá trình cấp đông, ẩm có xu hướng di chuyển từ bên trong ra bề mặt vật liệu cấp đông và kết tinh. Do đó, các mẫu sau cấp đông ở các chế độ sẽ có màu sắc sáng hơn so với mẫu vật liệu tươi. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả từ các thí nghiệm của Tu và cộng sự về củ sen [3].

Bảng 2. Chỉ số màu của mẫu vật liệu tươi và các mẫu vật liệu sau rã đông

Loại vật liệu	L*	a*	b*	WI	dE
Mẫu tươi	46,26 ± 0,26	-1,21 ± 0,03	0,53 ± 0,03	46,24	-
Không có hỗ trợ siêu âm	53,14 ± 0,11	2,70 ± 0,07	2,40 ± 0,01	53,00	8,13
Hỗ trợ siêu âm 100W liên tục	52,12 ± 0,12	3,13 ± 0,05	2,83 ± 0,07	51,93	7,65
Hỗ trợ siêu âm 100W; A = 0,4	51,71 ± 0,06	1,91 ± 0,02	1,14 ± 0,07	51,66	6,31

Màu sắc là chỉ số quan trọng để đánh giá cảm quan của vật liệu. Các chỉ số L*, a*, b* còn được ứng dụng để tính toán độ thay đổi màu sắc thông qua chỉ số dE. Chỉ số dE càng cao thể hiện cho mức độ thay đổi màu sắc càng lớn khi so với mẫu chuẩn (mẫu tươi). Qua bảng số liệu có thể thấy rằng, ở các chế độ cấp đông khác nhau đều sẽ làm thay đổi màu sắc của vật liệu sau khi rã đông khi so với vật liệu tươi ban đầu chưa qua cấp đông. Khi cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm thì độ thay đổi màu sắc sẽ lớn hơn khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Cụ thể đối với quá trình cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm thì chỉ số dE là 8,13, theo sau đó là quá trình cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm liên tục ở công suất là 100W thì chỉ số dE là 7,65 và quá trình cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm với tỷ lệ gián đoạn là 0,4 ở công suất 100W thì cho chỉ số dE là thấp nhất với 6,31.

Qua các kết quả từ bảng 1 và bảng 2, ta có thể kết luận rằng khi cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm sẽ không làm ảnh hưởng đến màu sắc của vật liệu sau cấp đông và giúp giảm độ thay đổi màu sắc của vật liệu sau rã đông khi so với khi cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm.

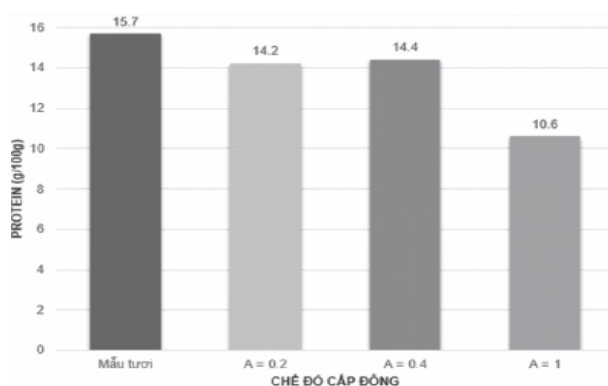
3.4. Thực nghiệm ảnh hưởng của sóng siêu âm đến chất lượng dinh dưỡng của cá tra phi lê sau cấp đông

Ở cá tra phi lê bao gồm rất nhiều các thành phần dinh dưỡng khác nhau, đặc biệt protein là thành phần dinh dưỡng chiếm tỉ lệ cao nhất. Để đánh giá ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hàm lượng protein còn lại sau khi rã đông so với mẫu tươi, ta sẽ phân tích mẫu theo phương pháp AOAC 991.20 từ trung tâm phân

tích mẫu thí nghiệm. Kết quả phân tích các mẫu thí nghiệm ở các chế độ cấp đông như sau:

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc ứng dụng sóng siêu âm khi hỗ trợ cho quá trình cấp đông có khả năng giữ lại được thành phần dinh dưỡng tốt hơn khi so với quá trình cấp đông không có sóng siêu âm [6].

Hình 6 thể hiện kết quả hàm lượng protein ở các chế độ cấp đông khác nhau và hàm lượng protein có trong mẫu cá tươi. Qua kết quả trên, ta thấy rằng khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình cấp đông đã giúp cho hàm lượng protein sau rã đông cao hơn đáng kể so với việc cấp đông không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Đối với sóng siêu âm có công suất 100W và tỷ lệ gián đoạn ở 0,4, hàm lượng protein sau cấp đông là 14,4 g/100g cá, cao hơn khoảng 26,4% khi so với quá trình cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm là 10,6 g/100g cá và đối với quá trình cấp đông hỗ trợ sóng siêu âm ở tỷ lệ gián đoạn là 0,2 thì hàm lượng protein sau cấp đông là 14,2 g/100g cá, thấp hơn khoảng 1,4% khi so với quá trình cấp đông ở tỷ lệ gián đoạn 0,4 là 14,4 g/100g cá. Qua các kết quả trên, ta kết luận rằng sóng siêu âm có ảnh hưởng tích cực hiệu quả trong việc đảm bảo chất lượng dinh dưỡng của vật liệu sau cấp đông.



Hình 6. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hàm lượng protein sau rã đông

4. KẾT LUẬN

- Đề tài nghiên cứu thực nghiệm cho thấy rằng sóng siêu âm có ảnh hưởng tích cực đến quá trình cấp đông cá tra phi lê. Đối với sóng siêu âm ở công suất là 100W, tần số 20kHz và tỷ lệ gián đoạn phát sóng là 0,4 giúp rút ngắn thời gian cấp đông, đảm bảo màu sắc và chất lượng dinh dưỡng vật liệu sau cấp đông, rã đông tốt nhất.

- Hướng phát triển tiếp theo của đề tài: Từ các kết quả thực nghiệm đơn yếu tố, tiến hành thực nghiệm đa yếu tố nhằm xác định được chế độ cấp đông thích hợp. ❖

Ngày nhận bài: **28/10/2023**

Ngày phản biện: **16/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ma, X., Mei, J., Xie, J. (2021). *Mechanism of ultrasound assisted nucleation during freezing and its application in food freezing process*. Int. J. Food Prop. 24, 68-88.
- [2]. Xizhe Fu, Tarun Belwal, Giancarlo Cravotto, Zisheng Luo (2020). *Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications, in extraction and freezing operations and influence on food components*. Ultrasonics Sonochemistry. 60, 104726.
- [3]. J. Tu, M. Zhang, B.G. Xu, H.H. Liu (2014). *Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of Lotus (Nelumbo nucifera) root*. International Journal of Refrigeration. 52, 59-65.
- [4]. A.E. Delgado, L.Y. Zheng, D.W. Sun (2009). *Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples*, Food Bioprocess Technol. 2, 263-270.
- [5]. R.R. Franco, G.A. Ojeda, K.M. Rompato, S.C. Sgroppo (2021). *Effects of short-wave ultraviolet light, ultrasonic and microwave treatments on banana puree during*

- refrigerated storage*. Food Science and Technology International. 29, 1.
- [6]. M.N. Islam, M. Zhang, B. Adhikari, X.F. Cheng, B.G. Xu (2014). *The effect of ultrasound-assisted immersion freezing on selected physicochemical properties of mushrooms*, Int. J. Refrig. 42, 121-133.
- [7]. R. Chow, R. Blindt, R. Chivers, M. Povey (2003). *The sonocrystallization of ice in sucrose solutions: primary and secondary nucleation*, Ultrasonics 41, 595-604.
- [8]. S. Qiu, F.C. Cui, J.X. Wang, W.H. Zhu, Y.X. Xu, S.M. Yi, X.P. Li, J.R. Li (2022). *Effects of ultrasound-assisted immersion freezing on the muscle quality and myofibrillar protein oxidation and denaturation in Sciaenops ocellatus* Food Chem, 377, 131949.
- [9]. Xin, Y., Zhang, M., & Benu, A. (2014). *The effects of ultrasound-assisted freezing on the freezing time and quality of broccoli (Brassica oleracea L. var. botrytis L.) during immersion freezing*. International Journal of Refrigeration, 41, 82-91.
- [10]. Zhang, C.; Li, X.; Wang, H.; Xia, X.; Kong, B. (2020). *Ultrasound-assisted Immersion Freezing Reduces the Structure and Gel Property Deterioration of Myofibrillar Protein from Chicken Breast*. Ultrason. Sonochem. 67, 105137.
- [11]. H Xi, Y Liu, L Guo, R Hu. (2019). *Effect of ultrasonic power on drying process and quality properties of far-infrared radiation drying on potato slices*. Food Science and Biotechnology, 9.
- [12]. Yang, Z.; Yu, F.; Tao, Z. (2020). *Ultrasound-assisted heat pump intermittent drying of adzuki bean seeds: Drying characteristics and parameter optimization*. J. Food Process Eng. 43, 13501.
- [13]. Mortazavi, S., & Tabatabaei, F. (2008). *Study of ice cream freezing process after treatment with ultrasound*. World Applied Sciences Journal, 4(2), 188–190.
- [14]. S.Q. Hu, G. Liu, L. Li, Z.X. Li, Y. Hou (2013). *An improvement in the immersion freezing process for frozen dough via ultrasound irradiation*, J. Food Eng. 114, 22–28.

KIỂM SOÁT GIA CÔNG TRÊN CÁC MÁY PHAY CNC BẰNG MÔ PHÒNG SỐ TRÊN ĐIỆN THOẠI THÔNG MINH

MACHINE CONTROL ON CNC MILLING MACHINES BY DIGITAL SIMULATION ON SMARTPHONES

ThS. **Trịnh Thị Mai**, ThS. **Nguyễn Tiến Dũng**
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Để giảm thiểu tối đa việc gãy dao, hỏng chi tiết và đặc biệt là va đập máy trong quá trình gia công trên các máy công cụ CNC, cũng như giảm thời gian phụ trước khi tiến hành cắt gọt trên máy CNC thì việc kiểm soát gia công trên các máy công cụ CNC nói chung và máy công cụ phay CNC nói riêng là vô cùng quan trọng. Bài báo nghiên cứu xây dựng quy trình ứng dụng phần mềm mô phỏng số CNC Milling Simulator trên điện thoại thông minh hoặc máy tính bảng để kiểm soát đường chạy dao, ứng dụng cắt và gia công trên các máy phay CNC Xmill 640 và CNC Xmill M640 tại xưởng cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp.

Từ khóa: Mô phỏng số; NC; CAD/CAM/CNC.

ABSTRACT

In order to minimize tool breakage, part damage and especially machine impact during machining on CNC machine tools, as well as reduce extra time before cutting on CNC machines, the control Machining on CNC machine tools in general and CNC milling machine tools in particular is extremely important. The article researches on building the process of applying CNC Milling Simulator software on smartphones or tablets to control toolpaths, cutting and machining applications on Xmill 640 and Xmill M640 CNC milling machines at the mechanical workshop of the University of Economics – Industrial Technology.

Keywords: Numerical simulation; NC; CAD/CAM/CNC.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy công cụ CNC là một thiết bị khá đắt đỏ, tuy nhiên nó không còn xa lạ trong ngành công nghiệp hiện nay. Để tiếp cận và gia công được trên máy CNC đòi hỏi người đứng máy phải nắm vững trình tự các bước thao tác vận hành và đảm bảo chương trình NC lập ra được đảm bảo có độ chính xác cao. Với nhu cầu cấp thiết đó, các phần mềm giả lập một máy gia công CNC xuất hiện khá nhiều trên thị trường đã giúp cho người học, người mới bắt đầu tiếp cận máy công cụ CNC phần nhiều làm quen với công việc gia công trên các máy CNC. Bài báo đi vào nghiên cứu xây dựng quy trình ứng dụng phần mềm mô phỏng số trên smartphones giúp kiểm soát đường chạy dao, và đập trong quá trình gia công cắt gọt trên máy phay CNC, đồng thời thực nghiệm ứng dụng gia công cắt gọt trên các máy phay CNC Xmill 640 và Xmill M640.

2. QUY TRÌNH VÀ THỰC NGHIỆM

2.1. Trình tự các bước để gia công một sản phẩm trên máy phay CNC

- Bước 1: Đọc và nghiên cứu bản vẽ.
- Bước 2: Viết chương trình NC cho chi tiết.
- Bước 3: Gá phôi lên mâm cặp và gá dao lên đài dao.
- Bước 4: Thiết lập từng dao.
- Bước 5: Nhập chương trình NC vào máy công cụ phay CNC.
- Bước 6: Chạy không tải (có thể bỏ qua).
- Bước 7: Gia công sản phẩm.

Trình tự thực hiện trên không kiểm tra được hết các lỗi có thể xảy ra khi máy gia công. Điều này dẫn đến việc khó kiểm soát tình trạng va đập máy, vì vậy cần có biện pháp để khắc phục tình trạng này, đặc biệt đối với những

người mới đứng máy công cụ phay CNC.

2.2. Ứng dụng phần mềm CNC Simulator

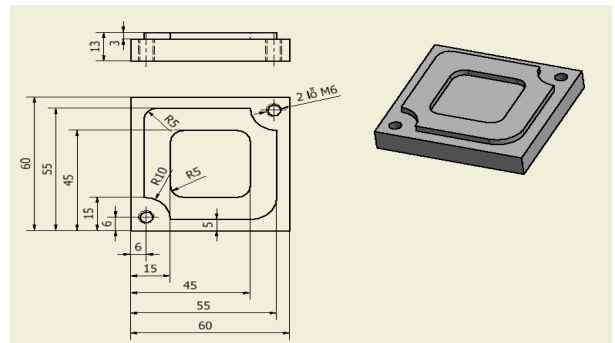
+ Bước 1: Tải phần mềm và cài đặt phần mềm về điện thoại thông minh.

Vào App Store trên điện thoại, tìm kiếm phần mềm và cài đặt phần mềm “CNC Milling Simulator”.

+ Bước 2: Tìm hiểu về giao diện phần mềm.

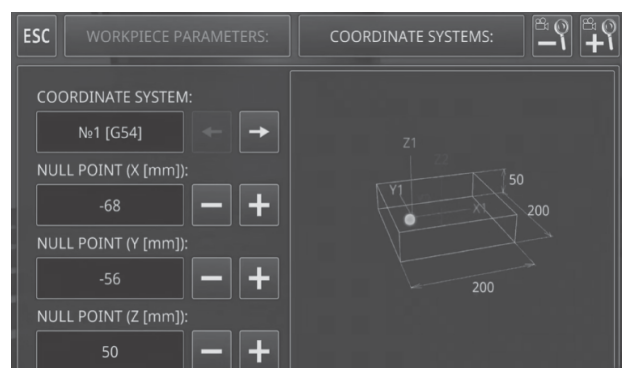
+ Bước 3: Thực hiện mô phỏng gia công chi tiết trên phần mềm CNC Milling Simulator để kiểm soát đường chạy dao.

Ví dụ: Kiểm soát lập trình và quan sát kết quả khi lập trình gia công chi tiết như hình 1.



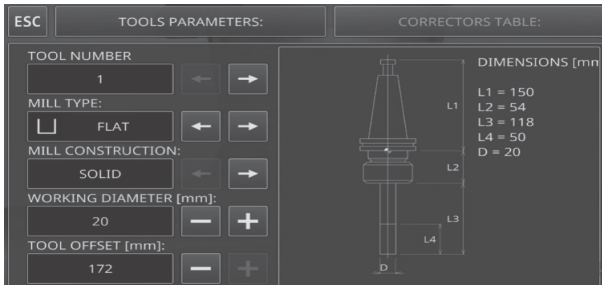
Hình 1. Bản vẽ chi tiết

- Bước 3.1: Khai báo phôi và gốc phôi.



Hình 2. Cài đặt thông số phôi và khai báo gốc phôi

- Bước 3.2: Khai báo dao.

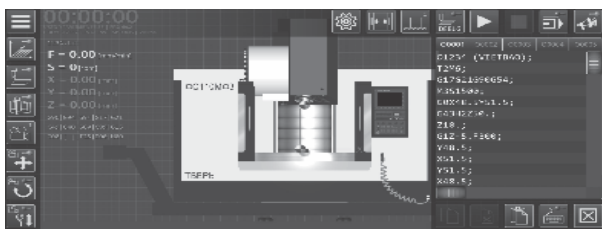


Hình 3. Chọn dao và khai báo dao



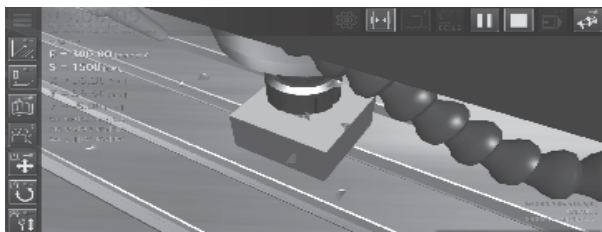
Hình 7. Cảnh báo chương trình chưa lập trình bước tiến

- Bước 3.3: Nhập chương trình NC.



Hình 4. Nhập chương trình NC

- Bước 3.4: Chạy mô phỏng và kiểm soát chương trình.



Hình 5. Ấn play để chạy chương trình

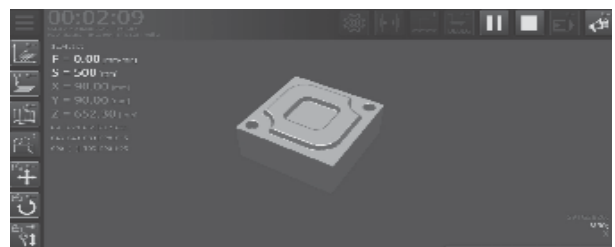
- Bước 3.5: Nhận xét.

Dựa vào các cảnh báo, người lập trình sẽ kiểm tra lại chương trình chỉnh sửa kịp thời.



Hình 6. Cảnh báo và chạm

- Bước 3.6: Quan sát sản phẩm sau mô phỏng.

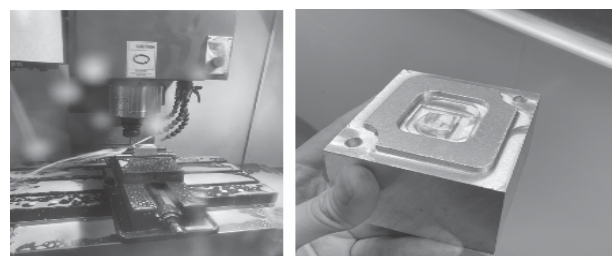


Hình 8. Kết quả sản phẩm sau mô phỏng

+ Bước 4: Gia công cắt thử trên máy phay CNC.



Hình 9. Gia công sản phẩm trên máy phay Xmill M640



Hình 10. Gia công sản phẩm trên máy phay Xmill 640

3. THẢO LUẬN

- Với phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm gia công sản phẩm thực tế, tác giả đã đưa ra được một quy trình sử dụng phần mềm CNC Milling Simulator để kiểm soát đường chạy dao và chương trình NC đảm bảo máy hoạt động không bị lỗi trong quá trình gia công chi tiết.

- Để sử dụng được phần mềm đòi hỏi người dùng phần mềm có kỹ năng lập trình bằng tay chương trình gia công phay CNC, hiểu rõ về quy trình vận hành máy gia công phay CNC.

- Kết quả của đề tài có thể sử dụng trên điện thoại thông minh với hệ điều hành bất kỳ hoặc trên máy tính bảng, thông qua hai bước thực hiện cơ bản sau:

+ Bước 1: Cài đặt phần mềm “CNC Milling Simulator” trên điện thoại thông minh hoặc máy tính bảng.

+ Bước 2: Thiết lập những thông số đầu vào như phôi, dao, chương trình NC; sau đó quan sát để kiểm soát đường chạy dao, mô hình sản phẩm tạo thành.

4. KẾT LUẬN

- Kết quả của đề tài có thể ứng dụng trong quá trình nghiên cứu khoa học, thử nghiệm, giảng dạy, học tập và sản xuất.

- Trình tự thực hiện mô phỏng gia công chi tiết trên phần mềm hoàn toàn khớp với trình tự để thực hiện gia công sản phẩm trên máy công cụ tiện CNC.

- Kết quả của bài báo giúp người sử dụng phần mềm thử nghiệm và đưa ra quyết định có nên đầu tư một khoản kinh phí để sử dụng phần mềm có mất phí hay không. ❖

Ngày nhận bài: **12/10/2023**

Ngày phản biện: **08/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Hữu Quang; “*Công nghệ CAD/CAM/CNC*”, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp, 2019.
- [2]. Đỗ Anh Tuấn; “*Thực hành kỹ thuật CNC*”, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp, 2020.
- [3]. Trần Thế San; “*Sổ tay lập trình CNC*”, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2011.
- [4]. Trịnh Thị Mai; “*Thực hành kỹ thuật thiết kế cơ khí*”, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp, 2020.
- [5]. <https://www.cncmakers.com>.

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ ĐẦU DAO CHUỐT RÃNH XOẮN NÒNG PHÁO P-230

THE DESIGNING CALCULATIONS BROACHING TOOL TO MACHINING TWIST ON P-230 GUN BARREL

TS. Nguyễn Quang Mạnh, ThS. Lê Hoàng Hiệp
Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu tính toán thiết kế đầu dao chuốt rãnh xoắn nòng pháo P-230. Trên cơ sở tính toán thiết kế, ứng dụng công nghệ CAD/CAE để tính toán kiểm bền bộ dao chuốt dùng để gia công rãnh xoắn nòng pháo P-230. Kết quả nghiên cứu là căn cứ để lựa chọn các thông số công nghệ của dao chuốt trong thực tế sản xuất.

Từ khóa: Rãnh xoắn; Công nghệ CAD/CAE; Gia công nòng pháo; Dao chuốt.

ABSTRACT

The article introduces results of the designing calculations broaching tool to machining twist on P-230 tube. Based on the designing calculations, CAD/CAE technology is applicated to test the durability of the tool kit to machining the twist of P-230 gun barrel. The research results will be the basis for selection parameters of broaching tool in real production.

Keywords: Twist; CAD/CAE technology; Machining gun barrel; Broaching tool.

1. MỞ ĐẦU

Trong chế tạo các chi tiết của pháo thì vấn đề công nghệ và thiết bị chế tạo nòng pháo là cơ bản nhất, đặc biệt là phần rãnh xoắn nòng pháo. Rãnh xoắn nòng pháo là rãnh nằm trên bề mặt lòng nòng và chạy theo đường vít ở trên tất cả chiều dài phần dẫn hướng [1].

Gia công rãnh xoắn nòng pháo có nhiều đặc điểm giống với quá trình chuốt lỗ then hoa nhưng có góc xoắn nhỏ và gia công trong lỗ rất sâu [2]. Cắt rãnh xoắn là nguyên công gia công tinh, trong đó việc tách phoi, chứa phoi, thoát phoi rất phức tạp do kết cấu của nòng pháo rất

dài. Quá trình cắt rãnh xoắn không thể ngừng để thay dao khi máy đang thực hiện bước gia công, thay dao chỉ có thể trong trường hợp đã kết thúc hành trình, khi đầu dao ra khỏi nòng. Nhám bề mặt của rãnh sau khi cắt phải phù hợp với yêu cầu của bản vẽ, thông thường $Ra = 0,63 \div 0,16 \mu m$ [3]. Tốc độ cắt dao động trong khoảng $4,5 \div 10$ m/phút. Tốc độ cắt này cần phải đảm bảo chính xác. Trong thời gian gia công rãnh xoắn của một nòng pháo phải đảm bảo không được hỏng dao hay sửa bề rộng lưỡi cắt, bởi vì đa số các trường hợp này đều gây phế phẩm và khuyết tật cho nòng pháo. Việc tính bền đầu dao đảm bảo bền trong quá trình làm việc là rất quan trọng, khi thiết kế dao phải

tuan thủ theo lý thuyết cắt kim loại và đảm bảo đặc điểm của công nghệ cắt rãnh xoắn.

Để đảm bảo điều kiện làm việc của đầu cắt của dao theo chuẩn của các nhà sản xuất, việc áp dụng công nghệ CAD/CAE tính toán kiểm bền, đảm bảo độ tin cậy trong quá trình gia công là giải pháp hợp lý được nhóm nghiên cứu đề xuất.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

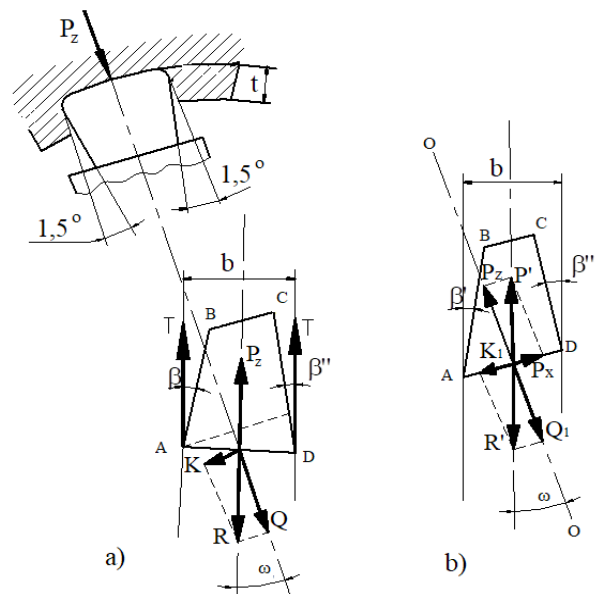
Vật liệu chế tạo nòng pháo P-230 là thép OXH3MΦA, ГОСТ 5192-78. Yêu cầu độ cứng 34 ÷ 39 HRC.

Bảng 1. Một số thông số chính của nòng pháo P-230.

- Đường kính dương tuyến d, mm	$\Phi 30^{+0,08}$
- Đường kính âm tuyến, mm	$\Phi 31^{+0,08}$
- Chiều dài l, mm	1805
- Chiều dài bước xoắn, mm	840
- Góc xoắn của rãnh, ω	$6^{\circ}24'6''$
- Số rãnh xoắn	12 (hướng xoắn phải)
- Chiều rộng rãnh xoắn, mm	$4,5^{+0,4}$

Qua nghiên cứu kết cấu của rãnh xoắn nòng pháo P-230 và phân tích ưu, nhược điểm của các loại đầu cắt và khả năng công nghệ trong nước[4], chọn phương pháp cắt theo sơ đồ kéo với đầu dụng cụ dạng lưỡi đơn, cho phép thay dao trong quá trình cắt, phương pháp này phù hợp với máy cải tạo và trình độ công nghệ nước ta. Bởi vì: nó phù hợp với nòng có chiều rộng rãnh xoắn không lớn; kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, điều chỉnh, phục hồi và thay thế; dễ thoát phoi, bôi trơn; đảm bảo yêu cầu kỹ thuật rãnh xoắn nòng pháo.

Để nghiên cứu bản chất của nguyên công cắt rãnh xoắn, xem xét lực tác dụng lên đầu dao khi cắt rãnh xoắn được mô tả trên hình 1:



Hình 1. Sơ đồ lực cắt khi cắt rãnh xoắn:
a – Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương của rãnh xoắn; b – Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương chuyển động tịnh tiến của dụng cụ

Lực tác dụng lên dao R và R' tính theo công thức [1]:

$$R = \sqrt{Q^2 + K^2}; R' = \sqrt{Q_1^2 + K_1^2} \quad (1)$$

Trong đó: Q - Lực kéo của máy; K - Lực tiếp tuyến với phương chuyển động của dao, phát sinh do phôi quay cưỡng bức với dao. Các lực này được tính theo công thức:

$$Q = P_z \cdot \cos \omega \quad \text{và} \quad K = P_z \cdot \sin \omega \quad (2)$$

với P_z là lực cắt dọc đặt vào lưỡi dao, có hướng pháp tuyến với lưỡi cắt của dao (dọc theo hướng chuyển động của dao) được tính gần đúng theo công thức sau:

$$P_z = pf \text{ (N)} \quad (3)$$

Trong đó: p là lực cắt đơn vị, đối với thép làm nòng pháo thì $p = 3200 \text{ N/mm}^2$; f - Diện tích mặt cắt của lớp cắt (mm^2).

Tổng diện tích mặt cắt F của toàn bộ lớp cắt với đầu dao có n lưỡi cắt sau một lần cắt là:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i = abn \text{ (mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Trong đó: a - Chiều dày lớp cắt (mm); b - Chiều rộng lớp cắt (mm); n - Số dao của đầu cắt.

Lực ma sát tại hai lưỡi cắt bên của dao với hai thành bên của rãnh xoắn T (N). Thành phần lực này có thể bằng nhau trong điều kiện các góc sau bằng nhau và các góc tạo giữa lưỡi cắt cạnh dao với thành rãnh xoắn (trong mặt phẳng đứng) lấy $1,5^\circ$ (hình 2).

Lực tác dụng lên dao theo phương hướng kính P_y (N). Lực này không cần xét đến vì đầu dao có 12 dao cắt đối xứng. Có thể tính theo công thức gần đúng sau:

$$P_y = 0,3P_z \quad (5)$$

Nếu lưỡi cắt của dao không vuông góc với phương của rãnh xoắn, mà vuông góc với phương chuyển động tịnh tiến của đầu dụng cụ, thì lực sẽ phân bố như hình 3b. Khi đó, lực pháp tuyến P_z cần tăng hơn để cân bằng với thành phần lực xoắn và kéo R' . Hợp lực P_z và P_x là P' cân bằng với lực kéo R' . P_x xác định theo công thức:

$$P_x = P_z \tan \omega \quad (6)$$

Thành phần lực P_x sẽ gây ra sai lệch

dao do độ lớn của nó thay đổi nên làm cho dao bị dao động, điều này đã được chứng minh trong thực tế sản xuất. Nguyên nhân gây ra ở đây chính là do thiết kế dao và mài dao không chính xác.

Trường hợp lưỡi cắt của dao vuông góc với phương rãnh xoắn:

$$P_z = 0,015 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 3200 = 2592 \text{ (N)}.$$

Lực kéo cần thiết là:

$$Q = 2592 \cdot \cos 6^\circ 24' 6'' = 2574 \text{ N}; K = 2592 \cdot \sin 6^\circ 24' 6'' = 302 \text{ N}$$

Khi đó, ta có:

$$R = \sqrt{2574^2 + 302^2} = 2592 \text{ N}$$

Trường hợp lưỡi cắt không vuông góc

với hướng xoắn, ta có: $P' = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}$

$$P' = \sqrt{P_z^2 + P_x^2} = \sqrt{2592^2 + 302^2} = 2610 \text{ N}$$

Lực kéo cần thiết là:

$$Q_1 = 2610 \cdot \cos 6^\circ 24' 6'' = 2592 \text{ N}; \\ K_1 = 2610 \cdot \sin 6^\circ 24' 6'' = 304 \text{ N}$$

Khi đó, ta có:

$$R' = \sqrt{2592^2 + 304^2} = 2610 \text{ N}$$

Như vậy, qua phân tích lực như trên, ta nhận thấy rằng trường hợp lưỡi cắt vuông góc với hướng xoắn của rãnh xoắn thì lực kéo nhỏ hơn nhưng không đáng kể. Tuy lưỡi cắt của dao khi gia công vuông góc với hướng xoắn có lợi về lực hơn nhưng quá trình gia công sẽ khó khăn, dễ dẫn đến sai số nên chọn phương án thiết kế lưỡi cắt vuông góc với trục dao. 

Trên cơ sở phân tích và tham khảo các thông số công nghệ gia công tương tự, công nghệ chế tạo dao [4], ta có thể kết luận và chọn các thông số hình học của lưỡi cắt: Góc sau α lấy bằng 4° với dao thô và bán tinh, 3° với dao cắt tinh, góc này có ảnh hưởng đến nhám bề mặt gia công; Để tăng độ bền lâu của dao và nhám bề mặt gia công, góc trước $\gamma = 5^\circ$; Do lượng dư nhỏ nên đỉnh lưỡi cắt để sắc nếu không sẽ gây trượt.

Thân dao có dạng tròn, dao dạng nguyên khối. Chiều rộng lưỡi cắt tương ứng với chiều rộng rãnh xoắn. Kích thước danh nghĩa và dung sai chiều rộng lưỡi cắt phù hợp với chiều rộng rãnh xoắn, dung sai chế tạo và độ mòn dao. Thực tế trong các nhà máy, chiều rộng lưỡi cắt không bố trí tiêu chuẩn.

Bảng 2. Thông số các dao chuốt.

STT	Tên gọi	Đường kính D	Góc sau α ($^\circ$)	Góc trước γ ($^\circ$)
1	Dao chuốt số 1	30,03 _{-0,009}	4	5
2	Dao chuốt số 1	30,06 _{-0,009}	4	5
...	...	...	...	...
45	Dao chuốt số 45	31,30 _{-0,009}	3	5
46	Dao chuốt số 46	31,32 _{-0,009}	3	5
47	Dao chuốt số 47	31,34 _{-0,009}	3	5

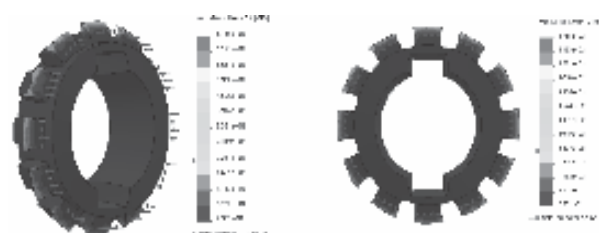
Để chuốt hoàn thiện rãnh xoắn nòng pháo P-230 đạt kích thước trước mạ crom (chiều dày lớp mạ 0,06 ÷ 0,09mm), theo tính toán ở trên cần 47 con dao chuốt. Thông số của các dao được trình bày trong bảng 2. Tác giả lựa chọn dao chuốt số 1 để tính toán kiểm bền.

3. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CAD/CAE TÍNH TOÁN KIỂM BỀN ĐẦU DAO

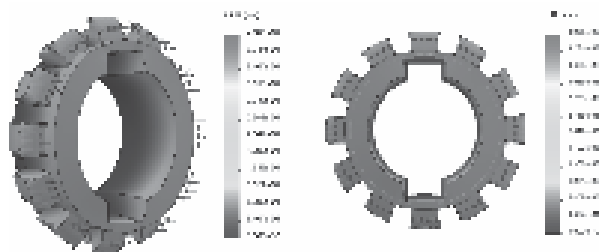
Thông số đầu vào khai báo để tính toán ngoài các thông số lực, điều kiện biên như tính toán ở trên còn chọn vật liệu dao là thép gió P9Φ-1 là loại thép gió có độ cứng và độ dai va đập cao, chịu mài mòn tốt, thành phần vật liệu như sau: W - 9%; V - 1%; C - 1,4 1,5%. Độ cứng phần đầu cắt của dao khoảng 62 ÷ 65 HRC.

Kết quả phân tích ứng suất tương đương, chuyển vị và hệ số an toàn cho lần lượt

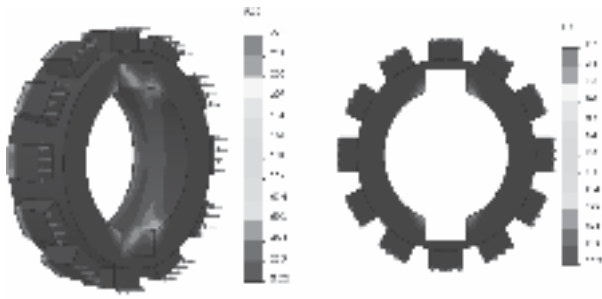
trên các hình 4 ÷ 6. Các giá trị tương ứng theo màu và vị trí trên dao.



Hình 4. Ứng suất tương đương (Von Mises Stress)



Hình 5. Kết quả tính chuyển vị



Hình 6. Kết quả tính hệ số an toàn

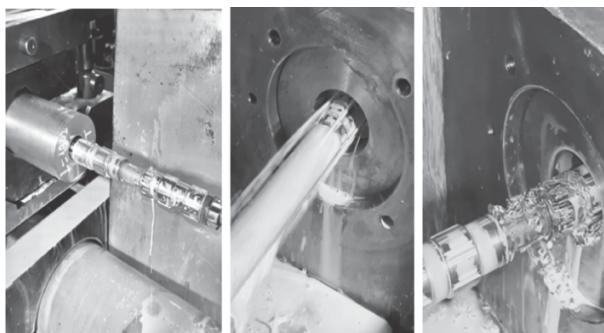
Từ kết quả tính toán kiểm nghiệm có thể thấy, các giá trị ứng suất, chuyển vị, hệ số an toàn hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của vật liệu chế tạo dao. Vùng có giá trị lớn nhất nằm ở phần lưỡi cắt, đây là vùng chịu các tải trọng trong quá trình cắt.

4. MỘT SỐ HÌNH ẢNH QUÁ TRÌNH CHẾ TẠO ĐẦU DAO CHUỐT VÀ RÃNH XOẮN

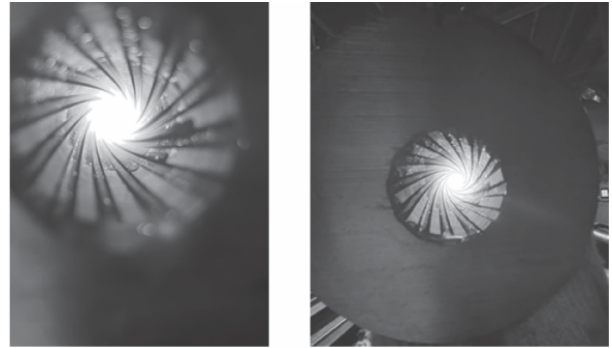
Dựa trên kết quả nghiên cứu tính toán thiết kế đầu dao chuốt, đã chế tạo thành công rãnh xoắn trên nòng pháo P-230.



Hình 7. Ảnh minh họa quá trình chế tạo dao chuốt



Hình 8. Ảnh minh họa quá trình chuốt rãnh xoắn



Hình 9. Ảnh bề mặt rãnh xoắn bên trong nòng pháo P-230 sau khi chuốt

5. KẾT LUẬN

- Đã ứng dụng công nghệ CAD/CAE để tính toán thiết kế kiểm bền dao chuốt, xác định được các giá trị ứng suất min – max và chuyển vị xuất hiện trong quá trình gia công rãnh xoắn nòng pháo P-230.

- Kết quả đã đưa vào sản xuất thử thành công tại nhà máy chế tạo thuộc Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng là tiền đề cho việc làm chủ công nghệ chế tạo trong nước, thay thế hàng nhập khẩu. ❖

Ngày nhận bài: 12/9/2023

Ngày phản biện: 26/10/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Khổng Đình Tuy; Nguyên lý kết cấu vũ khí có nòng, Học viện Kỹ thuật Quân sự (2003).
- [2]. Trần Bình Chiên; Giáo trình Nguyên lý cấu tạo súng pháo, Tổng cục Kỹ thuật (2001).
- [3]. Sổ tay thiết kế cơ khí, NXB. Khoa học và Kỹ thuật (1979).
- [4]. Vũ Quốc Toàn; Báo cáo tổng hợp đề tài “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy chuốt rãnh xoắn nòng pháo có chiều dài đến 5000mm, bằng thủy lực, điều khiển CNC”, Đề tài cấp Nhà nước do Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng chủ trì (2015).



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP LIÊN KẾT GIỮA ĐÀU ĐẠN VÀ VỎ ĐẠN TỚI QUÁ TRÌNH CẮT ĐAI DẪN

A STUDY ON THE INFLUENCE OF THE METHOD OF LINKING BETWEEN PROJECTILE AND CARTRIDGE CASE ON THE ROTATING BAND ENGRAVING PROCESS

Đỗ Văn Minh¹, Hoàng Kim Thành², Bùi Xuân Sơn¹, Nguyễn Văn Hường¹, Bùi Minh Tuấn¹

¹Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Nhà máy Z113, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn trên cơ sở mô hình toán xây dựng bằng phương pháp số, sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB. Kết quả nghiên cứu chỉ ra phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn có tác động lớn tới quá trình cắt đai dẫn vào rãnh nòng (khảo sát thông qua thông số lực cản cắt đai). Khi sử dụng phương pháp liên kết theo chiều hướng gia tăng lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn thì lực cản cắt đai tăng lên và đạt giá trị lớn nhất khi kết cấu sử dụng 2 rãnh lẫn tốp và mối ghép có độ dôi (tăng 1777,6% so với trường hợp không sử dụng liên kết). Bên cạnh đó, bài báo tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tham số độ dôi mối ghép tới giá trị lực liên kết và lực cản cắt đai. Kết quả khảo sát chỉ ra rằng lực liên kết và giá trị lực cản cắt đai phụ thuộc theo quy luật đa thức bậc 4 đối với tham số độ dôi. Trong khoảng khảo sát, giá trị độ dôi tăng từ $0 \div 0,2$ mm, tốc độ tăng của lực liên kết và lực cản cắt đai lớn hơn khi giá trị độ dôi tăng từ $0,2 \div 0,75$ mm.

Từ khóa: Phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn; Quá trình cắt đai; Lực cản cắt đai.

ABSTRACT

This article studies the effects of the linking method between the projectile and the cartridge case on the basis of a mathematical model established by numerical methods, using the MATLAB programming language. Research results show that the linking method between the projectile and the cartridge case has a great impact on the process of engraving the rotating band into the barrel groove (surveyed through the rotating band engraving resistance force). When using the linking method in the direction of increasing the linking force between the projectile and the cartridge case, the rotating band engraving resistance force increases and reaches the maximum value when the structure ammunition uses 2 grooves and joints with redundancy (increased by 1777.6% compared to the case of not using links). In addition, the article investigates the influence of the link redundancy parameter on the value of linking force and rotating band engraving resistance force. The investigating results show that the linking force and engraving resistance force value depend according to the 4th-degree polynomial rule on the redundancy parameter. During the investigating range, the redundancy value increased from $0 \div 0.2$ mm, the rate of increase of the linking force and engraving resistance force was larger when the redundancy value increased from $0.2 \div 0.75$ mm.

Keywords: The linking method between the projectile and the cartridge case; The rotating band engraving process; The engraving resistance force.

1. MỞ ĐẦU

Thời kỳ tổng đạn kéo dài từ thời điểm đạn bắt đầu chuyển động đến khi các đai dẫn được cắt hoàn toàn vào rãnh nòng. Thuật ngữ tổng đạn trong pháo binh thể hiện đường kính của đạn lớn hơn đường kính của nòng, cũng như quá trình liên quan đến sự cắt đai dẫn vào rãnh nòng hoặc nén đai bịt kín [1, 2].

Hiện nay, phương pháp tổng đạn thuận tiện hơn cả là hàm chuyển động của đạn trong giai đoạn đầu nhờ sử dụng đai dẫn, đường kính của các đai dẫn lớn hơn đường kính của nòng. Kết quả của việc này là quá trình cắt đai dẫn vào rãnh nòng và xuất hiện lực cản cắt đai (F_c). Khi nghiên cứu thời kỳ tổng đạn nói chung, quá trình cắt đai dẫn vào rãnh nòng nói riêng cần phải xem xét phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn (hay phương pháp nạp đạn vào buồng nòng). Nếu không sử dụng phương pháp liên kết giữa vỏ đạn và đầu đạn (đạn nạp rời), quá trình cắt đai dẫn bắt đầu ngay lập tức ở thời điểm đạn bắt đầu chuyển động và diễn ra với tốc độ tương đối thấp. Trong khi đó, đối với đạn nạp liền đầu đạn được cố định ở miệng vỏ đạn, khi chuyển động của đạn bắt đầu diễn ra quá trình tách liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, khi đó đầu đạn thắng tác dụng của lực cản – lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn (F_l). Tiếp theo, đầu đạn thực hiện một hành trình tự do cho tới khi bắt đầu quá trình cắt đai, trong quá trình đó sẽ diễn ra các điều kiện động khi tốc độ đầu đạn đã tăng cao. Vì vậy, phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn ảnh hưởng lớn tới quá trình cắt đai dẫn, các thông số động học trong quá trình cắt đai [3-5]. Tuy nhiên, hiện nay các công trình nghiên cứu về chiều hướng và mức độ ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới quá trình cắt đai nói riêng, tới đặc tính động học của quá trình đạn chuyển động trong nòng nói chung chưa nhiều.

Hiện nay, trong kết cấu đạn, để đảm bảo mối liên kết giữa vỏ đạn và đầu đạn có nhiều phương pháp như: lắp ghép có độ dôi, hàn nung điểm, ép ovan miệng vỏ đạn, lắp chặt nhờ sử dụng rãnh lặn tốp và kết hợp giữa lắp có độ dôi và sử dụng rãnh lặn tốp [6-8]. Tuy nhiên, phổ biến ở hầu hết các phát bắn đạn pháo là sử dụng phương pháp lắp ghép có độ dôi, hoặc kết hợp giữa có độ dôi và sử dụng rãnh lặn tốp. Vì vậy, bài báo tập trung xây dựng mô hình tính toán khảo sát ảnh hưởng phương pháp liên kết giữa vỏ đạn và đầu đạn tới quá trình cắt đai thông qua lực cản cắt F_c với các trường hợp liên kết giữa vỏ đạn và đầu đạn cụ thể: không sử dụng mối ghép (đạn nạp rời), lắp ghép có độ dôi, lắp chặt sử dụng 1 rãnh lặn tốp, mối ghép kết hợp sử dụng 1 rãnh lặn tốp và ghép có độ dôi, mối ghép kết hợp sử dụng 2 rãnh lặn tốp và ghép có độ dôi. Bên cạnh đó, trên cơ sở mô hình xây dựng, bài báo tiến hành khảo sát ảnh hưởng của các tham số kích thước đặc trưng của mối ghép tới giá trị lực liên kết F_l và lực cản cắt đai F_c . Kết quả bài báo là một cơ sở định hướng lựa chọn phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, quá trình tính toán thiết kế các tham số kích thước của mối ghép giữa đầu đạn và vỏ đạn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình toán xác định lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn

Để tổng quát cho mô hình tính toán, bài báo tiến hành tính toán lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn trong trường hợp phương pháp kết hợp (ghép có độ dôi và sử dụng rãnh lặn tốp). Trong trường hợp này, lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn được tính toán theo công thức (1):

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} \quad (1)$$

Trong đó:

F_{t1} – Lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn được tạo ra bởi lắp ghép có độ dôi;

F_{t2} – Lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn được tạo ra bởi lắp ghép sử dụng rãnh lặn tóp.

Theo [2, 3, 7], F_{t1} được xác định theo biểu thức:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot L_{tx} \cdot f \cdot E_1 \cdot t_m \left(\frac{\Delta_H}{R} \right)^m \quad (2)$$

Trong đó: L_{tx} là chiều dài phần tiếp xúc giữa đầu đạn và vỏ đạn, mm; f là hệ số ma sát giữa đầu đạn và vỏ đạn; $E_1 = (0,01 \dots 0,05) \cdot E$, với E là mô-đun đàn hồi vật liệu vỏ đạn, N/mm²; t_m là bề dày miệng vỏ đạn, mm; Δ_H là độ dôi mỗi ghép giữa đầu đạn và vỏ đạn, mm; $R = d/2$, với d là cỡ nòng, mm; m là hằng số thực nghiệm.

Theo [2, 3, 6], F_{t2} được xác định theo biểu thức:

$$F_{t2} = k \cdot \pi \cdot n_{sr} \cdot \left(2 \cdot \frac{\Delta_K}{tg\alpha} + h \right) \cdot t_m \cdot \sigma_s \cdot (\sin\alpha + f \cdot \cos\alpha) \quad (3)$$

Trong đó: k là hằng số thực nghiệm; n_{sr} là số rãnh lặn tóp; Δ_K là độ sâu rãnh lặn tóp, mm; α là góc vát rãnh tóp, rad; h là bề rộng rãnh lặn tóp, mm.

2.2. Mô hình toán xác định lực cản cắt đai

2.2.1. Giả thiết

Để xác định giá trị lực cản cắt đai F_c , một số giả thiết sau được sử dụng [2, 3]:

- Đai dẫn có hình dạng chữ nhật, vật liệu đai dẫn là vật liệu cứng dẻo tuyến tính, trạng thái biến dạng đai dẫn trong quá trình cắt dẫn vào rãnh nòng là phẳng;

- Các điều kiện chất tải là tĩnh, không có

các biến dạng của thành nòng và thân đạn, các rãnh nòng có hình dạng chữ nhật và bỏ qua ảnh hưởng của góc khương tuyến rãnh nòng, ảnh hưởng của áp suất khí thuốc trong thời kỳ tổng đạn lên vỏ đạn.

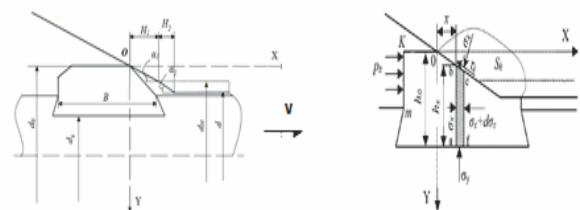
2.2.2. Mô hình toán xác định lực cản cắt đai

Mô hình tính xác định F_c được thể hiện trong hình 1. Trong đó: d_0 là đường kính ngoài của đai dẫn, mm; B là bề rộng đai dẫn, mm; d_H là đường kính đáy rãnh nòng, mm; d_K là đường kính rãnh vòng trên thân đạn để lắp đai dẫn, mm; α_1 là góc côn vào thứ nhất của nòng pháo, độ; α_2 là góc côn vào thứ hai của nòng pháo, độ; $h_0 = (d_0 - d_K)/2$ là bề dày đai dẫn, mm; $H_1 = (d_0 - d_H)/2tg\alpha_1$ là chiều dài phần côn tròn của nòng pháo, mm; $H_2 = (d_H - d)/2tg\alpha_2$ là chiều dài phần côn có rãnh xoắn của nòng pháo.

Khi đai dẫn được cắt vào rãnh nòng, giữa nòng pháo và bề mặt đai dẫn xuất hiện bề mặt tiếp xúc S_K , trên đó tồn tại các ứng suất tiếp xúc σ_k , τ_k . Các ứng suất này liên hệ với nhau qua hệ số ma sát μ giữa thành nòng và đai dẫn [3]:

$$\tau_k = \mu \sigma_k \quad (4)$$

Các ứng suất này sẽ tác động từ nòng đến đầu đạn thông qua đai dẫn một lực cản cắt đai theo trục đạn. Lực cản cắt đai được xác định theo biểu thức:



Trước khi cắt đai dẫn

Khi cắt đai dẫn

Hình 1. Mô hình quá trình cắt đai dẫn vào rãnh nòng

$$F_c = \iint_{S_k} \sigma_k \sin \alpha_k dS_k + \iint_{S_k} \tau_k \cos \alpha_k dS_k, \quad (5)$$

Trong đó, α_k là góc côn vào của nòng pháo ($k = 1, 2$ ứng với góc côn vào thứ nhất và thứ hai của nòng pháo).

Giả thiết rằng, các phần tử của vật liệu đai dẫn chỉ dịch chuyển dọc theo trục OX với tốc độ không đổi và như nhau theo chiều cao của biên dạng ($u_x = u_y = \gamma_{xy} = 0$) và trên tất cả các điểm của tiết diện ab của vùng biến dạng các ứng suất pháp tuyến là như nhau. Ta tách trong vùng biến dạng một phần tử abcf có chiều dài đơn vị (Hình 1) và viết các điều kiện cân bằng của nó:

Theo trục OX:

$$d\sigma_x = (\sigma_k - \sigma_x) \frac{dh_x}{h_x} + \frac{\tau_k}{\tan \alpha_k} \frac{dh_x}{h_x}, \quad (6)$$

Trong đó, h_x là giá trị tức thời của chiều cao tiết diện ngang của đai dẫn.

Khi tính đến đẳng thức $dh_x = -dx \tan \alpha_k$ và bỏ qua các số hạng bé bậc cao, ta nhận được công thức:

$$d\sigma_x = (\sigma_k - \sigma_x) \frac{dh_x}{h_x} + \frac{\tau_k}{\tan \alpha_k} \frac{dh_x}{h_x}, \quad (7)$$

Theo trục OY:

$$\sigma_k \cos \alpha_k dx - \tau_k \sin \alpha_k dx - \sigma_y dx = 0, \quad (8)$$

Với giả thiết α_k khá nhỏ, có thể coi:

$$\sigma_y = \sigma_k \quad (9)$$

Sử dụng phương trình dẻo, ta viết nó ở dạng:

$$\sigma_y - \sigma_x = \xi_1 2k \quad (10)$$

Trong đó, ξ_1 là hệ số tính tới ảnh hưởng của ứng suất tiếp, được xác định theo biểu thức:

$$\xi_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{xy}}{k}\right)^2}, \quad (11)$$

Giá trị ξ_1 được xác định trên cơ sở số liệu thực nghiệm ($\xi_1 < 1$, $\sigma_\phi = \sigma_T^*$, với σ_ϕ là lực cản thực tế biến hình khi kéo và nén đơn giản; σ_T^* là giới hạn chảy quy ước). Trong biểu thức (10), (11), k là hệ số dẻo, được xác định theo biểu thức: $k = k_0(1 + n - n \frac{h_x}{h_0})$, với $k_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_\phi$ là hệ dẻo của vật liệu đai dẫn trước khi cắt, n là hệ số biến cứng của vật liệu đai dẫn.

Phương trình (7) có tính đến đẳng thức (9) và (10) được biến đổi về dạng:

$$\sigma_x h_x - (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_x) - \tau_k \cos \alpha_k dx - \sin \alpha_k dx = 0, \quad (12)$$

Các ứng suất tiếp σ_k, τ_k có mối quan hệ theo đẳng thức (4). Ta coi các đại lượng μ, k, ξ_1, α_k là không đổi, khi đó nhận được phương trình vi phân với các biến phân ly:

$$d\sigma_k = (2k\xi_1 + \frac{\mu}{\tan \alpha_k} \sigma_k) \frac{dh_x}{h_x}, \quad (13)$$

Tích phân phương trình (10) theo σ_k từ σ_{k0} đến σ_k ; theo h_x từ h_0 đến h_x nhận được biểu thức để tính ứng suất tiếp xúc pháp tuyến σ_k tại tiết diện bất kỳ của côn nối tiếp:

$$\sigma_k = \frac{2k\xi_1}{\gamma} \left[\left(1 + \gamma \frac{\sigma_{k0}}{2k\xi_1}\right) \left(\frac{h_x}{h_0}\right)^\gamma - 1 \right], \quad (14)$$

Trong đó, $\gamma = \frac{\mu}{\tan \alpha_k}$ là thông số phụ thuộc vào hệ số ma sát (giữa thành nòng và đai dẫn) và góc côn vào của nòng pháo.

Giá trị ban đầu của ứng suất σ_k tại điểm O được xác định từ đẳng thức (10) khi coi $\sigma_y = \sigma_k$ và $\sigma_x = p_\pi$, với p_π là áp suất khí thuốc tác dụng bề mặt tự do của vật liệu đai dẫn Okm, p_π

được xác định theo biểu thức $p_{\pi} = \frac{4.F_t}{\pi.d^2}$.

$$\sigma_{k.0} = 2k\xi_1(1 + \frac{p_{\pi}}{2k\xi_1}), \quad (15)$$

Ta đưa vào quãng đường của đạn x khi cắt đai nhờ đẳng thức $h_x = h_0 - xtg_{\alpha_k}$. Khi đó, biểu thức (14) được viết lại ở dạng:

$$\sigma_k = \frac{2k\xi_1}{\gamma} \left[(1 + \gamma \frac{\sigma_{k.0}}{2k\xi_1})(1 - \frac{tg\alpha_k}{h_0}x)^{\gamma} - 1 \right] \\ = \frac{2k\xi_1}{\gamma} \left[(1 + \gamma \frac{\sigma_{k.0}}{2k\xi_1})(1 - \frac{tg\alpha_k}{\delta + (d_H - d_k)/2}x)^{\gamma} - 1 \right], \quad (16)$$

Trên cơ sở kết quả giải bài toán về các ứng suất tiếp xúc (σ_k , τ_k) có thể thu được công thức xác định lực cản cắt, với giả thiết α_k cố định:

$$F_c = \mu \cos \alpha_k (1 + \frac{tg\alpha_k}{\mu}) \int_0^{S_k} \sigma_k dS_k, \quad (17)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên mô hình tính toán, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của

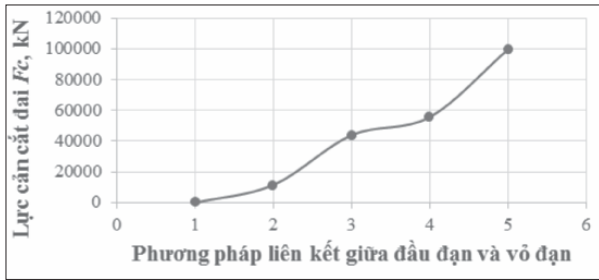
phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới quá trình cắt đai dẫn thông qua giá trị lực cản cắt đai của đạn xuyên thép 23 mm bằng phương pháp số, sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB.

Ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn được thể hiện trên bảng 1 và đồ thị hình 2.

Từ đồ thị hình 2 nhận thấy: giá trị lực cản cắt đai rất nhỏ khi không sử dụng phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn. Khi sử dụng phương pháp liên kết theo chiều hướng tăng lực liên kết F_l (từ 1 đến 5) thì giá trị lực cản cắt đai F_c tăng lên rõ rệt và đạt giá trị lớn nhất khi giá trị lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn là lớn nhất (tăng 1777,6 %), ứng với mỗi ghép kết hợp sử dụng 2 rãnh lẫn tốp và ghép có độ dôi. Kết quả từ bảng 1 và hình 2 cho thấy phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn có tác động lớn tới giá trị lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, từ đó ảnh hưởng lớn tới giá trị lực cản cắt đai khi đai dẫn được cắt vào rãnh nòng.

Bảng 1. Ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới quá trình cắt đai

TT	Loại mối ghép	Lực liên kết F_l , N	Lực cản cắt đai F_c , N	% tăng của F_c so với trường hợp không sử dụng mối ghép
1	Không sử dụng mối ghép	0	$5,6.10^4$	0
2	Sử dụng mối ghép có độ dôi ($\Delta_H = 0,16$ mm, giá trị thiết kế)	$2,7.10^3$	$1,16.10^7$	206,1
3	Sử dụng 1 rãnh lẫn tốp ($\Delta_K = 0,42$ mm, giá trị thiết kế)	$1,04.10^4$	$4,39.10^7$	782,9
4	Sử dụng 1 rãnh lẫn tốp và mối ghép có độ dôi, ($\Delta_H = 0,16$ mm, $\Delta_K = 0,42$ mm – giá trị thiết kế)	$1,3.10^4$	$5,57.10^7$	993,6
5	Sử dụng 2 rãnh lẫn tốp và mối ghép có độ dôi, ($\Delta_H = 0,16$ mm, $\Delta_K = 0,42$ mm – ứng với 2 rãnh lẫn tốp)/Trường hợp khảo sát ứng với kết cấu thực	$2,33.10^4$	$9,96.10^7$	1777,6



Hình 2. Ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới lực cản cắt đai:

1. Không sử dụng mối ghép; 2. Mối ghép có độ dôi; 3. Sử dụng 1 rãnh lặn tốp;
4. Sử dụng 1 rãnh lặn tốp và mối ghép độ dôi; 5. Sử dụng 2 rãnh lặn tốp và mối ghép độ dôi

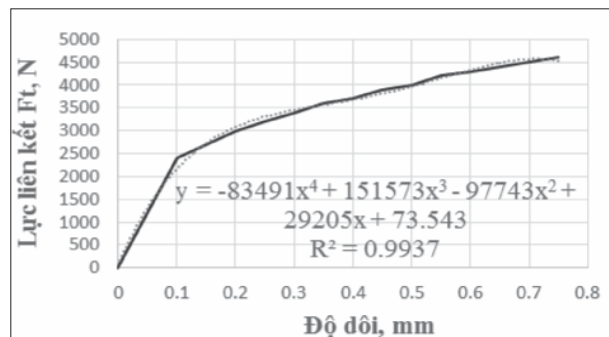
Từ thực tế thiết kế, khai thác đạn cho thấy khi tăng giá trị lực liên kết sẽ đảm bảo điều kiện bền mối ghép khi nạp đạn vào buồng nòng (tránh gây hiện tượng long đầu đạn), tăng được tốc độ bắn do tăng tốc độ nạp đạn, đảm bảo điều kiện bịt kín thuốc phóng trong quá trình bảo quản, bịt kín khí thuốc khi bắn. Tuy nhiên, khi tăng lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, lực cản cắt đai tăng dẫn đến tăng sự mài mòn nòng pháo khi bắn, làm giảm tuổi thọ của nòng pháo. Vì vậy, trong quá trình thiết kế đòi hỏi phải tối ưu về điều kiện mòn nòng, tốc độ bắn, khả năng đảm bảo bền và điều kiện bịt kín khi lựa chọn phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn.

Ảnh hưởng của tham số kích thước: độ dôi mối ghép Δ_H tới giá trị lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, giá trị lực cản cắt đai được thể hiện trên bảng 2 và đồ thị hình 3.

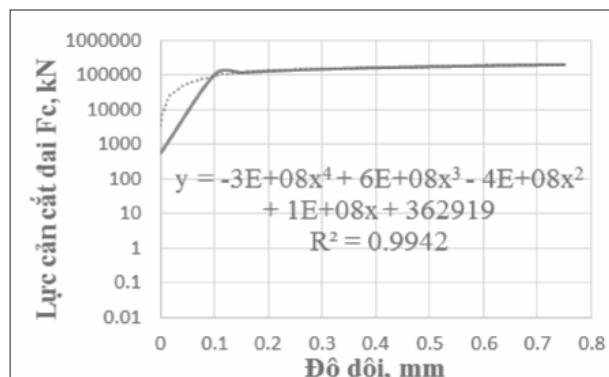
Bảng 2. Ảnh hưởng của độ dôi đến lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn, lực cản cắt đai

Độ dôi Δ_H , mm	Lực liên kết F_t , N	Lực cản cắt đai F_c , N
0	0	56300
0,1	2400	10200000
0,15	2700	11600000

0,2	2980	12800000
0,25	3200	13800000
0,3	3400	14600000
0,35	3600	15400000
0,4	3700	16100000
0,45	3900	16700000
0,5	4000	17300000
0,55	4200	17800000
0,6	4300	18300000
0,65	4400	18800000
0,7	4500	19300000
0,75	4600	19700000



Hình 3. Ảnh hưởng của độ dôi đến lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn



Hình 4. Ảnh hưởng của độ dôi đến lực cản cắt đai

Từ đồ thị hình 3, hình 4 nhận thấy: sự phụ thuộc của độ dôi mối ghép (khi sử dụng mối ghép có độ dôi giữa đầu đạn và vỏ đạn) vào lực liên kết và lực cản cắt đai tuân theo quy luật hàm đa thức bậc 4. Ở vị trí độ dôi $\Delta_H = 0$, ứng với

trường hợp không sử dụng mối liên kết, lực cản cắt đai có giá trị nhỏ nhất. Khi tăng độ dôi Δ_H lên, lực liên kết tăng, lực cản cắt đai tăng lên. Khi giá trị độ dôi Δ_H trong khoảng $(0 \div 0,15)$ mm, tốc độ tăng của lực liên kết và lực cản cắt đai lớn hơn nhiều khi độ dôi Δ_H trong khoảng $(0,15 \div 0,75)$ mm, điều này được thể hiện rõ ở độ dốc của đồ thị hình 3, hình 4 ở đoạn đầu lớn hơn nhiều của đoạn sau.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra mô hình toán nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn tới quá trình cắt đai thông qua lực cản cắt đai. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp liên kết có ảnh hưởng lớn tới giá trị lực cản cắt đai. Khi sử dụng phương pháp liên kết theo chiều hướng gia tăng lực liên kết giữa đầu đạn và vỏ đạn thì lực cản cắt đai tăng lên rõ rệt. Trên cơ sở mô hình toán xây dựng, nhóm tác giả tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tham số kích thước độ dôi mối ghép đến giá trị lực liên kết và lực cản cắt đai. Kết quả cho thấy khi tăng giá trị độ dôi, lực liên kết và lực cản cắt đai đều tăng, tuy nhiên mức độ tăng lớn hơn khi độ dôi mối ghép tăng trong khoảng $(0 \div 0,15)$ mm. ❖

Ngày nhận bài: **06/10/2023**

Ngày phản biện: **10/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Quang Lượng, Nghiêm Xuân Trinh, Nguyễn Trung Hiếu, Ngô Văn Quảng; *Thuật phóng trong*. 2015, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Thanh Điền, Nguyễn Quang Lượng; *Thuật phóng trong thời kỳ tổng đạn*. 2015, NXB. Quân đội Nhân dân.
- [3]. Чубанов Е. В, Внутренняя баллистика периода форсирования. Vol. Учебное пособие, 1983.
- [4]. Г. В. Лепеш, *Напряженно деформированное состояние элементов артиллерийских снарядов при выстреле*. 2002, Санкт Петербург.
- [5]. Г.В. Лепеш, *Теория функционирования артиллерийских снарядов*. 2002, Санкт Петербург.
- [6]. Đỗ Văn Minh (2022); *Giáo trình cơ sở thiết kế vỏ đạn*, NXB. Quân đội Nhân dân, Hà Nội.
- [7]. Trần Bá Tấn (2000); *Sản xuất và thử nghiệm đạn dược ở trường bắn*, NXB. Quân đội Nhân dân, Hà Nội.
- [8]. Nguyễn Văn Thủy, Trần Văn Định, Trần Đình Thành (2007); *Cơ sở thiết kế đạn súng bộ binh*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÁY TÁCH BÙN TRỤC VÍT ĐA ĐĨA

CALCULATION, DESIGN AND BUILDING MODEL OF DEWATERING MULTI-DISC SCREW PRESS

Phạm Thị Thủy, Nguyễn Thanh Tùng

Trường Đại học Mở – Địa chất

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán, thiết kế máy tách bùn trục vít đa đĩa. Trên cơ sở toán học, nghiên cứu đã chỉ ra thông số hình học tối ưu cho trục vít máy tách bùn. Nội dung bài báo cũng đề cập phương pháp thiết kế các cụm chi tiết chính của máy tách bùn. Kết quả bài báo đã xây dựng được mô hình máy tách bùn kiểu trục vít đa đĩa. Kết quả này là cơ sở quan trọng cho việc chế tạo máy tách bùn trục vít đa đĩa trong điều kiện ở Việt Nam.

Từ khóa: Máy tách bùn; Trục vít; Multi-Disc Screw Press.

ABSTRACT

The paper presents the calculation method, design of Dewatering Multi-Disc Screw Press. Based on the geometric analysis and mathematical model, the screw profile of filter sludge is generated. In this paper also shows design method of main machine's parts of filter sludge. The consequence of design demonstrates model of filter sludge is generated. It is based on important for manufacturing the filter sludge on conditions in Vietnam.

Keywords: Filter sludge; Screw; Elliptical gear.

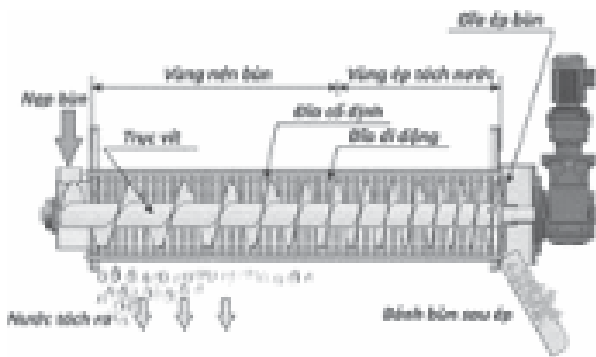
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bùn thải một phần sản phẩm cuối cùng của một quá trình xử lý nước thải. Nó gây ô nhiễm môi trường sống, môi trường làm việc. Việc xử lý ô nhiễm môi trường và hạn chế tác hại của nó tới đời sống đang được tất cả các quốc gia trên thế giới quan tâm. Đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp xử lý bùn và tách bùn đã được công bố, chủ yếu tập trung vào các phương pháp vật lý, hoá học và sinh học nhằm chuyển hoá bùn thành các dạng không độc hại hoặc tiêu huỷ lượng bùn phát sinh. Các

nghiên cứu về thiết bị tách bùn, chúng chủ yếu được các nhà sản xuất, công ty công nghệ chế tạo nên rất ít các công bố chi tiết về loại thiết bị này. Hiện nay, một số nghiên cứu đã công bố về thiết bị tách bùn phải kể tới như: máy tách bùn kiểu trục vít, tách bùn kiểu băng tải, tách bùn kiểu chân không, tách bùn kiểu khung bản, máy tách bùn đa đĩa,...

Máy tách bùn kiểu trục vít cho bùn sau ép khô, vận hành máy dễ dàng nhưng trục vít mòn nhanh, dễ xảy ra hiện tượng kẹt nước, hiệu quả thấp khi ép các loại bùn mịn và bùn có hạt

cứng [1]. Tách bùn kiểu băng tải cho năng suất và tuổi thọ thiết bị cao [2] nhưng giá thành chế tạo lớn, độ ẩm của bùn sau tách có độ ẩm cao, hiệu suất tách nước từ bùn kém. Tách bùn kiểu chân không được sử dụng phổ biến trong khai thác khoáng sản do có nhiều ưu điểm như [3]: Bùn sau tách có độ ẩm thấp (bùn khô), tách được các loại bùn mịn nhưng tuổi thọ vải lọc thấp, chi phí đầu tư và vận hành cao. Tách bùn kiểu khung bản có thể ép được nhiều loại bùn khác nhau [2], bùn sau ép có độ ẩm nhỏ nhưng năng suất ép thấp và chi phí sử dụng cao.



Hình 1. Nguyên lý làm việc máy tách bùn trục vít đa đĩa

Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp và thiết bị xử lý bùn thải. Nhóm tác giả Anne Wambui Mumbi, Li Fengting, Fridah Mwarania and Batzorig Uganchimeg [4], nghiên cứu đã đưa biện pháp giảm tiếng ồn trong sử dụng máy trục vít để lọc tách bùn. Tác giả J. Oliver, J. Vaxelaire [5] nghiên cứu sự ảnh hưởng các yếu tố hoạt tính tới khả năng tách bùn của vải lọc trên máy tách bùn kiểu chân không. Nhóm tác giả Okada, Takesi [6] đã nghiên cứu để tối ưu hóa biên dạng trục vít nhằm nâng cao khả năng làm việc của trục vít trong máy tách bùn kiểu trục vít. T. Remat, R. Branion [7] nghiên cứu máy tách bùn kiểu băng tải và kiểu trục vít để đánh giá hiệu quả làm việc trong quy mô phòng thí nghiệm. Hạt bùn chuyển động mạnh theo phương trọng lực nên

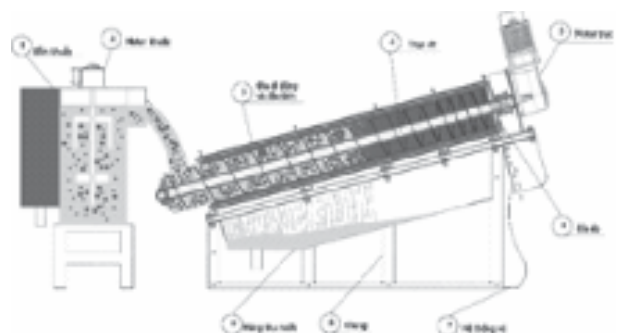
nước từ bùn dễ dàng được tách khỏi bùn và ít xảy ra hiện tượng kẹt nước hay tắc nước.

Máy tách bùn trục vít đa đĩa có nhiều ưu điểm trong lĩnh vực này và đang được ứng dụng phổ biến trong việc tách bùn để xử lý môi trường. Với đặc trưng không bị tắc nghẽn do các đĩa động và đĩa tĩnh luôn có chuyển động tương đối và hoạt động với nhiều nồng độ bùn khác nhau nên có thể sử dụng như là thiết bị cô đặc và ép bùn, giúp tiết kiệm mặt bằng và chi phí đầu tư cho trạm xử lý nước thải.

Dựa trên xu hướng phát triển máy tách, nhóm tác giả tập trung vào tính toán thiết kế để xây dựng mô hình máy tách trục vít đa đĩa. Nó là cơ sở quan trọng trong việc chế tạo thiết bị này trong nước.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Nguyên lý làm việc và cấu tạo



Hình 2. Nguyên lý làm việc

Trước tiên, máy tách bùn trục vít đa đĩa sử dụng máy bơm bơm hỗn hợp chất thải vào bể chứa. Bùn loãng được chuyển vào bồn khuấy trộn nằm trên máy ép bùn bằng thiết bị bơm bùn. Đồng thời, bơm định lượng sẽ bơm hóa chất polymer đã được pha loãng với nồng độ 0,1-0,2% vào bồn khuấy trộn. Tại đây, motor khuấy sẽ khuấy trộn đều bùn loãng và polymer để đảm bảo nồng độ bùn đều vào tương đối ổn

đỉnh và bùn được keo tụ và tạo bông. Sau đó, bùn loãng sẽ di chuyển xuống bên dưới bằng chuyển động quay của trục vít và quá trình cô đặc bùn, tách nước diễn ra.

Trục vít ở đây dùng bước vít thay đổi nhỏ dần về phía các đĩa vít cuối, làm áp suất bên trong tăng lên do thể tích nhỏ dần tạo áp lực để tách nước ra khỏi bùn. Nước được tách ra khỏi bùn qua các kẽ hở giữa các đĩa.

Bùn khô sẽ di chuyển ra đầu còn lại của máy ép nhờ chuyển động quay tịnh tiến của trục vít và chuyển động của đĩa ép thẳng lại chuyển động tịnh tiến của trục vít. Bùn sau khi ép sẽ được thu gom và vận chuyển bằng thùng chứa hoặc hệ thống vít.

Máy được cấu tạo bởi các bộ phận chính như: 1 – Bồn khuấy; 2 – Motor khuấy; 3 – Đĩa di động, đĩa tĩnh; 4 – Trục vít; 5 – Motor trục vít; 6 – Đĩa ép; 7 – Hệ thống vỏ; 8 – Khung máy; 9 – Máng thu nước.

2.2. Tính toán thông số trục vít

Bùn thải được chọn là loại phổ biến với độ pha rắn trung bình 45%; Năng suất lựa chọn: $Q = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Theo [6], năng suất của vít tải Q (tấn/h) được xác định qua công thức sau:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot n \cdot \rho \cdot k_c \cdot k_n \quad (1)$$

Trong đó: D – Đường kính vít tải (mm); p – Bước vít trung bình (mm); ρ – Khối lượng riêng của vật liệu vận chuyển (kg/mm^3); k_c – Hệ số chứa đầy tiết diện máng, phụ thuộc vật liệu, lấy $k_c = 2,9$; k_n – Hệ số phụ thuộc góc nghiêng β độ của vít tải, chọn $\beta = 20^\circ$ thì $k_n = 0,65$; n – Số

vòng quay vít tải (vòng/ phút), $n = \frac{k_v}{\sqrt{D}}$, với k_v là hệ số phụ thuộc vật liệu với bùn loãng, lấy $k_v = 1,8$.

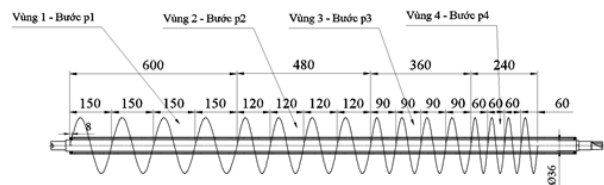
$$D = \left(\frac{Q}{37,7 \cdot k_v \cdot k_c \cdot k_n \cdot \rho} \right)^{2/5} = 0,2054 \text{ m} \quad (2)$$

Chọn D theo tiêu chuẩn, lấy $D = 200$ (mm).

Đường kính trong trục vít sẽ là:

$$d = 3,3 \cdot D = 3,3 \cdot 200 = 60 \text{ (mm)}. \quad (3)$$

Để tạo ra lực ép để tách nước ra được hiệu quả thì thể tích buồng ép được giảm dần về cuối giai đoạn ép. Bước vít thay đổi dần, $P_1 = 150 \text{ mm}$, $P_2 = 120 \text{ mm}$, $P_3 = 90 \text{ mm}$, $P_4 = 60 \text{ mm}$.



Hình 3. Trục vít ép

Góc xoắn vít thay đổi theo bước vít:

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot D} \quad (4)$$

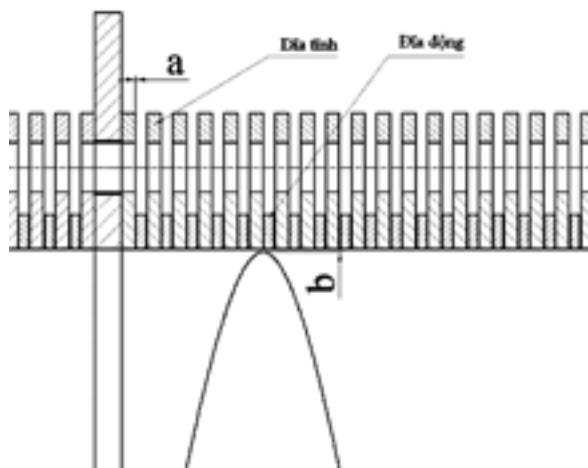
Bảng 1. Thông số trục vít và góc xoắn

Bước vít P (mm)	150	120	90	60
Góc xoắn vít (độ)	13,43	10,82	8,16	5,45

Để đảm bảo quá trình tách nước và bùn thì khe hở giữa trục vít và các đĩa tĩnh và động phải được đảm bảo một tỉ lệ hợp lý. Khoảng cách a giữa đỉnh vít và các đĩa tĩnh động phải đủ nhỏ để tạo ra buồng ép tốt nhưng không

được làm mòn đỉnh vít, chọn $a = 1 \text{ mm}$. Khoảng cách b giữa đĩa động và đĩa tĩnh tạo nên không gian dịch chuyển của đĩa động để nước thoát ra ngoài dễ dàng, đồng thời chống hiện tượng kẹt đĩa.

Kết quả thực nghiệm cho thấy tổng khe hở phù hợp với máy tách bùn $b = 0,5 \text{ mm}$ là phù hợp.



Hình 4. Khe hở tính toán

2.3. Tính chọn động cơ và các thông số động học khác

Bùn thải được chọn là loại phổ biến với độ pha rắn trung bình 45%; Năng suất tách nước $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vận tốc bùn đầu vào trục vít:

$$v_{1-\max} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = 1,83 (\text{m/s}) \quad (5)$$

Trong đó, A là diện tích mặt cắt ngang khoang tách bùn.

Với lượng bùn khô tách ra có độ ẩm 30% thì lượng nước tách ra 70% thì lưu lượng đầu ra của máy $Q' = 0,3Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vận tốc bùn đầu ra trục vít:

$$v_{2-\max} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = 0,55 (\text{m/s}) \quad (6)$$

Tốc độ trục vít được tính theo vận tốc đầu ra:

$$n = \frac{60000 \cdot v}{\pi \cdot D} = 5,25 \text{ (Vòng/phút)} \quad (7)$$

Công suất trên trục vít tải xác định theo:

$$P = c_o \cdot \frac{QL}{360} + \frac{QH}{360} = 0,945 \text{ KW} \quad (8)$$

Trong đó: Q – Năng suất của vít tải (kg/giờ); L – Chiều dài vận chuyển (m), H – Chiều cao vận chuyển (m); c_o – Hệ số lực cản, liệu với bùn loãng lấy $c_o = 36$.

Hiệu suất chung của hệ thống:

$$\eta = \eta_{ol} \cdot \eta_{kn} \cdot \eta_{ck} = 0,72 \quad (9)$$

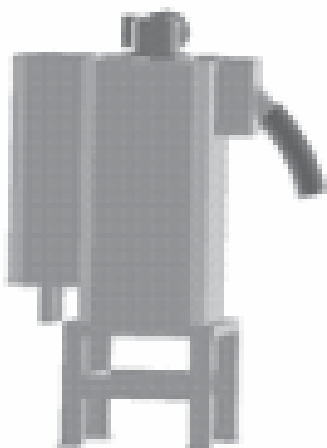
Công suất động cơ:

$$P_{dc} = \frac{P}{\eta} = \frac{0,945}{0,72} = 1,31 \text{ KW} \quad (10)$$

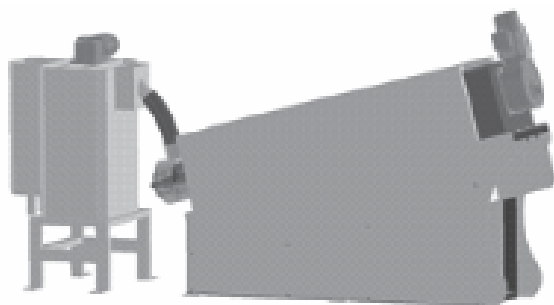
2.4. Kết cấu một số cơ cấu chính



Hình 5. Cụm tách bùn



Hình 6. Cụm bùn vào



Hình 7. Mô hình máy tách bùn

3. KẾT QUẢ

Dựa trên nguyên lý làm việc và đặc điểm cấu tạo máy. Nhóm tác giả tập trung tính toán động lực học hình thành trục vít của máy tách bùn. Từ đó, nhóm tập trung tính toán thiết kế và xây dựng mô hình các cụm tách nước, cụm truyền động, cụm khung máy và cuối cùng là bản vẽ lắp hoàn chỉnh (hình 7). Bản vẽ lắp là tài liệu quan trọng phục vụ quá trình chế tạo trong thời gian tới.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở – Địa chất đã hỗ trợ nguồn lực để thực hiện nghiên cứu cơ sở này, mã đề tài T23-02.❖

Ngày nhận bài: **28/9/2023**

Ngày phản biện: **25/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. É. L. R. L. Bouchaib El idrissi, "*Dewatering Parameters in a Screw Press and their influence on the screw press outputs*". Chemical Engineering Research and Design, 2019.
- [2]. Nguyễn Văn Thơm, "Luận văn Thạc sĩ khoa học với đề tài "Nghiên cứu đánh giá xử lý bùn đỏ Tây Nguyên"". Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2015.
- [3]. L. N. Vĩnh, "*Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị lọc chân không thùng quay*", 2009.
- [4]. L. F. F. M. a. B. U. Anne Wambui Mumbi, "*An assessment of multi-plate screw press in dewatering process of sludge treatment*". Int. J. Adv. Res. 5(12), , 2015, pp. 740-747,.
- [5]. J. v. J. Oliver, "*The Prediction of Filter Belt Press Dewatering Efficiency for Activated Sludge By Experimentation on Filtration Compression Cells*". Technology and Engineering University, 2016.
- [6]. T. Okada, "*New Screw Press Sludge Dewatering Equipment. Reduction of Sludge Moisture Content with a Minimum of Operator Maintenance*". Vol. 51, no. JAPAN TAPPI JOURNAL. , pp. . 351-356, 2017.
- [7]. R. B. T. Remat, "*A laboratory sludge press for characterizing sludge dewatering*". Water Science and Technology, Vols. Vol 35, pp. P 189-196, 2007.



TÍNH TOÁN KIỂM NGHIỆM THIẾT KẾ HỆ THỐNG GIÁ ĐỠ LÒ HƠI NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN THEO TIÊU CHUẨN ASME

DESIGN VERIFICATION CALCULATION OF STEAM GENERATOR SUPPORT FOR NUCLEAR POWER PLANT ACCORDING TO ASME CODE

ThS. Mai Quý Sáng, KSCC. Nguyễn Hà An, ThS. Hà Minh Thắng
Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Lò hơi là thiết bị quan trọng của nhà máy điện hạt nhân. Việc tái thiết kế được thực hiện vì mục đích đào tạo và kiểm tra thiết kế lò hơi theo tiêu chuẩn ASME. Giá đỡ lò hơi đỡ toàn bộ trọng lượng, chịu áp suất và tải trọng gây ra bởi các thành phần tương tác đảm bảo tính toàn vẹn của lò hơi. Mục tiêu của bài viết phân tích sự thay đổi cường độ ứng suất tuyến tính trong vùng liên tục và không liên tục của giá đỡ sử dụng phần mềm ANSYS. Kết quả được so sánh với các giá trị tiêu chuẩn ASME, xác định độ chính xác của phân tích FEM với mô hình đối xứng trục 2D đơn giản hóa.

Từ khóa: Lò hơi; Giá đỡ; Tiêu chuẩn ASME; Phân tích FEM.

ABSTRACT

The steam generator is an important equipment of the Nuclear Power Plant. The design re-engineering was carried out for training object and inspection Steam Generator design according to ASME codes. The support of Steam Generator supports all the weight, bear pressure and loads caused by interacting components to ensure the integrity of the SG. The goal of this paper is to analyze the Linearized Stress Intensity change in the continuous and discontinuous regions of the support by using ANSYS software. Results compared to the standard values of ASME code, ascertained the accuracy of the FEM analysis with the simplified 2D axisymmetric model.

Keywords: Steam Generator (SG); Support; ASME code; FEM analysis

1. GIỚI THIỆU

Lò hơi là thiết bị trao đổi nhiệt, chuyển năng lượng phản ứng hạt nhân thành năng lượng hơi nước chạy tua bin phát điện. Hệ thống giá đỡ có dạng trụ nón rỗng, đảm bảo độ cứng vững để ngăn cản sự cố rò rỉ nước làm mát chứa phóng xạ ra môi trường và duy trì liên

kết hệ thống trong mọi điều kiện hoạt động. Mô hình phân tích bao gồm hệ thống đỡ và phần đầu dưới lò hơi (vòng 1). Mô hình đối xứng trục 2D phân tích ứng suất màng và ứng suất uốn tuyến tính. Kết quả tính toán ứng suất thiết kế và điều kiện loại A được so sánh với giới hạn cho phép của ASME Phần III, mục NB và NF. Giá đỡ và lò hơi được mô tả như hình 1.

ứng suất cụ thể”. Theo bảng NF – 3221.2-1, hệ số giới hạn ứng suất áp dụng cho cường độ ứng suất màng thiết kế cho phép hoặc cường độ ứng suất màng cộng với cường độ ứng suất uốn (K_{bk} , K_m) và hệ số giới hạn ứng suất áp dụng cho ứng suất cắt thiết kế cho phép (K_v) là 1,0. Trong mục NF – 3121.11, không yêu cầu đánh giá ứng suất nhiệt trong giá đỡ [1].

2.2.3. Tính toán tải trọng

a. Khối lượng của các bộ phận của lò hơi

Từ kích thước của lò hơi, khối lượng của các bộ phận được ước tính như bảng sau:

Bảng 2. Kết quả tính toán khối lượng các bộ phận lò hơi:

STT	Mô tả	Giá trị	Đ.vị
1	Khối lượng vỏ $m_{vỏ}$	555,451.60	kg
2	Tấm lắp ống và bó ống	362,903.65	kg
3	Vách ngăn và các bộ phận phía trên	59,817.41	kg
4	Khối lượng nước	110,311.70	kg

* Khối lượng nước bên trong lò hơi:

$$\begin{aligned} m_{nước} &= V_{nước} * \rho_{nước} \\ &= (V_{vỏ} - V_{ống}) \rho_{nước} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó:

Thể tích vỏ và thể tích ống được tính như sau:

$$V_{vỏ} = \pi * D_s * H$$

$$V_{ống} = L_{ống} * (\pi r_o^2 - \pi r_i^2)$$

Trong vòng làm mát thứ 2 (phía trên tấm lắp bó ống), nhiệt độ làm việc: $t = 284.2$ °C, áp suất làm việc: $P=1000$ psi.

* Khối lượng của bó ống:

$$m_{ống} = V_{ống} * \rho_{ống} \quad (2)$$

Với vật liệu của ống là hợp kim Inconel 690.

$$\rho_{ống} = 0.296 \frac{lb}{in^3} = 8,193.3 kg/m^3$$

b. Tính toán các tải trọng

* Tải trọng phân bố trên vỏ gây ra bởi trọng lượng vỏ:

$$P_{vỏ} = m_{vỏ} * 10/A_{vỏ} \quad (3)$$

* Tải trọng phân bố trên vỏ gây ra bởi áp suất bên trong:

$$P_{vỏ2} = P_{2nd} * A_{trong}/A_{vỏ} \quad (4)$$

* Tải trọng phân bố trên tấm lắp ống gây ra bởi trọng lượng của vách ngăn và bộ tách ẩm:

$$P_{vách} = m_{vách} * 10/A_{vách} \quad (5)$$

* Tải trọng phân bố trên tấm lắp ống gây ra bởi trọng lượng của tấm lắp ống và bó ống:

$$P_{bó ống} = m_{bó ống} * 10/A_{ống} \quad (6)$$

* Tải trọng phân bố trên tấm lắp ống gây ra bởi trọng lượng nước:

$$P_{\text{nước}} = m_{\text{nước}} * 10 / A_{\text{trong}} \quad (7)$$

* Giới hạn thiết kế [3]:

Giới hạn thiết kế bao gồm áp suất thiết kế và tự trọng của các bộ phận:

Bảng 3. Kết quả tính toán giới hạn thiết kế:

STT	Mô tả	Giá trị	Đ.vị
	Phía vòng làm mát sơ cấp (vòng 1)		
1	Áp suất thiết kế	2500	Psi
2	Nhiệt độ thiết kế	650	°F
	Phía vòng làm mát thứ cấp (vòng 2)		
3	Áp suất thiết kế	1200	Psi
4	Nhiệt độ thiết kế	570	°F
	Các tải trọng		
5	Tải do trọng lượng vỏ	2.56	MPa
6	Tải trọng do áp suất bên trong	66.65	MPa
7	Tải trọng trên vách ngăn	1.24	MPa
8	Tải trên tấm lắp ống	0.199715	MPa
9	Tải do trọng lượng nước	0.052637	MPa

* Giới hạn làm việc loại A [3]:

Giới hạn làm việc loại A là ở điều kiện vận hành bình thường của nhà máy nó bao gồm áp suất vận hành và tự trọng của các bộ phận.

Bảng 4. Kết quả tính toán giới hạn làm việc loại A:

STT	Mô tả	Giá trị	Đ.vị
	Phía vòng làm mát sơ cấp (vòng 1)		
1	Áp suất vận hành	2250	Psi
2	Nhiệt độ làm mát đầu vào	615	°F
3	Nhiệt độ làm mát đầu ra	555	°F

	Phía vòng làm mát thứ cấp (vòng 2)		
4	Áp suất hơi	1000	Psi
5	Nhiệt độ hơi	543.6	°F
	Tải trọng		
	Tất cả các tải trọng giống như Giới hạn thiết kế		

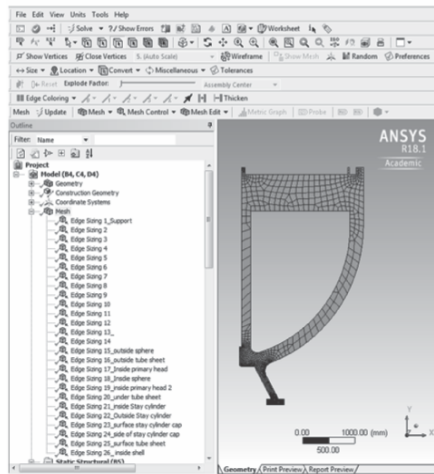
3. PHÂN TÍCH ỨNG SUẤT THEO TIÊU CHUẨN ASME

3.1. Kết quả tính toán cho giới hạn thiết kế

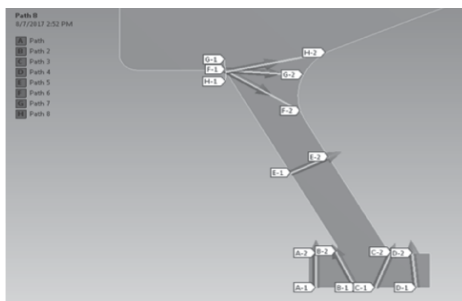
Trong cơ khí, mô hình lưới được tối ưu hóa thông qua kích cỡ cạnh, số lượng kiểu phân chia của lưới phụ thuộc vào độ nhạy của cạnh và độ lệch được điều chỉnh cho phù hợp. Tất cả các cạnh được điều chỉnh như mô tả trong hình 3 để chuẩn bị mô hình cho việc đánh giá ứng suất theo yêu cầu của tiêu chuẩn.

Để cho phép đánh giá cường độ ứng suất tuyến tính hóa tại các vị trí khác nhau trong giá đỡ, bao gồm cường độ ứng suất màng chính, cường độ ứng suất màng cục bộ và ứng suất uốn, các đường (path) được tạo ở các vị trí quan tâm khác nhau. Tám đường đã được tạo trong mô hình như được mô tả trong hình 4 để đánh giá chi tiết các phần của giá đỡ, đặc biệt là các vùng gián đoạn.

Tổ hợp tải trọng được áp dụng theo bảng 3 và định vị cố định giá đỡ, mô hình tính toán được thể hiện trên hình 5. Nhiệt độ không yêu cầu đối với điều kiện thiết kế do đó hiệu ứng nhiệt không cần xem xét trong trường hợp này.

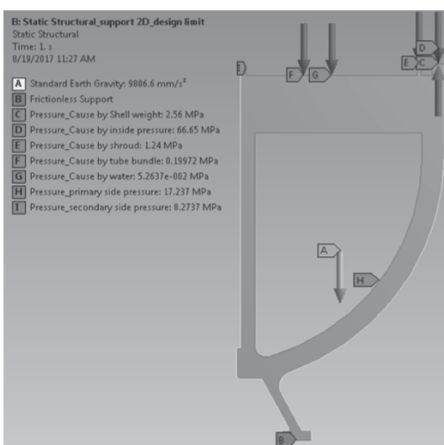


Hình 3. Tạo lưới cho giá đỡ

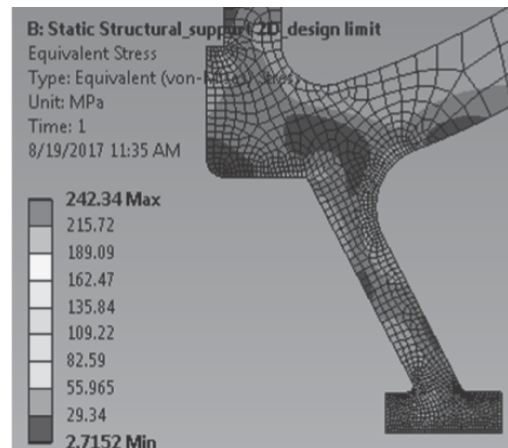


Hình 4. Các đường phân tích ứng suất

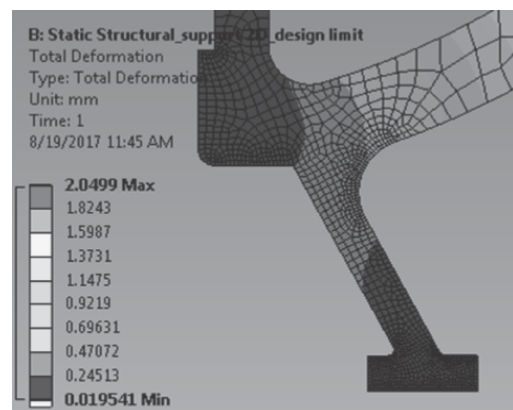
Mô hình sau đó được đánh giá về biến dạng tổng thể, ứng suất tương đương (hình 6) và cường độ ứng suất tuyến tính (hình 8, hình 9 và bảng 5).



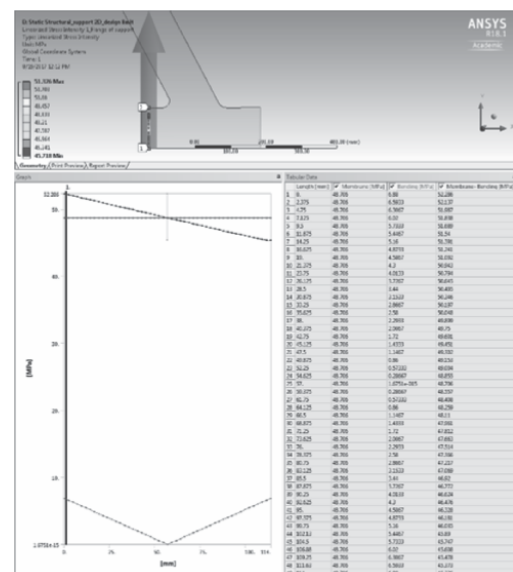
Hình 5. Tổ hợp tải trọng đối với giới hạn thiết kế



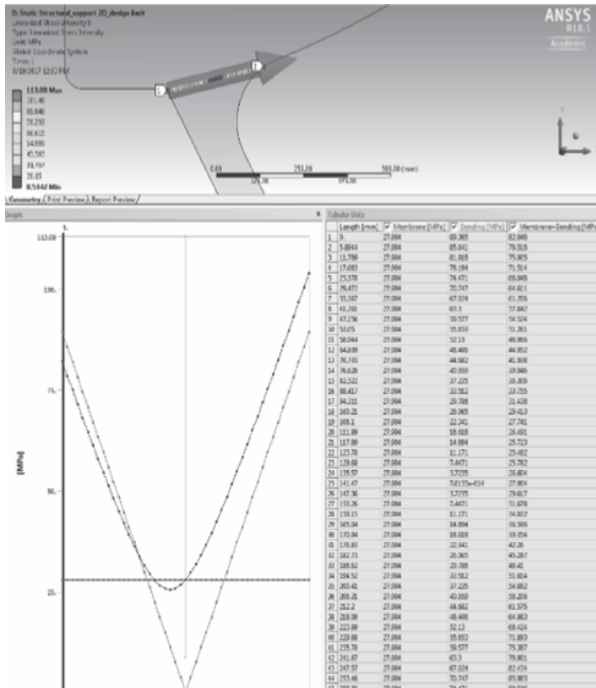
Hình 6. Ứng suất tương đương của giá đỡ



Hình 7. Biến dạng tổng thể



Hình 8. Ứng suất tuyến tính trên đường 1



Hình 9. Ứng suất tuyệt tính trên đường 8

Từ các đường, ứng suất uốn, ứng suất màng lớn nhất theo bảng 5, sau đó so sánh với ứng suất cho phép của vật liệu S_m .

Bảng 5. Phân tích ứng suất cho giới hạn thiết kế:

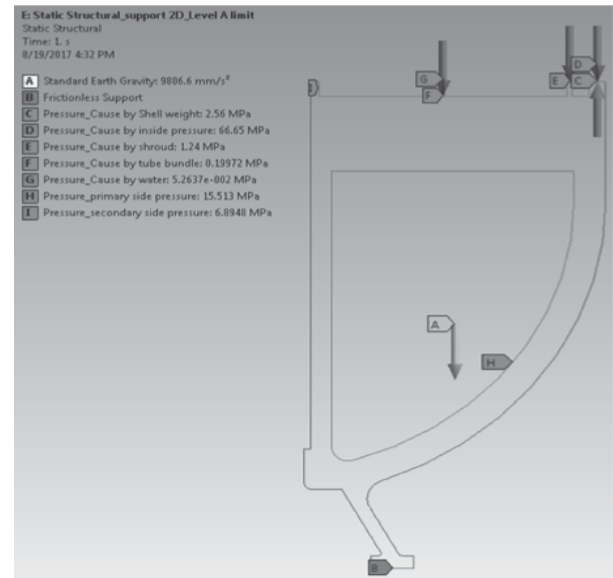
Đường (path)	P_m MPa	P_m (hoặc P_L) + P_b MPa	S_m MPa	$1.5S_m$ MPa
1 (A1-A2)	48.7	52.3	184	276
2 (B1-B2)	76.9	96.8	184	276
3 (C1-C2)	42.7	51.2	184	276
4 (D1-D2)	34.0	34.3	184	276
5 (E1-E2)	54.0	75.7	184	276
6 (F1-F2)	40.3	125.0	184	276
7 (G1-G2)	17.2	110.7	184	276
8 (H1-H2)	27.9	103.9	184	276

Các đường 1, 4 và 5, ứng suất màng là ứng suất màng chính (vị trí liên tục). Trong đường 2, 3, 6, 7 và 8 ở các vị trí không liên tục vì vậy ứng suất màng là ứng suất cục bộ. Trong

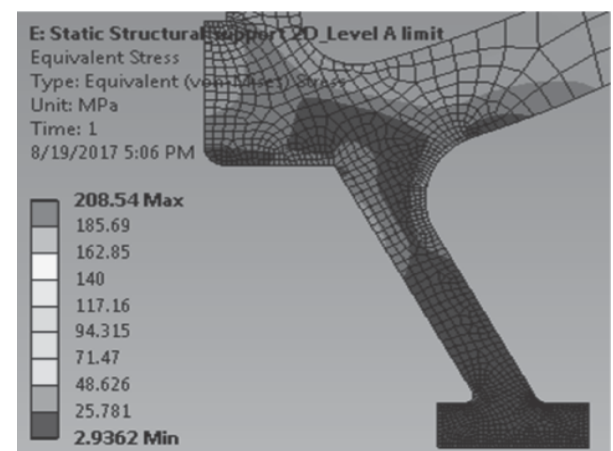
giá đỡ, ứng suất theo đường 8 là lớn nhất. Từ bảng 5, cường độ ứng suất của giá đỡ ở điều kiện thiết kế thỏa mãn giới hạn đưa ra bởi tiêu chuẩn thiết kế ASME BPVC phần III, mục 1 NF-3221.1 và NF-3223.

3.2. Kết quả cho Giới hạn loại A

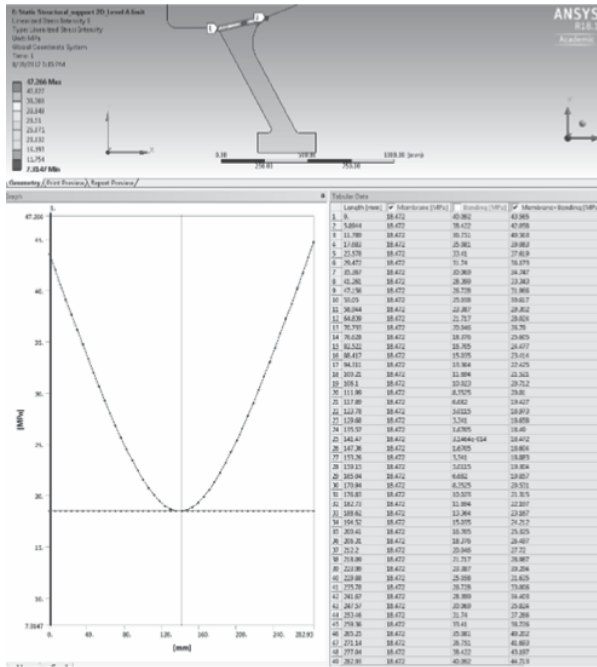
Tổ hợp tải trọng được áp dụng trên mặt cắt theo bảng 4 và định vị cố định áp dụng cho giá đỡ, mô hình tính toán được thể hiện trên hình 10.



Hình 10. Tổ hợp tải trọng cho loại A



Hình 11. Ứng suất tương đương cho giới hạn loại A



Hình 12. Ứng suất tuyến tính theo đường 8

Bảng 6. Phân tích ứng suất cho giới hạn loại A:

Đường (path)	P_m MPa	P_m (hoặc P_L) + P_b MPa	S_m MPa	$1.5S_m$ MPa
1 (A1-A2)	5.3	6.3	184	276
2 (B1-B2)	11.2	16.6	184	276
3 (C1-C2)	4.1	5.5	184	276
4 (D1-D2)	3.4	3.6	184	276
5 (E1-E2)	15.6	18.7	184	276
6 (F1-F2)	14.1	49.7	184	276
7 (G1-G2)	15.3	57.6	184	276
8 (H1-H2)	18.5	44.7	184	276

Từ các kết quả trong bảng 6, cường độ ứng suất của giá đỡ ở giới hạn loại A thỏa mãn giá trị giới hạn được đưa ra bởi tiêu chuẩn ASME.

4. KẾT LUẬN

1) Hệ thống giá đỡ dạng vỏ đã được tính toán lại dưới góc độ phân tích ứng suất. Ứng suất tính toán đáp ứng các yêu cầu giới hạn, cho thấy rằng, giá đỡ có thể chịu tải trọng, trọng lượng của lò hơi trong quá trình vận hành an toàn.

2) Thiết kế giá đỡ lò hơi đã được đánh giá và phân tích bằng phương pháp FEA sử dụng ANSYS Workbench. Việc phân tích kết cấu tĩnh được tiến hành cho một số trường hợp ở một số vị trí khác nhau. Kết quả phân tích được so sánh với các giới hạn của tiêu chuẩn ASME để cho thấy rằng nó tuân thủ các yêu cầu. ❖

Ngày nhận bài: 05/12/2023

Ngày phản biện: 14/12/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. T. A. S. of M. Engineers, “ASME section III, DI NF-3000,” 2015.
- [2]. T. A. S. of M. Engineers, ASME Boiler & Pressure Vessel Code - Section II Part D-2007. Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2007.
- [3]. K. KEPSCO, “APRI400 SSAR -Ch5 . Reactor Coolant System and Connected Systems,” 2011.

DAO ĐỘNG TỰ DO CỦA TẤM HÌNH THANG LÀM BẰNG VẬT LIỆU COMPOSITE SỢI THỦY TINH NỀN POLYESTER

FREE VIBRATION OF GLASS FIBER/ POLYESTER COMPOSITE PLATE

TS. **Bùi Văn Bình**, ThS. **Phạm Hải Trình**
Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Các cánh gió điều khiển máy bay không người lái, cánh tuabin, cánh điều khiển hướng trong tàu lặn, tên lửa, ... thường có dạng hình thang với các vật liệu khác nhau. Hiểu được các ứng xử dao động của chúng là rất quan trọng trong việc thiết kế kết cấu và điều khiển. Bài báo trình bày kết quả tính toán tần số dao động, dạng dao động tự do của tấm dạng hình thang làm bằng vật liệu composite sợi thủy tinh/nền polyester. Ảnh hưởng của góc sợi, hình dạng hình học của tấm được khảo sát. Thuật toán và chương trình tính được viết bằng Matlab dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất Reissner-Mindlin, sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do.

Từ khóa: Tấm hình thang; Vật liệu composite; Dao động tự do; Dạng dao động; Phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

Wind blades that control drones/aeroplane, turbine blades, direction control blades in submersibles, missiles,...are often trapezoidal in shape with different materials. Understanding their vibration behaviors is important in structural design and control program design. This paper presents some numerical results of free vibration and mode shape analyses of the glass fiber/polyester composite plate. The effects of fiber orientations, geometric shape of the plate were considered. The Matlab programming using eight-noded rectangular isoparametric plate element with five degree of freedom per node based on Reissner-Mindlin plate theory was built to solve the problems.

Keywords: Trapezoidal plate; Composite material; Free vibration; Mode shape; Finite element method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu composite lớp thường được sử dụng để chế tạo thân, cánh máy bay loại này vì các đặc tính đặc biệt của nó so với các loại vật liệu khác như khả năng chống rada, giảm thiểu các ảnh hưởng của trường điện từ, trọng lượng

nhẹ, dễ dàng gia công bằng phương pháp thủ công, ... Tính toán dao động của thân, cánh máy bay, cánh máy bay không người lái, cánh tuabin, ... là một trong những mối quan tâm hàng đầu của các nhà khoa học, người thiết kế kỹ thuật. Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu về ứng xử cơ học của các kết cấu tấm có hình

dạng hình học như vát, xiên, chéo và các tấm dạng hình thang đã được công bố với nhiều cách tiếp cận khác nhau.

Năm 2017, Blandzi và các cộng sự trong [1] đã tính toán uốn và dao động của tấm dạng tứ giác dựa trên nguyên lý Hamilton. Kumari và Lal [2], dựa trên lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất với quan hệ chuyển vị biến dạng của Von Karman, phân tích phi tuyến ứng xử uốn của tấm hình tứ giác có kể đến biến dạng cắt và tính không đối xứng của hình dạng hình học dưới tải trọng phân bố đều. Kumari và Lal [3] phân tích phi tuyến ứng xử uốn của tấm hình tứ giác đối xứng và không đối xứng làm bằng vật liệu composite nhiều lớp. Trong đó, mô hình tính có kể đến biến dạng cắt và tính không đối xứng của hình dạng hình học dưới tải trọng phân bố đều bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Blandzi và các cộng sự trong [4] đã tính toán uốn và dao động của tấm dạng tứ giác làm bằng bảy lớp kim loại với hai lớp giữa gấp nếp dạng lượn sóng hình thang xếp trực giao nhau dưới tác động của tải trọng tĩnh và tải trọng xung. Năm 2018, Jeyaraj và Ashok [5] trình bày kết quả tính toán độ võng và ứng suất nhiệt của tấm composite dưới tác động của trường nhiệt không đều và có kể đến sự bong tách các lớp,... Năm 2020, Maharudra và các cộng sự [6] sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao, thiết lập công thức phần tử hữu hạn để khảo sát dao động, ổn định của tấm composite dạng tứ giác có và không khoét lỗ,...

Tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu về loại kết cấu này đã và đang được quan tâm nghiên cứu. Bài báo trình bày một số kết quả tính toán tần số dao động tự do, phân tích dạng dao động của tấm composite có dạng hình thang dựa trên lý thuyết tấm của Reissner-Mindlin khi thay đổi các tham số hình học và góc sợi composite của vật liệu.

2. THIẾT LẬP CÔNG THỨC PHẦN TỬ HỮU HẠN

2.1. Cơ sở lý thuyết

Theo Reissner-Mindlin [7], các thành phần chuyển vị u , v , w của tấm được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y) + z\theta_x(x, y) \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y) + z\theta_y(x, y) \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó: u_0 , v_0 và w_0 là các thành phần chuyển vị của điểm trên mặt trung bình ($z = 0$) theo các phương x , y và z .

θ_x và θ_y lần lượt là góc xoay của pháp tuyến mặt trung bình quanh các trục y và x .

2.2. Xây dựng công thức phần tử hữu hạn

Áp dụng lý thuyết tấm nhiều lớp [8], lực màng $\{N\}$, mômen uốn $\{M\}$ và lực cắt $\{Q\}$ được xác định bằng tích phân ứng suất theo độ dày của tấm và được xác định như sau:

$$\begin{Bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \\ \{Q\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A_{ij}] & [B_{ij}] & [0] \\ [B_{ij}] & [D_{ij}] & [0] \\ [0] & [0] & [F_{ij}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\varepsilon^0\} \\ \{\kappa\} \\ \{\gamma^0\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó:

$$([A_{ij}], [B_{ij}], [D_{ij}]) = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} ([Q_{ij}]_k) (1, z, z^2) dz$$

với $i, j = 1, 2, 6$ (3)

$$[F_{ij}] = \sum_{k=1}^n f \int_{h_{k-1}}^{h_k} ([C_{ij}]_k) dz;$$

với $f = 5/6$; $i, j = 4, 5$ (4)

n : là số lớp composite, h_{k-1} , h_k : lần lượt là độ cao vị trí của mặt trên và mặt dưới của lớp thứ k .

$[Q'_{ij}]_k$ và $[C'_{ij}]_k$ là các ma trận độ cứng thu gọn của lớp thứ k .

Bằng việc sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do, các chuyển vị của điểm bất kỳ của mặt trung bình của tấm được xác định:

$$\begin{aligned} u_0 &= \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot u_i; \quad v_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot v_i; \\ w_0 &= \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot w_i; \quad \theta_x = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{xi}; \\ \theta_y &= \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{yi}; \end{aligned} \quad (5)$$

$N_i(\xi, \eta)$ là các hàm dạng của phần tử đẳng tham số 8 nút trong hệ tọa độ phần tử (ξ, η) .

Ma trận độ cứng phần tử được xác định như sau:

$$[k]_{e(40 \times 40)} = \int_{A_e} ([B]^T)^T [H] [B] t dA_e \quad (6)$$

Phương trình dao động tự do không cản của kết cấu được xác định là:

$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{0\} \quad (7)$$

Trong đó: $\{u\}$, $\{\ddot{u}\}$ là véc tơ chuyển vị nút, véc tơ gia tốc của chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể.

$[M]$, $[K]$ lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận độ cứng trong hệ tọa độ tổng thể, được xác định như sau:

$$[M] = \sum_1^n [m^*]_e; [K] = \sum_1^n [k^*]_e; \quad (8)$$

Ở đây:

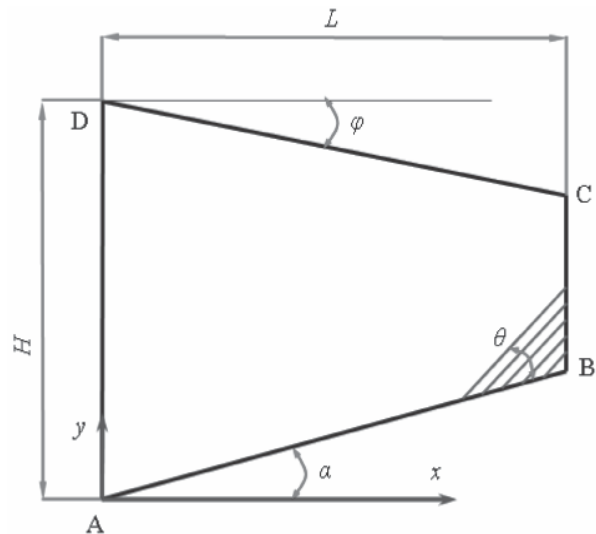
$$[m^*]_e = [T]^T [m]_e [T]; [k^*]_e = [T]^T [k]_e [T];$$

Với n là số phần tử, $[T]$ là ma trận chuyển trục tọa độ.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN SỐ

3.1. Đối tượng khảo sát

Xét kết cấu tấm composite lớp (ABCD) có hình dạng thang, kích thước như Hình 1.



Hình 1. Tấm hình thang bằng vật liệu composite lớp

Trong đó, $H = 1(\text{m})$; $L = 0.8(\text{m})$; tấm dày $t = 1(\text{cm})$ gồm 10 lớp composite có cấu hình góc sợi lệch trục là $[45/-45]_5$ và cấu hình đúng trục là $[90^0/0^0]_5$ (ký hiệu là $\theta = 90^0$); góc α và φ (độ).

Vật liệu composite được khảo sát là composite cốt sợi thủy tinh nền polyester có cơ tính như trong Bảng 1.

Bảng 1. Cơ tính vật liệu composite cốt sợi thủy tinh/nền polyester:

E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (GPa)	ν_{12}	ρ (kg/m ³)
60.7	24.8	12	0.23	1300

Điều kiện biên được khảo sát trong trường hợp: ngàm tại cạnh AD, các cạnh khác tự do.

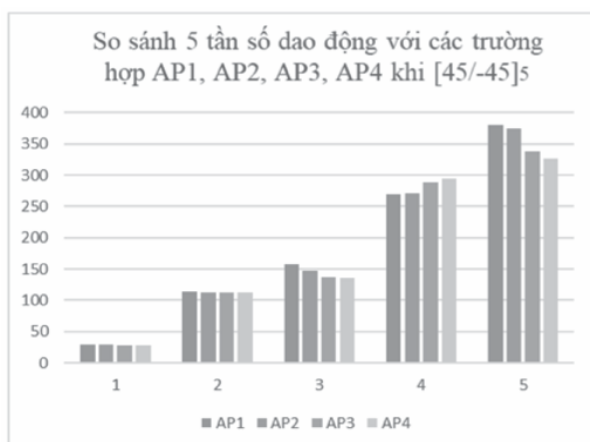
3.2. Khảo sát ảnh hưởng của hình dạng hình học

Để khảo sát ảnh hưởng của hình dạng hình học đến tần số dao động của tấm, bài báo xét tấm có cấu hình góc sợi $[45^0/-45^0]_5$ và $[90^0/0^0]_5$ cho các trường hợp với các góc α và φ thay đổi như sau:

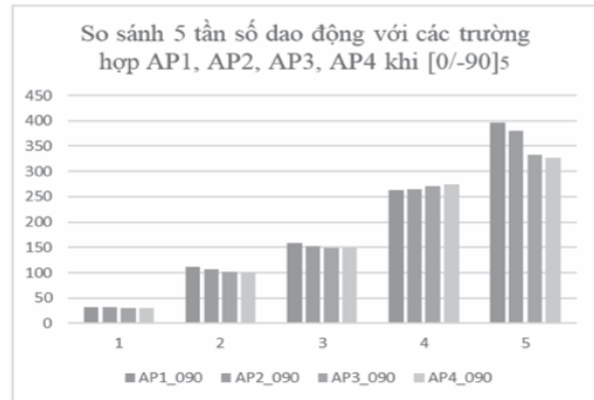
AP1: Góc $\alpha = 5$ (độ) và $\varphi=45$ (độ); AP2: Góc $\alpha = 10$ (độ) và $\varphi=40$ (độ);

AP3: Góc $\alpha = 20$ (độ) và $\varphi=30$ (độ); AP4: Góc $\alpha = 25$ (độ) và $\varphi=25$ (độ).

Kết quả tính toán năm tần số dao động đầu tiên được trình bày trên Hình 2 và Hình 3.

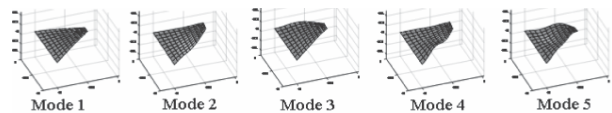


Hình 2. Ảnh hưởng của các góc góc α và φ thay đổi đến năm tần số dao động riêng đầu tiên khi cấu hình góc sợi lệch trục $[45/-45]_5$

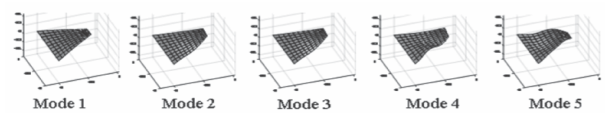


Hình 3. Ảnh hưởng của các góc α và φ thay đổi đến năm tần số dao động riêng đầu tiên khi cấu hình góc sợi đúng trục $[0/90]_5$

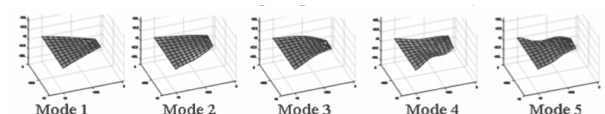
Năm dạng dao động đầu tiên tương ứng với các trường hợp AP1, AP2, AP3, AP4 khi cấu hình góc sợi lệch trục $[45/-45]_5$ được trình bày trên Hình 4, Hình 5, Hình 6 và Hình 7.



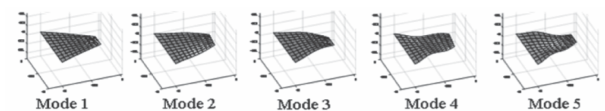
Hình 4. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\alpha = 5^0$ và $\varphi=45^0$ (AP1)



Hình 5. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\alpha = 10^0$ và $\varphi=40^0$ (AP2)



Hình 6. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\alpha = 20^0$ và $\varphi=30^0$ (AP3)



Hình 7. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\alpha = 25^0$ và $\varphi=25^0$ (AP4)

Nhận xét:

- Hình 2 và Hình 3 cho thấy, khi hình dạng hình học của kết cấu tấm thay đổi mà tổng các góc ở đáy hình thang không đổi thì tần số dao động riêng của kết cấu tấm không thay đổi nhiều cho cả hai trường hợp cấu hình composite đứng trục và lệch trục. Tần số dao động riêng của các kết cấu tấm có cấu hình đứng trục lớn hơn tần số tương ứng khi tấm có cấu hình lệch trục.

- Hình 4 đến Hình 7 cho thấy, năm dạng dao động đầu tiên của các tấm tương ứng với các trường hợp AP1 đến AP4 tương tự nhau. Trong đó, dạng dao động thứ nhất là uốn, thứ 2 là xoắn, thứ 3 là uốn thứ 4 và thứ 5 là uốn và xoắn kết hợp.

4. KẾT LUẬN

Bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất của Reissner-Mindlin, thuật toán và chương trình tính toán số đã được thiết lập để khảo sát dao động của tấm có dạng hình thang làm bằng vật liệu composite cốt sợi thủy tinh nền polyester. Thông qua các kết quả khảo sát số của nghiên cứu, có thể đưa ra một số kết luận như sau: Khi thay đổi hình dạng hình học của tấm mà tổng các góc ở đáy hình thang không đổi thì tần số dao động và dạng dao động của kết cấu tấm không thay đổi đáng kể.

Bài báo này là kết quả nghiên cứu đề tài mã số: ĐTKHCN.07/2022 của Trường Đại học Điện lực năm 2022. ❖

Ngày nhận bài: 01/12/2023

Ngày phản biện: 18/12/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. E.M. Blandzi, Z. Walczak, L.Wittenbeck, P. Jasion, M.Rodak, W. Szyk, J. Lewiński (2017), *Stability and vibrations of a metal seven-layer rectangular plate with trapezoidal corrugated cores*, Thin-Walled Structures 114, pp.154-163.
- [2]. E. Kumari, S. Lal (2017), *Nonlinear bending analysis of laminated composite symmetric and un-symmetric trapezoidal plates under uniformly distributed load*, International Journal of Mechanical Sciences, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2017.05.045.
- [3]. E.Kumari, S.Lal (2017), *Nonlinear bending analysis of laminated composite symmetric and un-symmetric trapezoidal plates under uniformly distributed load*, International Journal of Mechanical Sciences, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2017.05.045.
- [4]. E.M. Blandzi, Z. Walczak, L.Wittenbeck, P. Jasion, M.Rodak, W.Szyk, J. Lewiński (2017), *Stability and vibrations of a metal seven-layer rectangular plate with trapezoidal corrugated cores*, Thin-Walled Structures 114, pp.154-163.
- [5]. S.Ashok, P.Jeyaraj (2018), *Static deflection and thermal stress analysis of non-uniformly heated tapered composite laminate plates with ply drop-off*, Structures 15, pp.307-319.
- [6]. B.A. Maharudra, T. Rajanna (2020), *Effect of trapezoidal shaped laminated composite plate with and without cutout on vibration characteristics*, Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.228>.
- [7]. Bathe, K-J (1996); *Finite element procedures*, Prentice-Hall, Inc.
- [8]. Autar K. Kaw (2006); *Mechanics of Composite Materials*, Taylor & Francis Group, LLC.



ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC NUNG THÉP 40X ĐỂ NHIỆT LUYỆN TRONG MÔI TRƯỜNG KHÍ NI TƠ

EFFECTS OF BINKING STEEL 40X FOR HEAT TREATMENT IN A NITROGEN ENVIRONMENT

Lê Phú Cường*, Cao Xuân Lại, Lê Thái Sơn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

TÓM TẮT

Chúng tôi đã cải tạo lò điện trở CHO thành lò nung trong môi trường được cung cấp khí N₂ bằng cách sử dụng phương pháp đơn giản và tiết kiệm chi phí. Kết quả đạt được khi lò tăng cường thêm khí N₂ nung ở nhiệt độ 850°C ÷ 900°C để nhiệt luyện thép 40X cho thấy hiệu quả tăng lên khi nung phôi trong môi trường được cung cấp liên tục khí N₂ với áp suất 0,3at trong quá trình nung và giữ nhiệt khí N₂ được đưa liên tục vào lò. Phôi được đưa vào lò khi lò đạt nhiệt độ 400°C. Để tạo điều kiện cho quá trình thấm 500°C ÷ 550°C, phôi được giữ nhiệt trong 1 giờ với nhiệt độ và áp suất không khí như trên (đối với phôi nung trong môi trường được cấp liên tục khí N₂). Một loạt mẫu đã được tiến hành thí nghiệm trong cùng nhiệt độ và môi trường nhiệt luyện, chỉ khác môi trường nung, để đối chứng so sánh. Dùng máy đo độ cứng, kính hiển vi điện tử để kiểm tra các mẫu thí nghiệm, ta thấy kết quả thay đổi, môi trường nung trong lò được cung cấp thêm khí N₂ chất lượng sản phẩm sau khi nhiệt luyện đã tăng lên đáng kể.

Từ khóa: Khí Nitơ; Lò nung; Lưu lượng; Thấm Nitơ; Chất lượng bề mặt.

ABSTRACT

We converted the resistance furnace CHO, into a furnace in a nitrogen-fed environment using a simple and cost-effective method. The results achieved when the furnace was supplemented with nitrogen gas at a temperature of 850°C ÷ 900°C to heat 40X alloy steel showed increased efficiency when heating the workpiece in an environment continuously supplied with nitrogen gas at a pressure of 0.3at. During the heating and heating process, nitrogen gas is continuously fed into the furnace. The embryo is put into the furnace when the temperature reaches 400°C. To facilitate the permeation process at 500°C ÷ 550°C, the workpiece is kept heated for 1 hour with the above temperature and air pressure (for workpieces heated in an environment continuously supplied with nitrogen gas). A series of samples were tested at the same temperature and heat treatment environment, only the firing environment was different, for comparison. Using a hardness tester and an electron microscope to check the test samples, we found that the results changed. The heating environment in the furnace was provided with additional nitrogen gas, and the quality of the product after heat treatment increased significantly.

Keywords: Nitrogen gas; Furnace; Flow rate; Nitriding; Surface quality.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

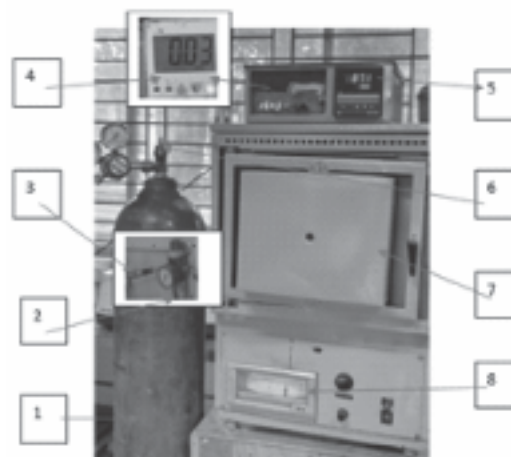
Nitơ trong tự nhiên xuất hiện dưới dạng khí không màu, không mùi, không vị, không cháy và không độc hại, ở điều kiện tiêu chuẩn chiếm 78% theo thể tích của khí quyển của Trái đất nhưng sẽ không tự nó hỗ trợ sự sống mà được hòa cùng khí Oxy [2, 3]. Trong nhiệt luyện, N_2 góp phần quan trọng quyết định đến độ cứng, chất lượng bề mặt chi tiết, đảm bảo thẩm mỹ, nâng cao khả năng chống ăn mòn, chống bị Oxy hóa trên bề mặt kim loại [1].

Thấm N_2 xảy ra vào khoảng $500^\circ C$ [5, 6], vì vậy khi nung để nhiệt luyện chi tiết thép 40X, để nhiệt luyện chỉ nên nung đến $850^\circ C$, không nên nung với nhiệt độ cao sẽ làm tổ chức hạt chi tiết lớn lên, làm tăng tính giòn, giảm tính dẻo dai vốn có của nó [4]. Trong quá trình nung trong lò điện trở được cấp liên tục khí N_2 , chúng tôi nhận thấy sản phẩm đã bớt một phần Oxy hóa, chất lượng bề mặt tốt hơn, đặc biệt độ cứng chi tiết sau khi nhiệt luyện được cải thiện đáng kể. Như vậy, công nghệ này nên được nhân rộng để nung phôi, phục vụ quá trình nhiệt luyện.

2. CÁC BƯỚC TIẾN HÀNH

2.1. Điều kiện thí nghiệm

Chúng tôi đã tiến hành thí nghiệm với 12 mẫu thử, thực hiện ở hai chế độ nung khác nhau, nung trong môi trường được liên tục cung cấp khí N_2 với lưu lượng 0,3at, giữ nhiệt 1h và nung trong môi trường khí tự nhiên theo các cấp nhiệt độ $800^\circ C$, $850^\circ C$, $900^\circ C$. Mỗi bậc nhiệt độ sẽ có 4 mẫu được nung trong hai môi trường khác nhau, sau khi nhiệt luyện xong thì có 2 mẫu không được ram, còn 2 mẫu sẽ ram trong lò với thời gian 1 phút và để nguội trong không khí tĩnh để đối chứng so sánh.

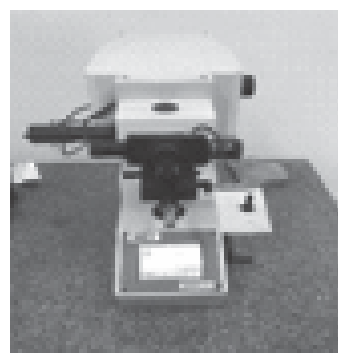


Hình 1.1. Lò nung dùng thí nghiệm

Ghi chú: 1. Bình chứa khí N_2 ; 2. Bộ lọc khí; 3. Van một chiều; 4. Cảm biến đo áp suất; 5. Đồng hồ báo nhiệt độ; 6. Van an toàn; 7. Lò nung; 8. Bộ điều chỉnh nhiệt độ nung.



Hình 1.2. Phôi dùng làm thí nghiệm



Hình 1.3. Máy đo độ cứng bề mặt Matsuzawa



Hình 1.4. Nhiệt độ nung của các lần nhiệt luyện khác nhau



Hình 1.5. Ảnh chụp độ cứng các phôi đo được trong quá trình thí nghiệm

2.2. Kết quả thí nghiệm

Sản phẩm sau khi nhiệt luyện được tiến hành mài bóng bề mặt trên máy mài bóng TPN-1020FR của Đài Loan, ta có kết quả như sau:

Bảng 1-1. Số liệu thí nghiệm qua các lần đo

Nhiệt độ nung	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4
800°C	492.6 HV	458.5 HV	481.4 HV	462.1 HV
Nhiệt độ nung	Mẫu 5	Mẫu 6	Mẫu 7	Mẫu 8
850°C	515.3 HV	519.0 HV	510.7 HV	495.3 HV
Nhiệt độ nung	Mẫu 9	Mẫu 10	Mẫu 11	Mẫu 12
900°C	575.8 HV	574.0 HV	561.6 HV	519.3 HV

Mẫu 1; 5; 9 được nung trong môi trường có cung cấp khí N_2 , thời gian nung 1h, giữ nhiệt và làm nguội trong môi trường nước sạch 20°C.

Mẫu 2; 6; 10 được nung trong môi trường khí tự nhiên Oxy chiếm 20,9%, giữ nhiệt và làm nguội trong môi trường nước sạch 20°C.

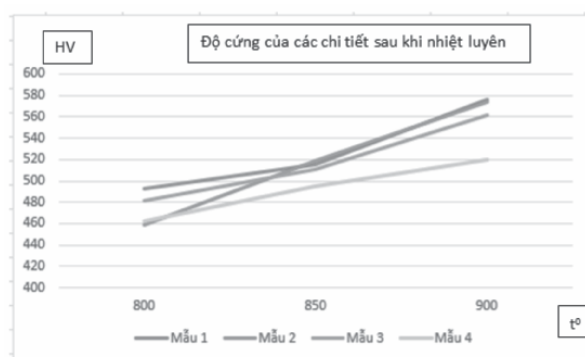
Mẫu 3; 7; 11 được nung trong môi trường có cung cấp khí N_2 , thời gian nung 1h giữ nhiệt và làm nguội trong môi trường nước sạch 20°C, sau đó được ram 200°C trong lò điện trở thời gian giữ nhiệt 1 phút và làm nguội trong không khí tĩnh.

Mẫu 4; 8; 12 được nung trong môi trường khí tự nhiên Oxy chiếm 20,9%, giữ nhiệt và làm nguội trong môi trường nước sạch 20°C, sau đó được ram 200°C trong lò điện trở thời gian giữ nhiệt 1 phút và làm nguội trong không khí tĩnh.

Nhìn vào kết quả đo độ cứng, ta nhận thấy khi phôi được nung trong môi trường có cung cấp thêm N_2 , độ cứng chi tiết được tăng lên, tuy nhiên còn phụ thuộc nhiều yếu tố.

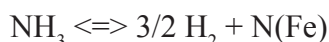
2.3. Xử lý số liệu và thảo luận kết quả

Từ bảng 1-1, sử dụng phần mềm Excel, ta có đồ thị sau:



Hình 1.6. Kết quả thí nghiệm

Từ (Hình 1.6), ta thấy khi nung phôi trong môi trường được cấp thêm khí N_2 với áp suất 0.3at, độ cứng phôi sau khi nhiệt luyện được tăng lên. Ở giai đoạn 800°C, ta thấy độ cứng phôi được nung trong môi trường có thêm N_2 đã được tăng lên, điều này phù hợp với các nghiên cứu của [2, 5]. Khi thấm N_2 ở thể khí thông thường chi tiết được nung tới nhiệt độ khoảng 510°C (500÷575°C) trong môi trường phân hủy khí Amoniac. Ở nhiệt độ thấm Nitơ, khí Amoniac phân hủy Nitơ nguyên tử và bị hấp thụ bởi thép theo phản ứng:



Trong phản ứng trên, N(Fe) là nguyên tử Nitơ bị hấp thụ trên bề mặt thép. Thép (chi tiết) trước khi thấm Nitơ phải được tẩy rửa sạch dầu mỡ và không còn gỉ hay Oxit trên bề mặt. Khi nung phôi từ nhiệt độ 20°C lên đến 800°C, phôi được trải qua thời gian tăng dần nhiệt độ nên khi đến giai đoạn 500°C thì hiện tượng thấm N_2 [1, 3] trong môi trường giàu khí N_2 đã bắt đầu xảy ra, tuy nhiên quá trình này không tăng mãi theo thời gian nung, mà sẽ chậm lại được thể hiện trên đồ thị (Hình 1.6). Khi nhiệt độ tăng lên đến 850°C, độ cứng của chi tiết được thấm và chi tiết không thấm đều tăng. Điều này được giải thích là thép 40X đã được nung đến nhiệt độ chuyển biến pha để giữ nhiệt và làm nguội [2], nên cả hai chi tiết được thấm N_2 và chi tiết nung trong môi trường khí tự nhiên đều có độ cứng tăng lên. Quan sát trên đồ thị, ta thấy khi nung đến 900°C, độ cứng của hai chi tiết được thấm và không thấm đều tăng mạnh do chi tiết được nung trong môi trường giàu khí N_2 hiện tượng thoát các bon xảy ra chậm hơn nên độ thấm tôi sẽ tốt hơn [1, 2]. Khi nung đến nhiệt độ này, thép 40X đã chuyển biến pha hoàn toàn nên khi nhiệt luyện trong môi trường nước lã, hoặc môi trường dẫn qua nước, chi tiết đều cho độ cứng tốt, đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật

cần thiết và đây là độ cứng cao nhất mà khi nhiệt luyện thép 40X đã đạt được nếu ta tiếp tục tăng nhiệt độ lên, độ cứng chi tiết sau khi nhiệt luyện sẽ giảm xuống, vì khi đó ta nhận được tổ chức thô đại do hạt tinh thể lớn, độ kết dính kém, phôi giòn, chất lượng chi tiết kém đi, điều này được giải thích để đảm bảo độ bền, độ cứng cho chi tiết các sản phẩm sau khi nhiệt luyện thường được ram, để đổi đi một phần độ cứng và lấy độ dẻo dai. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng đến 900°C, ta thấy chi tiết nung trong lò thường sau khi nhiệt luyện độ cứng có xu hướng giảm nhiều so với chi tiết được nung trong lò có tăng cường khí N_2 để nhiệt luyện, vì khi nhiệt độ cao thép 40X chịu tác động của hiện tượng Oxy hóa và thoát các bon. Nhiệt nung càng cao thì hiện tượng Oxy hóa và thoát các bon càng tăng dẫn đến kim loại mất dần các bon [4] làm cho độ cứng khi nhiệt luyện giảm xuống.

3. KẾT LUẬN

Khí N_2 là khí trơ trong tự nhiên nhưng có tác dụng rất lớn trong quá trình nhiệt luyện, nó có tác dụng bảo vệ bề mặt chi tiết vừa nâng cao độ cứng, độ bền của chi tiết nên việc nghiên cứu đưa khí N_2 vào nhiệt luyện [6] là việc làm cần thiết để phục vụ giảng dạy cho sinh viên, đồng thời tham gia sản xuất phục vụ cho các ngành công nghiệp là một nhiệm vụ quan trọng. Khi cung cấp thêm khí N_2 để nung phôi cần cung cấp một lượng vừa đủ khoảng 0,3at, nếu cung cấp khí nhiều hơn thì nhiệt độ của lò sẽ bị giảm xuống vì lúc này khí mang theo nhiệt độ môi trường. Chú ý giữ nhiệt độ của lò trong quá trình nung ở 500°C để tạo điều kiện cho quá trình thấm N_2 lên bề mặt chi tiết, không nên giữ nhiệt ở nhiệt độ cao hơn 727°C để thành phần chi tiết được nung không bị chuyển biến pha làm tổ chức hạt lớn lên, ảnh hưởng lớn đến cơ tính của chi tiết sau khi nhiệt luyện. Trong các phương pháp xử lý, để nâng cao độ cứng bề

mặt chi tiết cần chú ý phương pháp hóa nhiệt luyện vì phương pháp này dễ áp dụng, rẻ tiền và phù hợp điều kiện của Việt Nam.

Lời cảm ơn:

Tác giả xin cảm ơn Ban Giám hiệu và các đơn vị trong Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **08/12/2023**

Ngày phản biện: **15/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lục Vân Thương (2016); “*Ứng dụng công nghệ thấm nitơ xung Plasma làm tăng tính chịu mài mòn cho các chi tiết máy*”, Phòng Thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí.
- [2]. Nguyễn Ngọc Minh (2015); “*Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố chính nhằm ổn định công nghệ thấm Nitơ thể khí lên một số loại thép thông dụng ở Việt Nam*”, Luận án tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Shalaj V.V, Mikhajlov A.G, Novikova E.E, Terebilov S.V., Novikova T.V (2016), *Gas recirculation impact on the nitrogen oxides formation in the boiler furnace*, Procedia Engineering 155, PP 434 – 438
- [4]. Batrakov P. A (2016), *The nitrogen oxide formation studying at natural gas combustion in non-circular profile furnaces offire-tube boilers*, Procedia Engineering 152, PP 144 – 150
- [5]. Swapnil S. Deshpande, Pravin P. Deshpande, Manoj J. Rathod (2022), *Effect of gas nitrocarburizing post oxidation on electrochemical behaviour of AISI 4140 steel in neutral medium*, Proceedings 50, PP 1979–1982
- [6]. <https://www.google.com>

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH MANIKIN TỎA NHIỆT MÔ PHỎNG CƠ THỂ NGƯỜI

RESEARCH OF THERMAL MANNEQUIN MODEL SIMULATING HUMAN BODY

Nguyễn Thị Như Lan^{1*}, Phạm Hồ Mai Anh²

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu để đánh giá nhiệt độ và tương quan giữa cơ thể người với môi trường. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt cũng được ứng dụng để đánh giá các đặc tính y sinh của quần áo như độ thoải mái, an toàn khi sử dụng. Trong nghiên cứu này tập trung xây dựng và phát triển mô hình ma-nơ-canh mô phỏng trạng thái tỏa nhiệt của cơ thể người ở 15 vị trí khác nhau.

Từ khóa: Manikin tỏa nhiệt; Mô phỏng cơ thể.

ABSTRACT

Thermal manikin systems have been applied widely in research to investigate temperature and relationship between human body and environment. Thermal manikin also used to evaluate biomedical properties of clothing and textiles such as comfortable, safe levels when wearing. This study focuses on build and develop manikin model simulating thermal body in 15 positions.

Keywords: Thermal manikin; Simulated human.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt hay hệ thống ma-nơ-canh mô phỏng nhiệt độ ra đời từ năm 1940, và trở thành một công cụ phục vụ nghiên cứu về quá trình chuyển đổi nhiệt độ từ cơ thể người ra môi trường [1]. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt được ứng dụng rộng rãi trong các thí nghiệm mô phỏng người. Ví dụ: thí nghiệm mô phỏng người ngồi trong xe hơi nhằm thử nghiệm độ thoải mái của điều kiện nội thất xe [2]. Một nghiên cứu khác cũng ứng dụng ma-nơ-canh nhiệt để thử nghiệm quần áo chữa cháy

[3]. Tương tự, môi trường điều hòa không khí khác nhau (chẳng hạn như hệ thống sưởi sàn bằng bức xạ và hệ thống sưởi không khí đối lưu sử dụng mô phỏng số để đánh giá khả năng tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà dân cư cũng được dựng thực nghiệm bằng mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt [4]. Ngoài ra, có các phép đo đã được thực hiện trên một mô hình nhiệt ngội với nhiều tùy chọn khác nhau về thiết bị đầu cuối không khí, nhiệt độ môi trường và nguồn cung cấp không khí để nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình thở đến nhận thức về môi trường nhiệt trong quá trình sử dụng hệ thống thông gió cá

nhân hóa [5]. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt còn được ứng dụng trong các nghiên cứu về các tiện nghi về nhiệt (độ bền kéo, độ giãn dài, khả năng chịu nhiệt, độ thoát khí) khi dùng ma-nơ-canh thử nghiệm trên các vật liệu khác nhau [6].

Các mô hình ma-nơ-canh cũng được xây dựng và phát triển khá đa dạng. Vật liệu sử dụng trong các thiết kế ma-nơ-canh nhiệt cũng phong phú, từ vật liệu gỗ [7], nhựa [8], phổ biến nhất là vật liệu tổng hợp [9, 10].

Thiết kế của ma-nơ-canh cũng thay đổi liên tục tùy thuộc vào mục đích sử dụng. Thông dụng vẫn là các loại ma-nơ-canh mô phỏng nhiệt độ cơ thể người ở mức 34°C, mô phỏng trên toàn bộ vị trí cơ thể [11].

Trong nghiên cứu này, mục tiêu sẽ tập trung vào xây dựng và phát triển hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt, mô phỏng 15 vị trí tỏa nhiệt đặc trưng trên cơ thể người. Tuy nhiên, mỗi vị trí trên cơ thể nhiệt độ sẽ không đồng nhất hoàn toàn. Mô hình xây dựng mong muốn mô phỏng gần như giống hoàn toàn nhiệt độ từng vùng cơ thể.

2. PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống

Trong hệ thống được thiết kế hai bộ điều khiển đóng vai trò là IoT Gateway (1 bộ) và các IoT Node (2 bộ). Các IoT Node làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu từ các cảm biến nhiệt độ gửi đến IoT Gateway thông qua giao thức giao tiếp ESP-NOW. IoT Gateway làm nhiệm vụ tiếp nhận các dữ liệu từ các IoT Node, phân tích các dữ liệu và gửi dữ liệu lên máy tính.

IoT Gateway sẽ được kết nối với máy tính đã cài giao diện hiển thị trên màn hình. Giao diện sẽ hiển thị 15 điểm đo trên mô hình, bao gồm phần cài đặt nhiệt độ và phần hiển thị

nhiệt độ.

Đối với các IoT Node, mỗi IoT Node sẽ quản lý và điều khiển 8 cảm biến nhiệt độ và 8 bộ gia nhiệt. IoT Node sẽ nhận lệnh cài đặt nhiệt độ và tự điều khiển nhiệt độ cho từng bộ gia nhiệt. Trong hệ thống này có 2 IoT Node quản lý 15 điểm đo trên mô hình thí nghiệm.

2.2. Sơ đồ khối mạch điều khiển

Thiết kế mạch điều khiển bao gồm các chức năng như: đóng/cắt relay điều khiển tải, thu thập dữ liệu từ cảm biến đưa lên giao diện người dùng thông qua giao thức MQTT. Các mạch này đóng vai trò là Gateway và các Node trong hệ thống, nên vì vậy Gateway và Node sẽ sử dụng chung một phần cứng với nhau.



Hình 1. Sơ đồ khối mạch điều khiển

Khối nguồn sẽ cung cấp điện áp ổn định cho các khối vi điều khiển (ESP8266), khối cảm biến, khối hiển thị, khối nút nhấn, khối động lực. Khối này sẽ bao gồm các bộ phận như: Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC 3W, Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W và IC ổn áp AMS1117 3.3V.

Khối nút nhấn sẽ đưa tín hiệu vào khối vi điều khiển (ESP8266) để cấp tín hiệu điều khiển khối động lực.

Khối cảm biến sẽ thu thập giá trị từ các cảm biến như: cảm biến nhiệt độ, độ ẩm DHT11,...

Khối động lực sẽ nhận tín hiệu từ khối vi điều khiển (ESP8266) để điều khiển bật/tắt các relay. Khối này sẽ bao gồm các linh kiện như trở, BJT, Opto quang, led, relay.

Ngoài ra, Gateway còn có khối hiển thị sẽ hiển thị các thông tin như: trạng thái kết nối Wifi, trạng thái Relay, giá trị thu thập từ cảm biến, trạng thái kết nối của các Node.

2.3. Thiết kế của mạch điều khiển

Mạch được thiết kế bao gồm các linh kiện như: Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07), Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC 3W, Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W, IC ổn áp AMS1117 3.3V, Opto quang PC817, BJT NPN C1815, relay 5V, diode, điện trở, tụ và led.

2.3.1. Chọn linh kiện và giải thích khối nguồn



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý khối nguồn

Ta có công suất tổng của toàn mạch là:

$P = P_{MCU} + P_{RELAY}$, vì các phần khác có công suất rất nhỏ, không đáng kể nên không cần tính toán.

- Ta có công suất của relay SRD-05VDC-SL-C theo datasheet của nhà sản xuất là 0,36W, mà mạch sử dụng 2 relay nên ta có tổng công suất của relay là: $P_{RELAY} = 0,36 * 2 = 0,72 \text{ W}$

- Ta có điện áp cấp vào Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) là 3,3V và dòng điện khi hoạt động tối đa là 170mA.

$$P_{MCU} = 3,3 * 0,17 = 0,561 \text{ W}$$

Suy ra, tổng công suất của mạch là:

$$P = P_{MCU} + P_{RELAY} = 0,561 + 0,72 = 1,281 \text{ W}$$

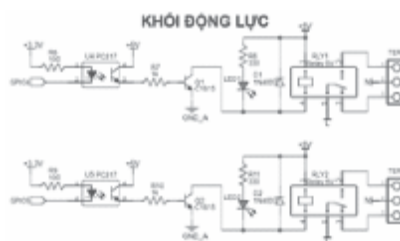
Vì vậy, lựa chọn Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC có công suất 3W làm nguồn chính đầu vào là hợp lý, đáp ứng được yêu cầu cung cấp nguồn điện ổn định cho mạch.

Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W có nhiệm vụ cách ly nguồn điện giữa vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) với relay, nhằm để chống nhiễu vi điều khiển. Module này có thể cung cấp nguồn điện có công suất tối đa 1W, mà theo tính toán bên trên thì vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) chỉ sử dụng công suất tối đa là 0,561W, nên Module nguồn này đáp ứng được yêu cầu thiết kế về nguồn điện cho vi điều khiển.

IC ổn áp AMS1117 3,3V có nhiệm vụ hạ mức điện áp từ Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W cấp vào xuống 3,3V, để cung cấp nguồn điện ổn định cho vi điều khiển ESP8266 (ESP-07).

Các tụ $C1 = 220 \text{ uF}$, $C2 = 10 \text{ uF}$, $C3 = 22 \text{ uF}$ và $C4 = 100 \text{ nF}$ có giá trị được lựa chọn theo đề xuất của nhà sản xuất, các tụ này có tác dụng lọc nhiễu và làm phẳng nguồn điện cấp vào mạch.

2.3.2. Chọn linh kiện và giải thích khối động lực (Relay)



Hình 3. Khối động lực (relay)

Khởi động lực (Relay) được thiết kế bao gồm các linh kiện như: Opto quang PC817, BJT NPN C1815, Relay 5V, điện trở, led và diode.

+ Các điện trở R6 và R9 sẽ được tính toán để BJT bên trong Opto dẫn bão hòa thì dòng đầu vào $I_F = 20\text{mA}$ và điện áp đầu vào là $V_F = 1,2\text{V}$. Suy ra:

$$R_6 = R_9 = \frac{3,3 - 1,2}{0,02} = 105 \Omega$$

• Chọn điện trở có giá trị chuẩn là:

$$R_6 = R_9 = 100 \Omega.$$

+ Vì mạch thiết kế chỉ cần đóng/cắt relay nên BJT NPN C1815 sẽ hoạt động ở chế độ bão hòa. Vì vậy, ta chọn điện trở RB của BJT là: $R_7 = R_{10} = 1 \text{ k}\Omega$.

+ Chứng minh BJT NPN C1815 hoạt động ở chế độ bão hòa: Dựa vào Hình 3.17 thì BJT NPN C1815 được sử dụng trong đề tài có mã là GR331, nên sẽ có hệ số khuếch đại dòng điện h_{FE} là từ 200 đến 400, $V_{CE(sat)}$ từ 0,1V đến 0,25V, $V_{BE(sat)}$ tối đa 1V. Còn điện trở cuộn dây của relay 5V là 70Ω nên suy ra $R_C = 70 \Omega$.

• Giả sử BJT hoạt động ở chế độ bão hòa nên:

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0,1\text{V} \quad I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 1}{1000} = 4\text{mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{5 - 0,1}{70} = 70\text{mA}$$

• Kiểm tra lại:

$$I_{C(KD)} = h_{FE} * I_B = 200 * 4\text{mA} = 800\text{mA}$$

• Ta có $I_{C(KD)} > I_{C(BH)} = 70\text{mA}$, nên suy ra với $R_B = 1 \text{ k}\Omega$ thì BJT sẽ hoạt động ở chế độ bão hòa.

+ Tính toán điện trở cho R8 cho Led1 và R11 cho Led2.

• Led1 và Led2 là loại led đỏ 3mm nên có mức điện áp là 2V và dòng điện là 10mA, nên ta có thể tính toán điện trở cho led là:

$$R_8 = R_{11} = \frac{5 - 2}{0,01} = 300\Omega$$

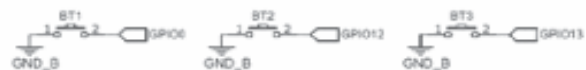
• Chọn điện trở có giá trị chuẩn là:

$$R_8 = R_{11} = 330 \Omega$$

+ Diode D1 và D2 có tác dụng bảo vệ cho BJT Q1 và Q2, vì khi có dòng điện chạy qua cuộn dây của relay thì cuộn dây sẽ có khả năng tích trữ năng lượng. Năng lượng này có khả năng sinh ra dòng điện cảm ứng khi không có dòng điện nào chạy qua cuộn dây làm đánh thủng BJT, vì vậy D1 và D2 sẽ phân cực thuận dẫn dòng điện cảm ứng về dương nguồn để bảo vệ cho BJT.

2.3.3. Khởi nút nhấn

KHOẢNG NÚT NHẤN



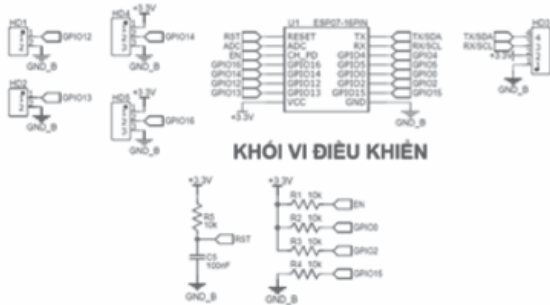
Hình 4. Khởi động lực (relay)

Nút nhấn BT1 được nối GPIO 0 có tác dụng config Wifi và vào chế độ BOOT để nạp code cho Module vi điều khiển ESP8266.

Nút nhấn BT2 và BT3 là các nút nhấn cấp tín hiệu điều khiển đóng/cắt các Relay 1 và

Relay 2 cho Module vi điều khiển ESP8266.

2.3.4. Khối vi điều khiển



Hình 5. Khối vi điều khiển ESP8266

Khối này được thiết kế kết nối giữa Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) với các Opto quang và các header.

+ Các chân GPIO 4 và 5 được nối với chân cathode của Opto quang PC817, dùng để cấp tín hiệu mức 0 để dòng điện chạy qua làm sáng bóng led bên trong Opto quang kích mở BJT bên trong Opto quang từ đó kích mở BJT C1815 để đóng/cắt relay.

+ Các chân GPIO 12 và 13 được kết nối với header, tác dụng của header này là nối thêm nút nhấn bên ngoài, nút nhấn này cùng chức năng với các nút nhấn BT1 và BT2 đều là các nút nhấn điều khiển relay.

+ Các chân GPIO 14 và 16 được kết nối với header, tác dụng của header này là để kết nối và đọc dữ liệu của các cảm biến có giao thức giao tiếp là Onewire hoặc là digital.

+ Hai chân TX và RX được nối với header, mục đích dùng để nạp code cho vi điều khiển, 2 chân này cũng có thể cấu hình làm hai chân SDA và SCL dùng để giao tiếp I2C với màn hình Oled hoặc các cảm biến sử dụng giao thức giao tiếp I²C.

+ Chân GPIO 0 được kết nối với nút nhấn dùng để cấu hình Wifi hoặc để vào chế độ BOOT nạp code cho vi điều khiển.

+ Chân GPIO 2 sẽ được kết nối với một bóng led báo trạng thái kết nối giữa các Node hoặc kết nối Wifi của Gateway.

+ Hai chân ADC và GPIO 15 sẽ không được sử dụng.

+ Các điện trở R1, R2, R3 và R5 là các điện trở Pull-Up, điện trở R4 là điện trở Pull-Down. Các điện trở này có tác dụng xác định mức logic cho các chân GPIO và các chân chức năng, vì nếu không có các điện trở này thì các chân GPIO và các chân chức năng của vi điều khiển sẽ ở trạng thái floating, tức là mức tín hiệu trên các chân này sẽ ở trạng thái không xác định, phụ thuộc vào bên ngoài nên vi điều khiển sẽ khởi động không thành công.

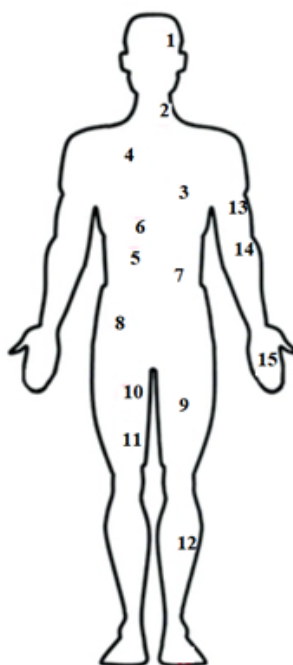
Tụ C5 có tác dụng khởi động mềm cho vi điều khiển. Khi nguồn được cấp vào vi điều khiển thì tụ sẽ được nạp, có dòng điện chạy qua tụ kéo chân Reset xuống mức thấp làm Reset vi điều khiển, tụ này mục đích nhằm để đợi nguồn điện ổn định rồi mới khởi động vi điều khiển.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Cơ thể người có nhiệt độ trung bình là 98,6°F hay 37°C. Tuy nhiên, nhiệt độ này không như nhau tại các vị trí trên cơ thể. Tùy thuộc vào vị trí đo nhiệt độ, điều kiện nhiệt độ phòng mà ta thống kê được 16 điểm nhiệt đặc trưng cho cơ thể được mô tả theo các vị trí trong Hình 6 [12]. Nhiệt độ cơ thể thực tế là không như nhau tại mọi vị trí và có xu hướng giảm dần theo chiều từ trên xuống. Cụ thể, đầu nhiệt độ sẽ cao nhất, và bàn chân nhiệt độ sẽ thấp nhất. Các vị trí trung gian từ cổ, ngực, bụng, 

hông, bắp đùi, bắp chân... nhiệt độ sẽ có xu hướng giảm dần từ trên xuống dưới.

Trong nghiên cứu này tập trung khảo sát nhiệt độ tại các vị trí có sử dụng trang phục quần áo, mũ (nón). Do đó, vị trí bàn chân sẽ được bỏ qua. Ngoài ra, vì mục đích cần thiết kế lỗ thông để thoát nhiệt tổng thể tại vị trí bắp chân dưới và bàn chân, vì vậy nghiên cứu sẽ tập trung mô phỏng tổng 15 vị trí tỏa nhiệt, bỏ qua vị trí bàn chân.



Hình 6. 15 vị trí nhiệt đặc trưng của cơ thể

Mô hình ma-nơ-canh hoàn chỉnh được thiết kế với 15 điểm tỏa nhiệt. Vị trí điểm tỏa nhiệt số 1 nằm tại vị trí đầu trên trán trái. Vị trí tỏa nhiệt số 2 nằm trên cổ. Vị trí tỏa nhiệt số 3 nằm giữa ngực trái. Vị trí tỏa nhiệt số 4 nằm trên ngực phải. Vị trí tỏa nhiệt số 5 nằm ở sườn phải. Vị trí tỏa nhiệt số 6 nằm dưới ngực phải. Vị trí tỏa nhiệt số 7 nằm trên bụng trái (trên rốn). Vị trí tỏa nhiệt số 8 nằm dưới bụng phải (dưới rốn). Vị trí tỏa nhiệt số 9 nằm trên đùi trái. Vị trí tỏa nhiệt số 10 và 11 nằm trên

đùi phải. Vị trí tỏa nhiệt số 12 nằm trên bắp chân trái. Vị trí tỏa nhiệt số 13 nằm trên cánh tay trái. Vị trí tỏa nhiệt số 14 nằm tại khớp gấp tay trái. Vị trí tỏa nhiệt số 15 nằm tại lòng bàn tay trái. Các vị trí này được mô tả trong Hình 7. Tất cả các vị trí tỏa nhiệt này được khảo sát ở phần mặt trước của ma-nơ-canh. Mặt sau của ma-nơ-canh tập trung lắp đặt các bộ phận thoát nhiệt và cơ cấu tiếp nguồn điện cho hệ thống.



Hình 7. Mô hình manikin tỏa nhiệt mặt trước và mặt sau

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng và phát triển được mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt. Hệ thống mô phỏng 15 vị trí tỏa nhiệt khác nhau trên cơ thể. Từng vị trí này được quy định nhiệt độ và cài đặt thông số cụ thể cho từng vị trí khác nhau. Các cảm biến nhiệt độ sẽ thu thập nhiệt độ và truyền về hệ thống, nhiệt độ sẽ đạt đến mức yêu cầu và hệ thống sẽ tự ngắt cung cấp nhiệt và làm nguội. Trong quá trình này, chúng ta có thể thu thập thông số về nhiệt độ và thời gian biến đổi nhiệt. Hệ thống ma-nơ-canh làm

ra có ứng dụng rất hữu ích cho tất cả các nghiên cứu mô phỏng nhiệt độ cơ thể người. Đặc biệt là các nghiên cứu về mối liên hệ giữa trang phục và quần áo (chất liệu, kiểu dáng, kích cỡ...). Kết quả của nghiên cứu này sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu rộng hơn trong tương lai có liên quan đến sử dụng mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt, mô phỏng nhiệt độ cơ thể người theo từng vị trí cụ thể.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh và Trường Đại học Công Thương đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này. Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 31/HĐ-DCT ngày 01 tháng 3 năm 2022. ❖

Ngày nhận bài: **23/11/2023**

Ngày phản biện: **14/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Yu, Y., Liu, J., Chauhan, K., de Dear, R., & Niu, J. "Experimental study on convective heat transfer coefficients for the human body exposed to turbulent wind conditions". *Building and Environment*, 169, 106533 (2020).
- [2]. R. Riedy and M. McQuerry, "Thermal comfort analysis of auto-racing suits using a dynamic thermal manikin". *Journal of Industrial Textiles*, vol. 53, p. 15280837221150649, (2023).
- M. McQuerry, R. Barker, and E. DenHartog, "Functional design and evaluation of structural firefighter turnout suits for improved thermal comfort: Thermal manikin and physiological modeling". *Clothing and Textiles Research Journal*, vol. 36, no. 3, pp. 165-179, (2018).
- [3]. S. Lee, M. Nogami, S. Yamaguchi, T. Kurabuchi, and N. Ohira, "Evaluation of heat transfer coefficients in various air-conditioning modes by using thermal manikin". In 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, August, pp. 26-28, (2013).
- [4]. A. Bogdan, B. Koelblen, and M. Chludzińska, "Influence of a breathing process on the perception of the thermal environment using personalised ventilation". *Building and Environment*, vol. 96, pp. 80-90, (2016).
- [5]. Ö. K. Necef, D. T. Birkocak, A. Kılıç, S. Boz, M. J. Abreu, and Z. Öndoğan, "Investigating the Effect of Recycled Cotton Included Fabrics on the Thermal Behaviour by Using a Female Thermal Manikin". *Autex Research Journal*, (2022).
- [6]. F. Fung, C. Gao, L. Hes, and V. Bajzik, "Water vapor resistance measured on sweating thermal manikin and Permetest skin model in the vertical orientation". *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, vol. 1, no. 1, pp. 65-73, (2020).
- [7]. C.-G. Ren and C.-J. Zhang, "Investigation on Performance of Three Personal Cooling Systems in mitigating heat strain by means of thermal manikin". *Thermal Science*, vol. 21, no. 4, pp. 1789-1795, (2017).
- [8]. K. Miura, K. Takagi, and K. Ikematsu, "Evaluation of two cooling devices for construction workers by a thermal manikin". *Fashion and Textiles*, vol. 4, no. 1, pp. 1-12, (2017).
- [9]. T. Fukazawa and Y. Tochihara, "The thermal manikin; a useful and effective device for evaluating human thermal environments". *Journal of the Human-Environment System*, vol. 18, no. 1, pp. 021-028, (2015).
- [10]. L. Huda and W. Sentosa, "Analysis Skin Temperature Distribution of Thermal Manikin". In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1542, no. 1: IOP Publishing, p. 012065 (2020).
- [11]. S. Francisco, N. Amin, V. Daryoosh, Ö. Mehmet C, "Designing thermoelectric generators for self-powered wearable electronics". *Energy & Environmental Science*, vol.9, no. 6, pp. 2099-2113, (2016).



XÁC ĐỊNH CƠ TÍNH CỦA CÁC MÀNG MỎNG VẬT LIỆU HAI CHIỀU P-CS, P-GEO, P-SNS VÀ P-SNSE

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF P-CS, P-GEO, P-SNS VÀ
P-SNSE TWO-DIMENSIONAL MATERIAL THIN FILMS

TS. Nguyễn Hữu Tú

Bộ môn Kỹ thuật cơ sở, Khoa Khoa học Cơ bản, Học viện Hậu cần

TÓM TẮT

Trong bài báo này, thí nghiệm kéo màng mỏng được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn nguyên tử với việc sử dụng hàm thế Stillinger-Webber đối với bốn vật liệu hai chiều cấu trúc nếp gấp gồm: p-SnS, p-SnSe, p-GeO và p-CS. Qua đó, xác định được một số thông số cơ học như hệ số Poisson, ứng suất hai chiều kéo đứt, mô đun đàn hồi hai chiều, biến dạng khi kéo đứt. Kết quả mô phỏng thí nghiệm xác định được: Mô đun đàn hồi hai chiều của các vật liệu trên khi kéo theo phương zigzag trong khoảng $24.28 \div 75.6$ N/m, phương armchair trong khoảng $9.13 \div 15.7$ N/m; Ứng suất hai chiều lớn nhất trong khoảng $1.68 \div 7.75$ N/m, hệ số Poisson trong khoảng $-0.26 \div 0.56$, biến dạng nhỏ nhất và lớn nhất khi kéo đứt tương ứng là: $14 \div 30,6\%$. Kết quả khi kéo cho thấy các vật liệu này có tính dị hướng. Những kết quả tính toán được có thể làm cơ sở để tính toán một số thông số cơ học khác của chúng như tần số dao động riêng, chỉ tiêu phá hủy vật liệu và dùng để tham khảo cũng như ứng dụng trong thực tế.

Từ khóa: Stillinger-Weber; Phần tử hữu hạn; Vật liệu hai chiều; Pucked; Thí nghiệm kéo.

ABSTRACT

In this paper, the membranes tensile test is simulated by the atomic finite element method with using the Stillinger-Webber potential function of 4 two-dimensional materials with pucked structure including: p-CS, p-GeO, p-SnS and p-SnSe. The results determined mechanical parameters such as Poisson's ratio, two-dimensional tensile stress, two-dimensional elastic modulus, and tensile strain. The results show that: the two-dimensional elastic modulus of these materials when tensile in the zigzag direction appear in the range of $24.28 \div 75.6$ N/m, in the armchair direction appear in the range of $9.13 \div 15.7$ N/m; The largest two-dimensional stress appear in the range of $1.68 \div 7.75$ N/m, the Poisson's ratio is in the range of $-0.26 \div 0.56$, the smallest and largest deformation when tensile are: $14 \div 30.6\%$, respectively. Tensile results show that these materials are anisotropic. The calculated results can be used as a basis to calculate some of their other parameters such as natural oscillation frequency and material crack index. Results are useful for the design and application of these materials.

Keywords: Stillinger-Weber; Finite element method; 2D material; Pucked; Tensile test.

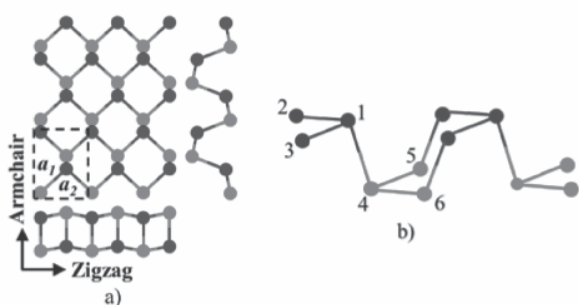
1. VẬT LIỆU HAI CHIỀU

Công nghệ về vật liệu nano đã được nghiên cứu và ứng dụng thành công ở nhiều lĩnh vực trong thời gian gần đây và có nhiều công trình khoa học đã được công bố, trong đó phải kể đến giải Nobel vật lý năm 2010, được trao cho hai nhà khoa học Geim và Novoselov tổng hợp thành công graphene [1, 2]. Các màng vật liệu nano như graphene [1,2], AlN, SiC [3], silicene [4], p-CS, p-GeO, p-SnS, p-SnSe... là những vật liệu hai chiều (2D material) cấu tạo do một lớp nguyên tử tạo thành. Trong đó, graphene có kết cấu dạng màng lục giác phẳng các nguyên tử nằm ở 6 đỉnh của hình lục giác

phẳng; silicene [4] có cấu tạo là màng lục giác low-buck và các vật liệu: p-CS, p-GeO, p-SnS, p-SnSe có cấu tạo màng lục giác pucked như hình 1 [5]. Màng lục giác pucked của các vật liệu p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe được tạo thành bởi hai nguyên tử khác nhau nằm xen kẽ ở các đỉnh của lục giác, đồng thời các nguyên tử nằm trên 4 mặt phẳng song song (Hình 1). Bốn mặt phẳng lần lượt chứa các nguyên tử số 1, 2; số 3; số 4 và số 5, 6 của một ô cơ bản (hình chữ nhật vẽ bằng nét đứt) trên Hình 1, kích thước ô cơ bản cho trong bảng 1 với a_1 là chiều dày theo phương z của màng, d_{12} và d_{14} là chiều dài liên kết.

Bảng 1. Thông số hình học của 4 vật liệu p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe [5]:

STT	Vật liệu	a_1 , Å	a_2 , Å	a_3 , Å	d_{12} , Å	d_{14} , Å
1	p-CS	4.323	2.795	10.0	1.757	1.849
2	p-GeO	4.801	3.055	10.0	1.956	1.986
3	p-SnS	4.347	4.047	10.0	2.728	2.595
4	p-SnSe	4.453	4.260	10.0	2.887	2.730



Hình 1. Cấu trúc pucked của 4 vật liệu p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe: a) Hình chiếu thẳng góc; b) Hình chiếu trực đo.

Các nghiên cứu chỉ ra rằng, vật liệu hai chiều có nhiều tính chất đặc biệt như khả năng dẫn nhiệt, dẫn điện tốt và có độ cứng rất cao, ví dụ: Graphene cứng tương đương kim cương

và gấp khoảng 200 lần so với thép. Với những tính chất cơ, lý, hóa vượt trội nên vật liệu hai chiều được ứng dụng cho nhiều lĩnh vực, như: Thiết bị năng lượng, thiết bị điện tử, y học [6] và nhiều lĩnh vực khác. Trong nghiên cứu về vật liệu hai chiều, thí nghiệm để các định cơ tính đối với vật liệu 2D phức tạp và tốn kém nên các vật liệu loại này thường được tiến hành mô phỏng thí nghiệm sử dụng các phương pháp như: Lý thuyết mật độ phiếm hàm, phần tử hữu hạn nguyên tử, động lực học phân tử. Trong đó, phương pháp phần tử hữu hạn nguyên tử cho kết quả đáng tin cậy [7], trong nghiên cứu này, hàm thế Stillinger-Weber [8] được sử dụng cho 4 vật liệu: p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe để tính thế năng tương tác nguyên tử trong quá trình mô phỏng kéo màng nguyên của chúng.

2. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG THÍ NGHIỆM KÉO MÀNG

2.1. Hàm thế

Khi sử dụng hàm thế Stillinger-Weber [8], thế năng tương tác nguyên tử được xác định như sau:

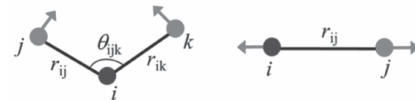
$$E = E_r + E_\theta; E_r = \sum_{i=1}^m V_2; E_\theta = \sum_{i=1}^n V_3;$$

$$V_2 = Ae^{\left[\rho_{ij}/(r_{ij}-r_{\max ij})\right]} \left(B/r_{ij}^4 - 1\right);$$

$$V_3 = Ke^{\left[\rho_{ij}/(r_{ij}-r_{\max ij}) + \rho_{ik}/(r_{ik}-r_{\max ik})\right]} \left(\cos(\theta_{ijk}) - \cos(\theta_0)\right)^2$$

Trong đó: E: Tổng năng lượng liên kết nguyên tử; E_r (eV): Tổng năng lượng liên kết thẳng giữa hai nguyên tử của màng; E_θ (eV): Tổng năng lượng liên kết góc của 3 nguyên tử

trên toàn bộ màng; V_2 (eV): Năng lượng liên kết thẳng của hai nguyên tử liên kề; V_3 (eV): Năng lượng liên kết của 3 nguyên tử liên kề; m, n: Số liên kết thẳng và liên kết góc trong mô hình tính; A (eV), K (eV): Hệ số vật liệu, phụ thuộc vào từng loại vật liệu; ρ (Å), B (Å⁴), ρ_{ij} (Å), ρ_{ik} (Å), θ_0 (độ): Thông số hình học của vật liệu; r_{ij} (Å), r_{ik} (Å): Chiều dài liên kết giữa hai nguyên tử i và j; giữa nguyên tử i và k; θ_{ijk} (độ): Góc liên kết giữa ba nguyên tử i, j, k (trong đó i là nguyên tử ở giữa) (Hình 2b). Các thông số này được tổng hợp trong Bảng 2 và Bảng 3.



Hình 2. Các thông số vật liệu tương ứng khi sử dụng hàm thế Stillinger-Weber: a) Thông số của mô hình liên kết thẳng; b) Thông số của mô hình liên kết góc.

Bảng 2. Thông số hàm thế Stillinger-Weber cho liên kết thẳng của p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe với công thức tính thế năng tương tác $V_2 = Ae^{\left[\rho_{ij}/(r_{ij}-r_{\max ij})\right]} \left(B/r_{ij}^4 - 1\right)$ [5]:

STT	Vật liệu	Kích thước	A, eV	ρ , Å	B, Å ⁴	$r_{\min}$, Å	$r_{\max}$, Å
1	p-CS	r_{12}	8.898	1.894	4.765	0.0	2.669
		r_{14}	5.791	1.220	5.844	0.0	2.600
2	p-GeO	r_{12}	21.562	2.889	7.319	0.0	3.144
		r_{14}	9.258	1.384	7.778	0.0	2.815
3	p-SnS	r_{12}	0.782	0.106	27.692	0.0	2.997
		r_{14}	5.636	1.887	22.674	0.0	3.702
4	p-SnSe	r_{12}	0.565	0.056	34.734	0.0	3.088
		r_{14}	5.811	1.989	27.773	0.0	3.895

Bảng 3. Thông số hàm thế Stillinger-Weber cho liên kết góc của p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe với công thức tính thế năng tương tác $V_3 = Ke^{\left[\rho_1/(r_{12}-r_{\max 12})+\rho_1/(r_{13}-r_{\max 13})\right]}(\cos(\theta)-\cos(\theta_0))^2$ [5]. Thứ tự các nguyên tử như trên Hình 1b:

STT	Vật liệu	Góc	K, eV	θ , độ	ρ_1 , Å	ρ_2 , Å	$r_{\min 12}'$, Å	$r_{\max 12}'$, Å	$r_{\min 13}'$, Å	$r_{\max 13}'$, Å	$r_{\min 23}'$, Å	$r_{\max 23}'$, Å
1	p-CS	θ_{123}	134.527	105.384	1.894	1.894	0	2.669	0	2.669	0	3.559
		θ_{134}	79.992	118.100	1.220	1.894	0	2.600	0	2.669	0	4.046
		θ_{415}	66.283	104.288	1.220	1.894	0	2.600	0	2.669	0	3.921
2	p-GeO	θ_{123}	314.008	95.989	2.720	2.720	0	2.962	0	2.962	0	3.720
		θ_{134}	85.406	96.000	1.133	2.720	0	2.585	0	2.962	0	3.875
		θ_{415}	152.982	132.005	1.133	2.720	0	2.585	0	2.962	0	4.194
3	p-SnS	θ_{123}	1.968	95.762	0.106	0.106	0	2.997	0	2.997	0	4.197
		θ_{134}	23.839	89.000	1.887	0.106	0	3.702	0	2.997	0	4.366
		θ_{415}	24.888	101.887	1.887	0.106	0	3.702	0	2.997	0	4.566
4	p-SnSe	θ_{123}	2.777	95.087	0.056	0.056	0	3.088	0	3.088	0	4.357
		θ_{134}	27.996	92.500	1.989	0.056	0	3.895	0	3.088	0	4.530
		θ_{415}	28.193	95.411	1.989	0.056	0	3.895	0	3.088	0	4.576

2.2. Phương pháp phần tử hữu hạn nguyên tử

Gọi X_i và u_i là tọa độ ban đầu và chuyển vị của nguyên tử thứ i . Sau khi có biến dạng, tọa độ của nguyên tử là $x_i = X_i + u_i$. Khi đó, thế năng tương tác nguyên tử của toàn bộ màng là $E = E(x_1, x_2, \dots, x_N)$ với N là tổng số nguyên tử có trong màng. Biểu thức trên là một hàm của tọa độ nguyên tử, bao gồm cả chuyển vị của chúng. Thế năng của ngoại lực tác dụng, thế năng toàn phần của hệ là: $E_{\text{ext}} = \sum_{i=1}^N f_i u_i$,

$\Pi = E - E_{\text{ext}}$, trong đó: f_i là ngoại lực tác dụng lên nguyên tử thứ i , u_i là chuyển vị của nguyên tử thứ i tương ứng.

Áp dụng nguyên lý cực tiểu thế năng

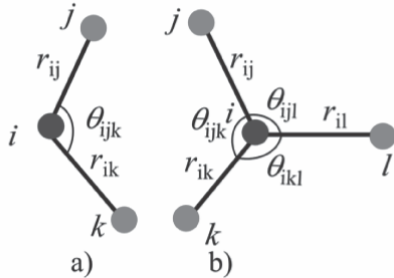
ta có: $\frac{\partial \Pi}{\partial u_i} = 0$; $i = 1 \div N$. Giải hệ phương trình

này bằng phương pháp lặp Newton–Raphson sẽ xác định được chuyển vị của nguyên tử. Cách sử dụng phương pháp lặp Newton–Raphson được thể hiện rõ trong [7], khi đó, phương trình có dạng: $K^{(k)} \cdot u^{(k)} = F^{(k)}$

với: $K_{ij}^k = \frac{\partial^2 \Pi^{(k)}}{\partial u_i \partial u_j}$; $F_i^{(k)} = -\frac{\partial \Pi^{(k)}}{\partial u_i} = f_i - \frac{\partial E^{(k)}}{\partial u_i}$;

với $K^{(k)}$ là ma trận độ cứng tổng thể, $u^{(k)}$ là véc tơ chuyển vị nút và $F^{(k)}$ là véc tơ lực nút, mỗi nguyên tử là một nút, chuyển vị của nguyên tử là chuyển vị của nút. Phần tử 3 nút (Hình 3a) ở trên biên và phần tử 4 nút (Hình 3b) ở phía bên trong màng (Hình 1). Kích thước các ma trận độ cứng phần tử tương ứng là: $[K_{val}]_{9 \times 9}^{(e)}$ 

và $[K_{Imp}]_{12 \times 12}^{(e)}$ với phần tử 3 và 4 nút tương ứng. Ma trận độ cứng tổng thể $[K]_{3N \times 3N}^{(k)}$ là ma trận hợp khối của các ma trận phần tử trên toàn màng. Các véc tơ chuyển vị và véc tơ lực có kích thước tương ứng với ma trận độ cứng tổng thể.



Hình 3. Mô hình phần tử khi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn nguyên tử: a) Phần tử 3 nút; b) Phần tử 4 nút.

3. KẾT QUẢ XÁC ĐỊNH CƠ TÍNH CỦA 4 VẬT LIỆU P-CS, P-GEO, P-SNS VÀ P-SNSE

3.1. Mô hình thí nghiệm kéo màng

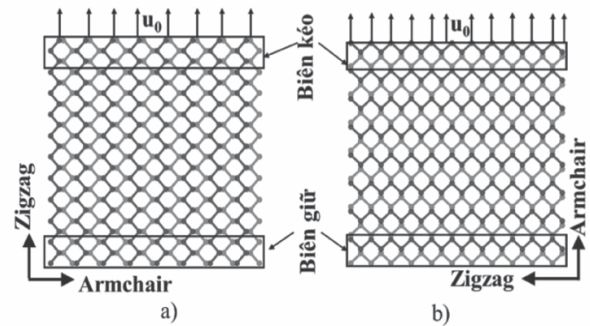
Mô phỏng kéo màng nguyên các vật liệu trên với điều kiện biên về chuyển vị như trên hình 4: Các nguyên tử trên biên kéo có chuyển vị bằng $u(0)$; các nguyên tử trên biên giữ có chuyển vị bằng không. Thay giá trị từ điều kiện biên để xác định chuyển vị, lực nút của toàn bộ nguyên tử trên màng ở từng bước kéo. Vị trí nguyên tử trong các bước tiếp theo

được xác định như sau: $\mathbf{x}_{(k+1)} = \mathbf{x}_{(k)} + \mathbf{u}_{(k)}$, quá

trình lặp tiếp tục đến khi $\|F_{(k)}\| \leq \delta$ với δ là sai số cho trước.

Tiến hành mô phỏng kéo màng coi gần đúng là hình vuông với kích thước các cạnh xấp xỉ bằng nhau. Trong 4 màng, màng p-GeO

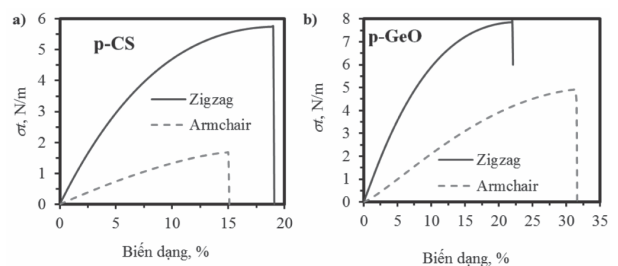
có số nguyên tử ít nhất là 4730, màng p-SnS có nguyên tử nhiều nhất 6552; số nguyên tử ở các màng khác nhau là do thông số mạng của từng loại [5].



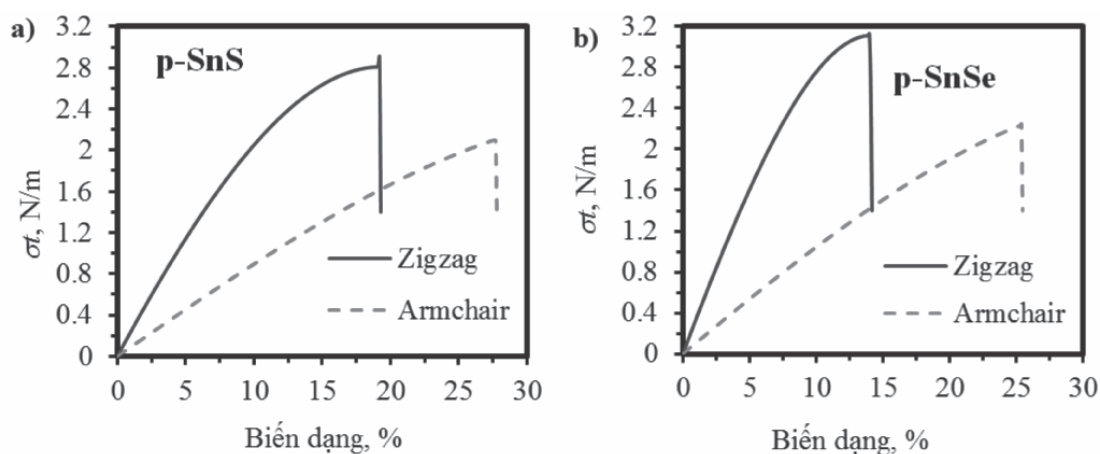
Hình 4. Mô hình kéo màng: a) Kéo màng theo phương zigzag; b) Kéo màng theo phương armchair.

3.2. Kết quả mô phỏng thí nghiệm kéo và thảo luận

Kết quả kéo màng của các vật liệu này được thể hiện thông qua đồ thị quan hệ ứng suất - biến dạng; mô đun đàn hồi hai chiều được xác định khi làm tuyến tính hóa quan hệ của chúng với biến dạng trong khoảng từ $0 \div 0.1$; Hệ số Poisson được xác định dựa vào tỷ số biến dạng ngang và biến dạng dọc trục; $\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$; ứng suất kéo đứt hai chiều và biến dạng kéo đứt xảy ra khi kết thúc chương trình kéo. Quan hệ ứng suất và biến dạng khi kéo các màng nguyên của 4 vật liệu được thể hiện trên các hình 5 và 6.



Hình 5. Quan hệ ứng suất và biến dạng khi kéo màng p-SiX; trong đó: a) Kéo màng p-CS; b) Kéo màng p-GeO.



Hình 6. Quan hệ ứng suất và biến dạng khi kéo màng p-GeX; trong đó: a) Kéo màng p-GeS; b) Kéo màng p-GeSe.

Giá trị mô đun đàn hồi hai chiều, hệ số Poisson, ứng suất hai chiều khi kéo đứt, biến dạng khi kéo đứt được thể hiện dưới đây (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả mô phỏng thí nghiệm kéo màng của các vật liệu p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe. Trong đó, t là chiều dày của màng.

STT	Vật liệu	Phương kéo	Mô đun đàn hồi hai chiều $E.t$ (N/m)	Hệ số Poisson	Ứng suất hai chiều lớn nhất $\sigma.t$ (N/m)	Biến dạng khi ứng suất hai chiều lớn nhất	So sánh với kết quả của tác giả Jiang
1	p-CS	Armchair	15.7	-0.05	1.68	0.15	Kết quả tính
			16.2	-0.06	4.3	0.38	[5]
			-3.1	-16.7	-	-	Sai số %, so với [5]
		Zigzag	70.4	-0.26	5,76	0.19	Kết quả tính
			70.5	-0.27	5,22	0.22	[5]
			-0.1	-3.7	10.3	13.6	Sai số %, so với [5]
2	p-GeO	Armchair	15.2	0.09	4.87	0.306	Kết quả tính
			14.5	0.09	4.8	0.32	[5]
			4.83	0.00	1.46	-4.38	Sai số %, so với [5]
		Zigzag	75.6	0.56	7.75	0.225	Kết quả tính

			78.9	0.65	8.2	0.23	[5]
			-4.18	-13.85	-5.49	-2.17	Sai số %, so với [5]
3	p-SnS	Armchair	9.13	0.16	2.09	0.277	Kết quả tính
			9.6	0.18	2.3	0.36	[5]
			-4.90	-11.11	-9.13	-23.06	Sai số %, so với [5]
		Zigzag	24.28	0.44	2.91	0.192	Kết quả tính
			24.5	0.47	3.1	0.20	[5]
			-0.90	-6.38	-6.13	-4.00	Sai số %, so với [5]
4	p-SnSe	Armchair	10.85	0.1	2.24	0.254	Kết quả tính
			11.4	0.11	2.3	0.32	[5]
			-4.82	-9.09	-2.61	-20.63	Sai số %, so với [5]
		Zigzag	34.28	0.32	3.13	0.14	Kết quả tính
			34.1	0.33	3.3	0.15	[5]
			0.53	-3.03	-5.15	-6.67	Sai số %, so với [5]

Trong bảng 4, cho thấy, khi kéo màng của các vật liệu trên, kết quả xác định được: Mô đun đàn hồi hai chiều khi kéo theo phương zigzag trong khoảng $24.28 \div 75.6$ N/m, theo phương armchair trong khoảng $9.13 \div 15.7$ N/m; ứng suất hai chiều lớn nhất trong khoảng $1.68 \div 7.75$ N/m, hệ số Poisson trong khoảng $-0.26 \div 0.56$, biến dạng nhỏ nhất và lớn nhất khi kéo đứt tương ứng là 14% và 30,6%. Khái niệm ứng suất hai chiều $\sigma.t$ là tích số giữa ứng suất khi kéo σ và chiều dày màng t , tương tự với mô đun đàn hồi hai chiều (E.t). Từ kết quả này, nếu lấy chiều dày của tấm là $t = 3.4$ Å, tham khảo chiều dày màng graphene [9,10] thì mô đun đàn hồi của p-GeO khi kéo theo phương zigzag là $22,24.10^{10}$ N/m, khi kéo theo phương armchair là $4,47.10^{10}$ N/m; tương đương độ cứng của thép CT3.

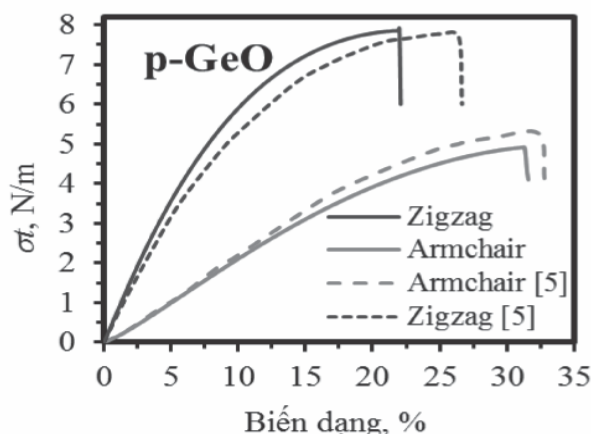
Kết quả tính toán đã được so sánh với nghiên cứu của Jiang [5], cho thấy sự tương

đồng cao, sai số không quá lớn. Cụ thể: Sai số của mô đun đàn hồi hai chiều từ -4,9% (p-SnSn khi kéo theo armchair) đến 4.83% (p-GeO khi kéo theo phương zigzag); Đối với hệ số Poisson -16.7% (p-CS khi kéo theo armchair) đến 0% (p-GeO khi kéo theo phương zigzag); Ứng suất hai chiều lớn nhất khi kéo đứt từ -9.13% (p-SnS khi kéo theo armchair) đến 10,3% (p-CS khi kéo theo phương zigzag); biến dạng khi đạt ứng suất lớn nhất có sai số trong khoảng -23,6% đến 13,6%, tương ứng khi kéo màng p-SnS theo phương armchair và p-CS theo phương zigzag.

Kết quả trong bảng 4 cho thấy, p-CS có hệ số Poisson nhỏ hơn 0, phù hợp với nghiên cứu của Jiang [5]. Kết quả này là do cấu tạo và thông số mạng của vật liệu p-CS gây ra, hệ số Poisson âm, chứng tỏ đã có một phương bị co lại khi kéo mặc dù màng này chưa đến giai đoạn thắt. Đặc biệt, đối với màng p-CS khi kéo theo phương armchair đến biến dạng 15%, màng đã

bị phẳng hóa, giai đoạn tiếp theo không đáp ứng được mô phỏng thí nghiệm kéo, nên kết quả tính toán dừng lại, đây là nguyên nhân mà tác giả không so sánh ứng suất lớn nhất và biến dạng khi ứng suất lớn nhất của nó với nghiên cứu của Jiang.

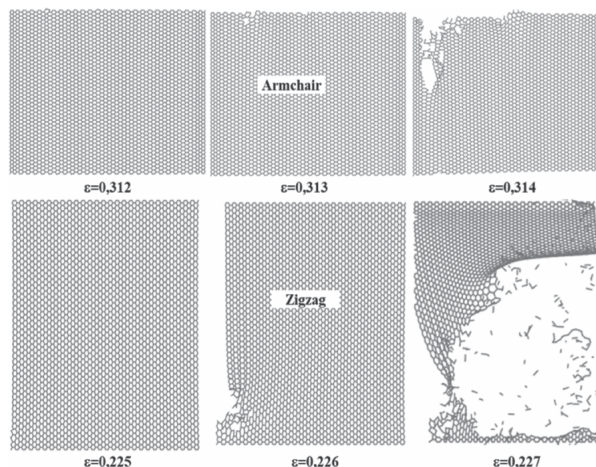
Đồ thị trên hình 7, biểu diễn mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng khi kéo màng p-GeO, để so sánh kết quả nghiên cứu của tác giả và của Jiang. Trong đó, đường nét liền là kết quả của nghiên cứu; đường nét đứt là kết quả nghiên cứu của Jiang khi sử dụng MD để tính ở 1 K. Các đường này gần như trùng khớp nhau. Tuy nhiên, khi sử dụng MD để kéo màng theo phương armchair, màng có biến dạng dài hơn trước khi bị phá hủy khoảng 4,4%; đối với phương zigzag, biến dạng dài trước khi phá hủy sai lệch nhau 2,2%. Như vậy, có sự phù hợp và tương đồng với kết quả nghiên cứu của Jiang.



Hình 7. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi kéo màng p-GeO.

Quá trình mô phỏng kéo màng sẽ phá hủy khi liên kết giữa các nguyên tử liên kề bị phá vỡ. Trên hình 8 cho thấy sự phá hủy màng p-GeO, khi kéo theo phương armchair với biến dạng $\varepsilon = 0.313$ đã có một vài liên kết bị đứt, khi $\varepsilon = 0.314$ rất nhiều liên kết bị đứt, lúc này màng đã bị phá hủy. Tương tự, khi kéo theo phương

zigzag, với $\varepsilon = 0.226$ đã có một vài liên kết ở biên bị đứt trước khi màng bị phá hủy với biến dạng $\varepsilon = 0.227$.



Hình 8. Sự phá hủy của màng p-GeO chịu kéo, trong đó: Bên trên) Kéo màng theo phương Armchair; Bên dưới) Kéo màng theo phương zigzag.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, cơ tính của 4 vật liệu hai chiều p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe được xác định khi sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn nguyên tử với hàm thế Stillinger-Weber. Kết quả cho thấy, những vật liệu này có cơ tính tương đối tốt (mô đun đàn hồi hai chiều có giá trị trong khoảng từ 9,13 N/m đến 75,6 N/m). Các kết quả nghiên cứu có sự tương đồng cao với các nghiên cứu trước đó của Jiang. Từ kết quả cho thấy, cơ tính của các vật liệu này theo hai phương armchair và phương zigzag khác tương đối lớn, do đó các vật liệu này có tính dị hướng cao. Đặc biệt, vật liệu p-CS có hệ số Poisson âm, điều này khác xa so với vật liệu ở kích thước vĩ mô mà chúng ta đang nghiên cứu tính toán. Hiện tượng phẳng hóa xảy ra khi kéo màng p-CS theo phương armchair cũng là một trong những hiện tượng đặc biệt. Các thông số cơ học của 4 vật liệu p-CS, p-GeO, p-SnS và p-SnSe là cơ sở để

tính toán, nghiên cứu những đặc trưng cơ học khác của chúng, như: Ảnh hưởng của lỗi mạng của vật liệu, dao động và phá hủy màng, hệ số cường độ ứng suất. ❖

Ngày nhận bài: **18/10/2023**

Ngày phản biện: **28/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Geim, A.K. and K.S. Novoselov (2007). *The rise of graphene*. Nature materials, 6 (3): pp. 183.
- [2]. Geim, A.K. (2009). *Graphene: status and prospects*. science, 324 (5934): pp. 1530-1534.
- [3]. H.-T. Nguyen, M.-Q. Le, and V.-T. Nguyen, *Mode-I stress intensity factors of silicene, AlN, and SiC hexagonal sheets*, Mater. Res. Express, vol. 5, no. 6, pp. 065025, 2018. DOI: 10.1088/2053-1591/aac807.
- [4]. Minh-Quy Le, Huu-Tu Nguyen & Thanh-Lam Bui (2021): *Fracture of 28 buckled two-dimensional hexagonal sheets*, Mechanics of Advanced Materials and Structures, DOI: 10.1080/15376494.2021.1945172.
- [5]. Jiang, J.-W. and Y.-P. Zhou (2017). *Parameterization of Stillinger-Weber potential for two-dimensional atomic crystals*. arXiv preprint arXiv:1704.03147.
- [6]. Miaomiao Luo, Taojian Fan, Yun Zhou, Han Zhang, Lin Mei, *2D Black Phosphorus-Based Biomedical Applications*, 04 February 2019, <https://doi.org/10.1002/adfm.201808306>.
- [7]. B. Liu, Y. Huang, H. Jiang, S. Qu, and K.C. Hwang, *The atomic-scale finite element method*, Comput Methods Appl Mech Eng., vol. 193, no. 17-20, pp. 1849–1864, 2004. DOI: 10.1016/j.cma.2003.12.037.
- [8]. Stillinger FH, Weber TA. *Computer simulation of local order in condensed phases of silicon*. Physical Review B. 1985.3:5262
- [9]. Nguyen Danh Truong, Minh Quy Le, Tham Lam Bui, Hai Le Bui, *Atomistic simulation of free transverse vibration of graphene, hexagonal SiC, and BN nanosheets*. Acta Mechanica Sinica, 2016. 33.
- [10]. Sarkar, A. and E. Stratakis, *Recent Advances in 2D Metal Monochalcogenides*, Advanced Science, 2020: p. 2001655.

STUDY OF MECHANICAL - PHYSICAL AND METALLOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS OF COPPER FRICTION ALLOY - STEEL - COPPER FRICTION ALLOY POWDER METALLURGY

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH CƠ – LÝ VÀ KIM TƯƠNG HỌC VẬT LIỆU COMPOSITE
HỢP KIM ĐỒNG MA SẮT – THÉP – HỢP KIM ĐỒNG MA SẮT LUYỆN KIM BỘT

Hung Ha Minh^{1,2,3}, Me Nguyen Van⁴, Hung Nguyen Van⁴, Huy Trieu Quy²,
Quan Nguyen Hoang⁵, Mac Dinh Khac⁵

¹National Research Institute of Mechanical Engineering

²University of Economics - Technology for Industries

³Institute for Development of Advanced Technical and Technology, VUSTA

⁴Bac Ninh College of Industry

⁵University of Engineering and Technology, Vietnam National University, Hanoi

ABSTRACT

The article introduces the experimental research results of fabricating a three-layer composite material of friction copper alloy - steel - friction copper alloy by powder metallurgy method, applied as a plasma welding blank of friction disk in the clutch transmission of large power engine and heavy transport vehicles. The characteristic properties of the composite material are investigated according to criteria such as: porosity, density, microstructure of the material at the interface between the friction copper alloy layer and the steel substrate layer; investigated according to the cross section of the sample.

Keywords: Copper alloy friction composite materials; Powder Metallurgy; Clutch disks.

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm chế tạo vật liệu composite 3 lớp hợp kim đồng ma sắt - thép - hợp kim đồng ma sắt bằng phương pháp luyện kim bột, ứng dụng làm phôi hàn plasma đĩa ma sắt trong bộ ly hợp truyền động máy động lực công suất lớn và phương tiện vận tải hạng nặng. Tính chất đặc trưng của vật liệu composite được khảo sát theo các tiêu chí như: Độ xốp, mật độ, tổ chức tế vi vật liệu vùng biên giới giữa lớp hợp kim đồng ma sắt và lớp thép nền khảo sát theo mặt cắt ngang mẫu thử.

Từ khóa: Vật liệu hợp kim đồng ma sắt; Luyện kim bột; Đĩa ma sắt.



1. INTRODUCTION

In foreign countries, powder metallurgy friction materials based on copper powder mixed with Sn, SiO₂, Al₂O₃ powders with different contents [1÷5] (hereinafter abbreviated as HKCuMS) are used. Some typical composite material grades are often used to fabricate friction disk details in the clutch transmission of cars, power machines in mining, construction, agriculture with a capacity of 500 ÷ 1000 horsepower (HP) aiming to replace traditional friction materials and have allowed to improve wear resistance, thermal resistance and stability when working.

In Vietnam recently at the Institute of Mechanical Research, there have been some experimental studies on the issue of fabricating HKCuMS composite materials with different compounds by powder metallurgy technology such as: Pb, Sn, Zn, Cgr, SiO₂, Al₂O₃, Fe,... [6÷9] achieved promising results. However, due to many limitations in the capacity of powder metallurgy equipment currently available in the country, the size of the composite material blanks obtained has a geometric size that is not large enough to meet the application requirements for production. details of friction disks in large power clutch transmission. Especially in the mining and mineral industry in Vietnam today there are a large number of equipment, machinery and mining transport vehicles in operation that are imported (Figure 2). In their operation process, every year it is necessary to periodically replace many worn parts that quickly break down, including friction disks (Figure 3a).

This article introduces the results of applying powder metallurgy technology to

fabricate copper - lead - tin - zinc - graphite - Al₂O₃ - Fe composite materials, used as friction disks in the clutch of mining transport vehicles [10], contributing to orienting mechanical engineering enterprises in the country to absorb new technologies and products.

2. RESEARCH METODOLOGY

2.1. Fabricating copper alloy - steel - copper alloy composite materials:

To determine the feasibility of the experimental product in the country by powder metallurgy technology, choose a type of friction disk in the clutch transmission of mining transport cars available in the country.

Figure 1 is a schematic diagram of the technology for fabricating copper alloy friction - steel - copper alloy friction composite materials (HKCuMS) by powder metallurgy method (PM). Figure 2 is a picture of a few self-dumping trucks produced by the Russian Federation operating on open-pit coal and mineral mines in Vietnam. Photo of some details of the clutch transmission of trucks manufactured by the Russian Federation (Figure 3a) and introduce the test stand for friction disks made from HKCuMS - steel - HKCuMS composite materials on a laboratory scale (Figure 3b) [8].

Figure 3b is a microstructure image of the border area of 2 layers of steel - copper alloy friction examined on imported friction disk samples. Using TRIBOTESTER fast wear tester of TRIBO-technic company (Germany) used for experiments according to the diagram of rotating disk carrying friction alloy sample on Figure 4.

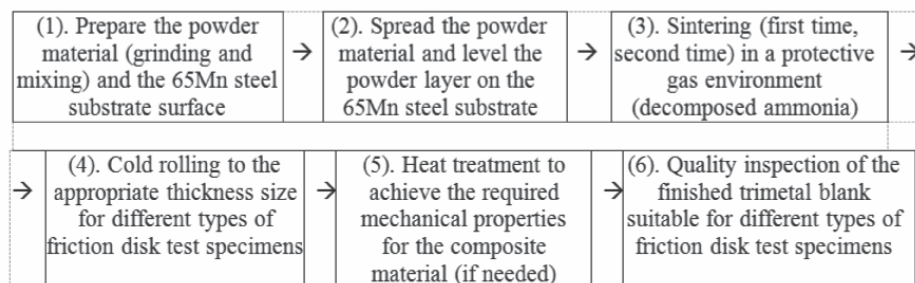


Figure 1. Schematic diagram of the principle of creating composite sheet blanks by powder metallurgy technology [8]

The basis for selecting friction alloys for experiments: powder metallurgy materials based on copper matrix, usually working in an environment with lubricating oil and having mechanical - physical characteristics as shown in table 1. The frictional characteristics of the corresponding friction alloys are shown in table 2 [8].

Table 1. Characteristics of some grades of copper friction alloy materials manufactured by the Russian Federation [8]

Friction material grade LKB	Chemical composition, %	Mechanical – physical properties of friction alloy materials					
		Volumetric porosity, γ , %	Density, ρ , g/cm ³	Stiffness, HV	Cutting strength, σ_c , MPa	Thermal conductivity, Cal/cm, °C.s (20÷500 °C)	Coefficient of thermal expansion, α , 1.10 ⁻⁶ , (20 ÷ 500 °C)
MK5	71Cu; 9Sn; 9Pb; 7C; 4 Fe	3 ÷ 5	6 ÷ 6,3	250 ÷ 350	60 ÷ 90	0,1 ÷ 0,11	-
ΦОБ	74Cu; 6Sn; 9Pb; 4Fe	3 ÷ 5	6,1÷6,3	300 ÷ 450	60 ÷ 90	0,1 ÷ 0,11	-
ΦАБ	74Cu; 6Al; 9Pb; 7C; 4Fe	3 ÷ 5	6,2÷6,3	500 ÷ 650	120 ÷ 150	-	-
ΦАОБ	74Cu; 4Fe; 7C; 2Sn; 9Pb; 4Al	3 ÷ 5	6,0÷6,3	450 ÷ 550	120 ÷ 150	-	-



Table 2. Working conditions, application range of copper friction alloy materials manufactured by powder metallurgy by the Russian Federation [8]

Friction material grade LKB	Reciprocal Friction Details	Coefficient of Friction		Wear resistance		Limit of use	
		lubrication	No lubrication	lubrication	No lubrication	Sliding speed, m/s	Pressure, MPa
MK5	65Mn Steel; C.40; C.45	0,055 at: $v=5$; $p=100$; $W_r=10$	0,17÷0,19 at: $v=5$; $p=100$; $W_r=10$	1,5 $\mu\text{m}/1000$ cycle	0,125 mm/1000 cycle	60	3,5
MK5	65Mn Steel; C.40; C.45	0,04 at: $v=20$; $p=350$; $W_r=25$	0,19 at: $v=12$; $p=400$; $W_r=45$	8,0 $\mu\text{m}/1000$ cycle	8,0 mm/1000 cycle	60	3,5
ΦОБ	65Mn Steel; C.40; C.45	0,055 at: $v=15$; $p=150$; $W_r=6$	-	1,6 $\mu\text{m}/1000$ cycle	0,085 $\mu\text{m}/1000$ cycle	-	-
ΦАБ	65Mn Steel; C.40; C.45	0,065 at: $v=15$; $p=150$; $W_r=6$	-	2,3 $\mu\text{m}/1000$ cycle	-	-	-
ΦАОБ	65Mn Steel; C.40; C.45	0,06 at: $v=15$; $p=150$; $W_r=6$	-	2,0 $\mu\text{m}/1000$ cycle	-	-	-

Note: v – Speed at start of braking (m/s); p – compression pressure of friction elements (MPa); W_r – specific function when braking ; K_{cp} – coverage factor; CK – brake cycle

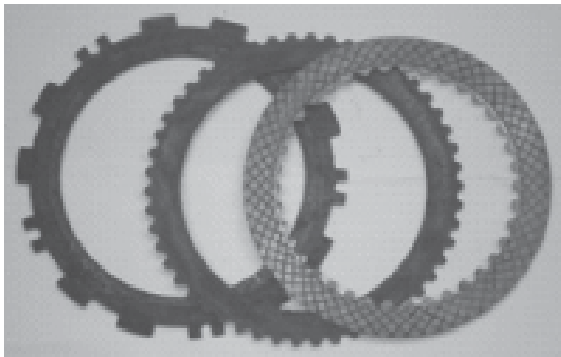


a)



b)

Figure 2. Images of KrAZ-6510 (a) and KAMAZ-55111 (b) cars imported from the Russian Federation operating on the mine site in Quang Ninh



a)



b)

Figure 3. Images of the details of the KAMAZ-55111 car transmission clutch (a) and the test stand of the friction disk made from HKCuMS - steel - HKCuMS composite material (b)

3. EXPERIMENTAL RESULT

3.1. Experiment to create composite sheet blanks of copper alloy - steel - copper alloy

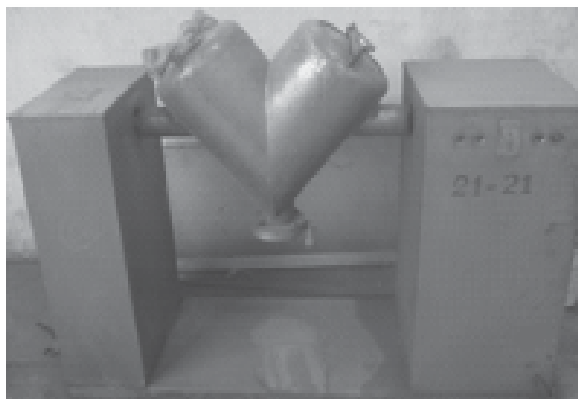
According to the schematic diagram shown in Figure 1, carry out the sintering and plastic deformation process to create composite sheet blanks and test the main criteria to evaluate the mechanical properties and microstructural characteristics of copper friction alloy materials with the composition of selected mixed elements. The images shown in figure 4 introduce the general steps of the experiment and the main results as follows:

To create a 3-layer composite material blank of copper alloy - steel - copper alloy using experimental equipment including: grinding and mixing machine for input powder material for sintering type “V” (figure 4a), step furnace for sintering metal powder in a protective gas environment is decomposed ammonia NH_4NO_3 (Figure 4b), rolling fine-tuning composite blank on Duo 100 rolling machine (Figure

4e) at mechanical manufacturing enterprise automobile in Vietnam [8].

The chemical composition of the powder material with the symbol $(73\text{Cu}6\text{Sn}6\text{Zn}3\text{Pb}4\text{Fe}4\text{Cgr}4\text{Al}_2\text{O}_3)$ is a copper friction alloy (by mass %) selected to be put into grinding and mixing and has a change compared to the material grade MK-5, ΦОБ of the Russian Federation. The grinding and mixing regime and sintering of the copper friction alloy powder layer on both surfaces of the steel layer are carried out according to a reasonable regime based on the experimental results of the author’s work [8]. The size of the steel substrate sheet is $2.5 \times 100 \times 300$ mm. The copper friction alloy coating layer after sintering on the surface of the steel layer has a thickness of about $\delta_{\text{bro}} = 2.0 \div 2.5$ mm, after rolling is $\delta_{\text{bro}} = 1.2 \div 1.5$ mm. Figure 4f shows images of some 3-layer composite material blanks after sintering and rolling to meet the requirements of total thickness size corresponding to the data given in Table 2.

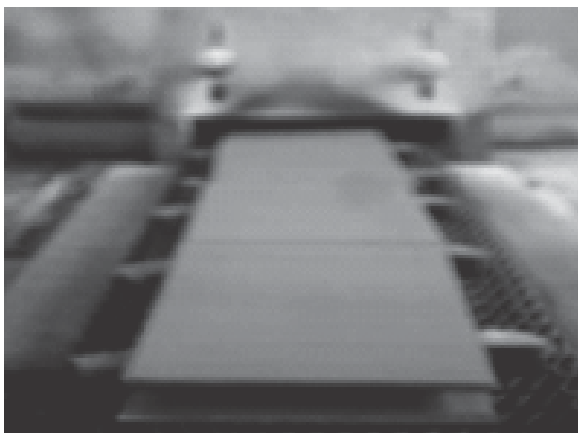




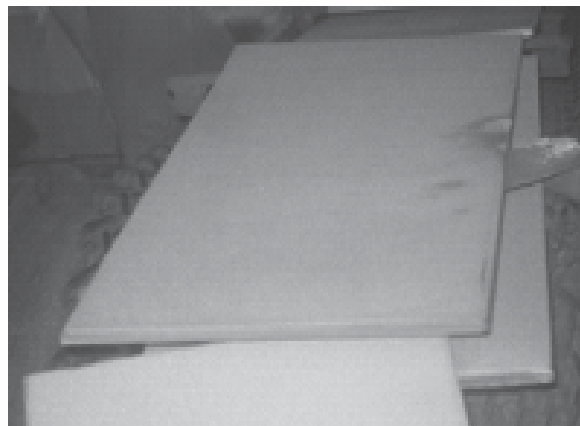
a)



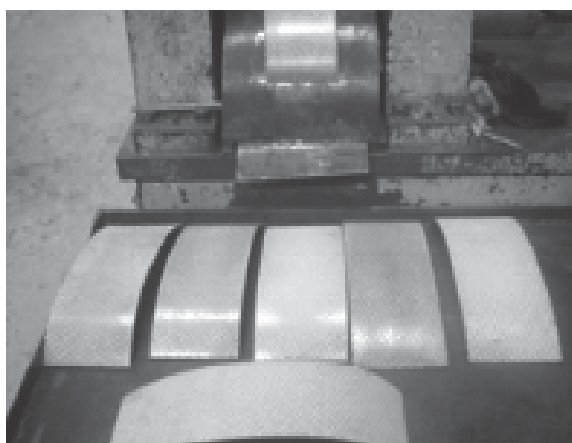
b)



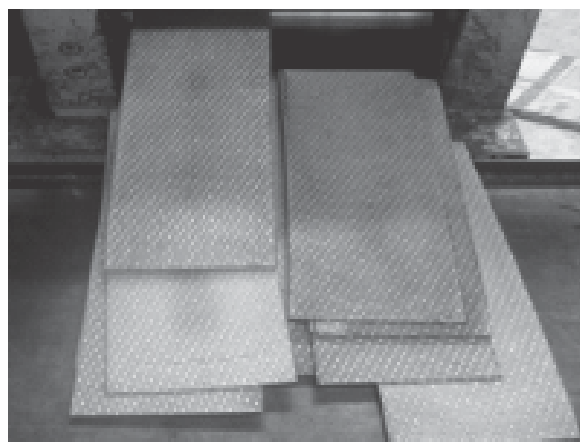
c)



d)



e)



f)

Figure 4. Image of “V” type grinding and mixing machine to mix copper friction alloy powder (a); step-type metal powder sintering furnace (b); feeding blanks into the heating chamber (c); composite material out of the furnace after sintering and cooling in the step furnace chamber (d); Duo 100 rolling machine (e) to deform the sample after sintering [8]

3.2. Mechanical properties of composite material of copper friction alloy - steel - copper friction alloy:

The mechanical and metallographic properties of the HKCuMS - steel - HKCuMS composite material are studied on samples obtained at different sintering and plastic deformation regimes according to the proposed experimental procedure in the previous section given in Table 3.

Table 3. Technical characteristics of HKCuMS - steel - HKCuMS composite material after sintering and plastic deformation using plasma welding blanks:

No.	Material type composite	Specifications for samples of composite materials made by powder metallurgy technology	Unit
1	HKCuMS - steel - HKCuMS composite material centerpiece after the first and second sintering	- Thickness of 3 layers after sintering: HKCuMS ($\delta_{br} = 2.3 \pm 0.2$) x steel ($\delta_{st} = 2.5$) x HKCuMS ($\delta_{br} = 2.3 \pm 0.2$) - Width x length ($100 \times 300$) $\pm 0,5$ - Porosity of HKCuMS layer after first sintering (γ_{01}): $19.52 \div 16.72$ - Porosity of HKCuMS layer after second sintering (γ_{02}): $14.48 \div 13.98$ - Density of HKCuMS layer after 1st sintering (ρ_{01}): $5.72 \div 6.09$ - Density of HKCuMS layer after 2nd sintering (ρ_{02}): $6.38 \div 6.41$ - Microhardness of HKCuMS layer after sintering: $70 \div 100$	mm % % g/cm ³ g/cm ³ H _{V0,05}
2	HKCuMS - thép - HKCuMS composite material centerpiece after total rolling deformation $\varepsilon_{\Sigma} \approx 10 \div 15 \%$	- Thickness of 3 layers of composite material after plastic deformation: HKCuMS ($\delta_{br} = 1.3 \pm 0.1$) x Steel ($\delta_{st} = 2.5$) x HKCuMS ($\delta_b = 1.3 \pm 0.1$) - Width x length ($100 \times 300$) $\pm 0,5$ - Porosity of HKCuMS layer after rolling deformation (γ_c): $4.52 \div 3.98$ - Microhardness of HKCuMS layer after rolling deformation ($H_{V0,05}$): $80 \div 110$ - Hardness of steel substrate after rolling deformation: $214 \div 240$ - Adhesion strength of 2 layers of steel – HKCuMS after sintering and rolling deformation (σ_c): $56.86 \div 93.33$ - Microscopic organization of HKCuMS after rolling deformation: figure 6a ÷ d, equivalent to the sample produced by the Russian Federation (Figure 5)	mm mm % MPa HB MPa -



The experimental data for manufacturing test sheets of HKCuMS - steel - HKCuMS composite material on the existing powder metallurgy equipment line in the country basically meet the mechanical and physical criteria of the HKCuMS layer on both sides of the 65Mn steel substrate layer equivalent to the material of the Russian Federation manufacturing.

3.2. Metallographic characteristics:

Figure 5 is an image of the microstructure of the 3-layer composite material HKCuMS - steel - HKCuMS by optical microscope, studied on the cross section on the imported sample manufactured by the Russian Federation, while figure 6 is on some typical experimental samples obtained in the country.

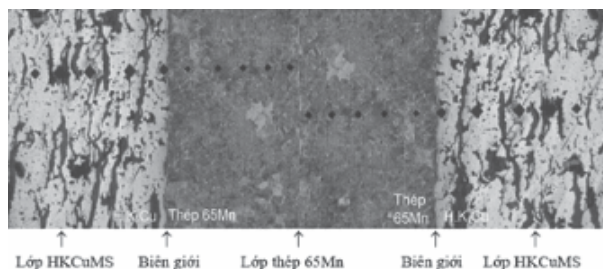
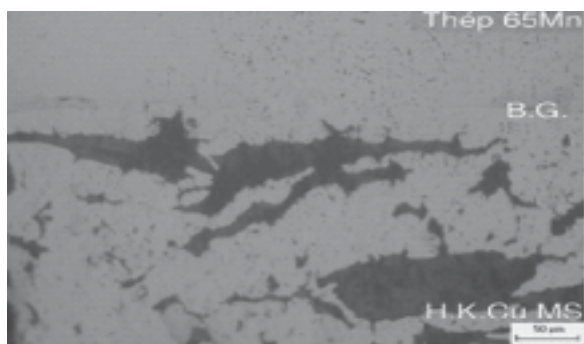
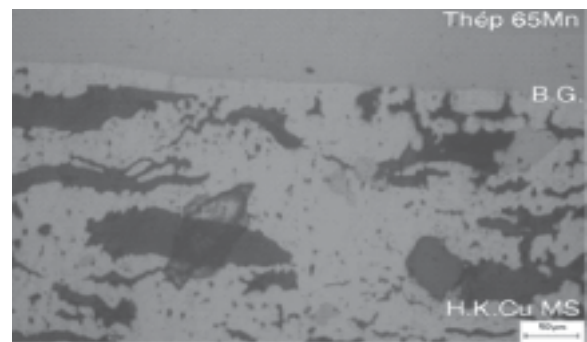


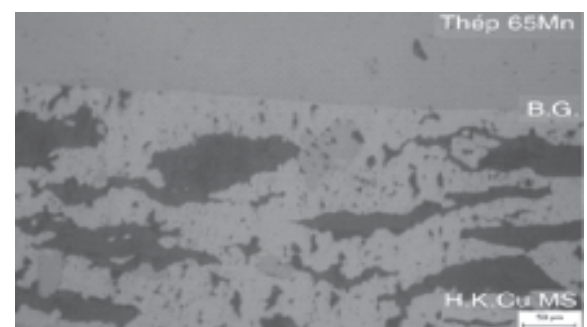
Figure 5. Image of microstructure of material at border area between steel layer and copper friction alloy studied on imported finished product sample (b) [8, 9]



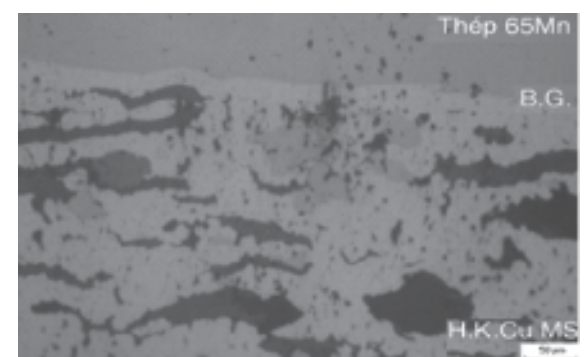
a) No.2 x200: $\gamma_1 = 19.52\%$, $\rho_{0V} = 5.72 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_c = 56.86 \text{ MPa}$



b) No.6 x200: $\gamma_3 = 16.72\%$, $\rho_{0V} = 6.09 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_c = 80.96 \text{ MPa}$



c) No.8 x200: $\gamma_8 = 14.48\%$, $\rho_{0V} = 6.38 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_c = 90.16 \text{ MPa}$



d) No.9, x200: $\gamma_9 = 13.98\%$, $\rho_{0V} = 6.41 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_c = 93.33 \text{ MPa}$

Figure 6. Image of microstructure of material at border area between 2 layers of steel 65 Mn - 73Cu6Sn6Zn3Pb4Fe4Cgr4Al₂O₃ on sample after sintering at regime: a) No.2 (sintering time 1: $p = 0$; $T_{t.k} = 875^\circ\text{C}$; $t_{t.k} = 50 \text{ min}$); b) No.6 (sintering time 1: $p = 10$; $T_{t.k} = 900^\circ\text{C}$; $t_{t.k} = 50 \text{ min}$); c) No.8 (sintering time 2: $p = 20$; $T_{t.k} = 875^\circ\text{C}$; $t_{t.k} = 50 \text{ min}$.); d) No.9 (sintering time 2: $p = 20$; $T_{t.k} = 900^\circ\text{C}$; $t_{t.k} = 50 \text{ min}$)

Analysis of microstructure images in Figure 6 above shows:

1) Inside the HKCuMS layer ($73\text{Cu}6\text{Sn}6\text{Pb}3\text{Zn}4\text{Fe}4\text{Cgr}4\text{Al}_2\text{O}_3$) on sample No.2 there are sub-regions of black structure (pores) with different shapes and sizes. The pores have the largest size in the range of $120 \sim 180 \mu\text{m}$, and the smallest is $\sim 40 \mu\text{m}$. The boundary between the 2 layers of 65Mn steel and HKCuMS layer has no defects such as thin film compounds or intermetallics on the entire length of the sample studied. This ensures that the adhesion strength between the 2 layers of steel substrate and HKCuMS has a relatively high value ($\sigma_{c2} = 56.86 \text{ MPa}$);

2) Inside the HKCuMS layer on sample No.6 there are also sub-regions of black porous structure with different shapes and sizes ranging from $50 \sim 160 \mu\text{m}$. In addition, some light gray sub-regions of structure with a size of about $25 \sim 50 \mu\text{m}$ are scattered in the copper alloy matrix (orange-yellow), which may be aluminum oxide (Al_2O_3) or iron (Fe) particles mixed in the raw material powder mixture before sintering. The boundary between the 2 layers of 65Mn steel and HKCuMS layer has no defects on the entire length of the sample studied. This ensures that the adhesion strength between the 2 layers of steel substrate and HKCuMS has a value equal to $\sigma_{c6} = 80.96 \text{ MPa}$;

3) Inside the HKCuMS layer on sample No.8 there are sub-regions of black porous structure with different shapes and sizes ranging from $30 \div 160 \mu\text{m}$. On sample No.9, the HKCuMS layer has elongated pores with sizes ranging from $120 \div 170 \mu\text{m}$. Some light gray sub-regions of structure (Al_2O_3) or iron (Fe) on both of these experimental samples have a size of about $20 \div 60 \mu\text{m}$ and are scattered in the

copper alloy matrix. The boundary between the 2 layers of 65Mn steel and HKCuMS layer has no defects on the entire length of the sample studied. This ensures that the adhesion strength between the 2 layers of steel substrate and HKCuMS has a value equal to $\sigma_{c8} = 90.16 \text{ MPa}$ (sample No.8) and $\sigma_{c9} = 93.33 \text{ MPa}$ (sample No.9);

Thus: the metallographic characteristics of the HKCuMS layer on 04 samples of composite materials manufactured domestically in the state after sintering 1 and 2 have a microstructure similar to the sample imported from the Russian Federation. Here, the sub-regions of porous structure may contain graphite (Cgr), while the sub-regions with brighter orange-yellow color are Cu alloy with other mixed metal elements, except Fe or Al_2O_3 (light gray) obtained after sintering. In case of rolling to achieve the required size in table 3, the microstructure of the HKCuMS layers will theoretically have a structure closer to the imported material sample with elongated pores (Figure 5). This allows it to be used as a blank for the experimental step of plasma welding to connect the pieces together as proposed in the work [10].

4. CONCLUSION

1) Multilayer powder metallurgy composite materials have superior technical characteristics than monometal materials, so they have been widely applied in modern machinery and equipment in the world. However, research on applying this advanced technology in Vietnam has not been systematically invested, and specialized equipment still has many limitations and does not meet the requirements of producing large-sized parts, so there is a need for research 

proposals to combine solutions with advanced welding technology at laboratory scale to overcome these weaknesses;

2) Two layers composite materials (65Mn steel - 73Cu6Sn6Pb3Zn4Fe4Cgr4Al₂O₃ and SS400 steel - 73Cu6Sn6Pb3Zn4Fe4Cgr4Al₂O₃) and 3 layers composite materials (65Mn steel - 73Cu6Sn6Pb3Zn4Fe4Cgr4Al₂O₃ and SS400 steel - 73Cu6Sn6Pb3Zn4Fe4Cgr4Al₂O₃), manufactured by powder metallurgy technology using metal powder sintering furnace type step currently available in the country have mechanical - physical and metallographic characteristics equivalent to materials tested on friction disks in heavy-duty vehicle clutch transmission manufactured by the Russian Federation, qualified for use for welding experiments to create blanks for machining some friction disk details with larger geometric size than allowed size for other power transmission. ❖

References:

- [1]. J. M. Tura, A. Traveria, M.D. de Castellarm J. Pujadas, J. Blouet, R. Gras, H.G. Magham. P. Belair, T. Hanau, A. Romero: *Frictional properties and wear of molybdenum coating and a bronze (Cu – 10%Sn) with friction modifier fillers*, Elsevier Science S.A., 1995, pp. 71-76.
- [2]. Xiang Xiong, Jie Chen, Pinping Yao, Shipeng Li, Baiyun Huang: *Friction and behaviors and mechanisms of Fe and SiO₂ in Cu-based P/M friction materials*; Science Direct, 2006.
- [3]. A. Shrestha, R. Asthana, T.K. Laksonen, and M. Singh: *Synthesis and Characterization of Air-Sintered Al₂O₃-Bronze Composites*, Journal of Materials Engineering and Performance, (JMEPEG), ASM International, 2009, pp. 1041-1045, www.sciencedirect.com.
- [4]. Mustafa Boz, Adem Kurt: *The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials*, Tribology International: www.sciencedirect.com/locate/triboint, 2007.
- [5]. Bekir Unlu, Enver Atik: *Evaluation of effect of alloy elements copper based CuSn10 and CuSn30 bearings on tribological and mechanical properties*, Journal of Alloys and Compounds, 2009, pp. 262-268, www.elsevier.com/locate/jallcom.
- [6]. Ha Minh Hung, Nguyen Van Giap, Dang Van Tuan: *Research on friction materials for engine clutches, heavy-duty trucks in the mining industry*, Vietnam Mechanics Magazine, No. pp. 114 -124.
- [7]. Ha Minh Hung, Tran Tuan Anh: *Properties of domestically made friction copper alloy materials by pressing - sintering method under pressure*, Vietnam Mechanics Magazine, 2013, No. 8-T8/2013, pp. 25 -34.
- [8]. Ha Minh Hung: *Research on technology to manufacture 3-layer alloy materials (trimetal) applied as friction disks of engine clutches of engines, construction machines*, Scientific research project report at Ministry of Industry and Trade, No.119.13.RD/HD-KHCN, National Research Institute of Mechanical Engineering, Hanoi, 2013.
- [9]. Ha Minh Hung, Pham Duc Thang: *Experimental research for powder metallurgy technology making copper alloy friction materials for application of making clutch disks of cars*, Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology," Vietnam Academy of Science and Technology, Ha Long, November 8-12, 2016, Code: NMD-P73.
- [10]. Ha Minh Hung, Nguyen Van Me: *Research on the potential application of plasma welding technology, microplasma multilayer composite materials*, Vietnam Mechanics Magazine, No. 3/2022, pp. 53-63.

FEEDBOT: A SIMPLE AND SMART DESIGN SELF-FEEDING ROBOT FOR PARKINSON'S PATIENTS AND THE ELDERLY

FEEDBOT: MỘT THIẾT KẾ ĐƠN GIẢN VÀ THÔNG MINH CỦA ROBOT TỰ CHO ĂN CHO BỆNH NHÂN PARKINSON VÀ NGƯỜI CAO TUỔI

Tri Dung Dang, Nguyen Minh Trieu, Nguyen Truong Thinh*

Institute of Intelligent and Interactive Technologies, University of Economics Ho Chi Minh City, Vietnam

ABSTRACT

The assistance for the elderly and Parkinson's patients has always been utterly demanding, many robots assisted feeding (RAF) are designed to support Parkinson's patients and the elderly. This paper demonstrates the design of a robot that helps disabled people in eating activities since they can barely do this themselves. Visually, the robot consists of three main parts: a food tray, a feeding arm, and a remote control in order to simulate the eating movement of humans. This design aims to design a lightweight robot that operates autonomously and can analyze data based on patients' nutritional recommendations via smartphone monitoring software. Besides, the design is also based on the study of adults' experiences in their daily dining. This work aims to design a robot-assisted feeding and apply it to reality in Vietnam.

Keywords: Parkinson; Self-feeding robot; Robotic manipulator.

TÓM TẮT

Việc hỗ trợ cho người cao tuổi và bệnh nhân Parkinson luôn luôn là một nhiệm vụ đầy thách thức. Nhiều loại robot hỗ trợ cho việc ăn uống (RAF) đã được thiết kế để hỗ trợ bệnh nhân Parkinson và người cao tuổi. Bài viết này trình bày về việc thiết kế một loại robot giúp người khuyết tật trong hoạt động ăn uống, bởi vì họ thường khó khăn trong việc tự thực hiện điều này. Về mặt hình thức, robot này bao gồm ba phần chính: một khay đựng thức ăn, một tay cầm đưa thức ăn và một bộ điều khiển từ xa để mô phỏng cử động ăn của con người. Thiết kế này hướng đến việc tạo ra một loại robot nhẹ và có khả năng hoạt động tự động, có thể phân tích dữ liệu dựa trên các đề xuất dinh dưỡng của bệnh nhân thông qua phần mềm giám sát trên điện thoại di động. Hơn nữa, thiết kế của robot này còn dựa trên việc nghiên cứu về trải nghiệm ăn uống hàng ngày của người lớn. Mục tiêu của công việc này là thiết kế một loại robot hỗ trợ cho việc ăn uống và áp dụng nó vào thực tế tại Việt Nam.

Từ khóa: Parkinson; Robot tự cho ăn; Cánh tay robot.



1. INTRODUCTION

Parkinson's disease is a disease of neurological which is popular among the elderly, and it can be considered a chronic condition or a source of disability. There is approximately 18.7% percent of the non-institutionalized US population has been living with a disability [1], and 12.3 million require assistance with their activities of daily living (ADLs), for instance, eating, bathing, dressing, and moving [2]. Moreover, depression and disability can be worsened when there are assistances in their ADLs because this is the loss of regular routines that aggravates disability [3]. According to University Medical Center Ho Chi Minh City, 1,089 patients with Parkinson's were monitored and under treatment for a total number of 4,000 treatments per year. Patients who are suffering from upper limb impairments barely find feeding themselves easily. Fortunately, in recent years, there has been much research to apply technology and science to support disabilities [4-5]. There are several remarkable designs of feeding-assistance robots introduced [6-7]. For instance, Abou Haidar, Gaby, et al [6] came up with RFDP consisting of an arm with five degrees of freedom by using blink detection technology; the user selects the appropriate food plate and moves the arm towards it by just blinking the eye. Turgeon, Philippe, et al [7], designed a meal-assisted robot arm that aims to stabilize the movements of people living with movement disorders. In the market, Obi is a robotic arm connected to a food tray of four bowls. A removable spoon is attached to the arm in order to pick up food from the tray. The feeding movement of Obi is relatively identical to other self-feeding robots, although it features Teach mode which users can progressively adjust the arm to a position in front of their mouth and then record the position for further

feeding movement. The iEAT feeding robot (Assistive Innovations, 2016) [8], is a feeding device for people who have been living with spasms, tremors, or quadriplegia by rotating its food plate, the spoon can gather enough amount of food to feed the user. These robots share the same design and adjust to suit their demand, they consist of a food tray, and arms with an attached spoon, and can operate in manual or automatic mode. In addition, they are designed to bring state-of-the-art, safe, and easy use. Patients with quadriplegia, spasms, or Parkinson's can benefit from features in their daily eating routines [9]. However, in Vietnam, rice, and soup, considered as primary food, are usually served at the dining table in combination with other dishes. Furthermore, gruel and rice noodles are also everyday food and they are often given to patients because they are delicious food and easy to eat. These made consuming food in this country a lot different from Western countries not to mention dishes for the elderly and patients who are under medical treatment are usually offered meal plans for a healthy diet. In Vietnam, Parkinson's patients are in the final stage, all living activities are carried out by relying on relatives, unable to control their bodies. Besides drug treatment, physical therapy exercises, and logical dining suggested by doctors with outside support, people with Parkinson's disease or Alzheimer's disease are recommended a soft, easy-to-digest, and high-fiber diet [10]. Nutrition has an important role in neuroprotection and neurodegeneration [11]. In many of the observed cases, the patient needs support for feeding. The task of feeding is not too complicated for the medical staff or the patient's family, however, it takes up their time. They also do not feel for themselves which is the most appropriate height of the spoon to feed the food, but only the approximate. Therefore, if the patient can control this height, they

experience the most favorable eating and also lose the feeling that others have to serve them. Thus, in terms of product design, a robot for feeding provides both the best experience in the patient's physical activity and mental comfort for the elderly with poor movement ability. The purpose of the design is to automatically adjust and match each patient, and the robot is suitable for Vietnamese people's nutrition. The design of this self-feeding robot enables bowls to be inserted into each tray food tray, hence these bowls can be separated for better cleaning and hygiene. It is designed suitably for types of common food in Vietnam, such as rice, soup, or gruel. Moreover, it introduces the nutritional data (including nutriment and quantity of foods) collection feature, the accompanied software can be used to record the nutritional needs of the patient through a smartphone and give the recommendation to the user. These types of information can be easily observed and controlled via the internet; thus, this enables family members to have a better overview and easily the condition of the patient.

2. ROBOT-ASSISTED FEEDING SYSTEMS

2.1. Target user

This research aims to assist the elderly and individuals who are diagnosed with Parkinson's disease. This debilitating condition is known to decrease a person's ability to move, making it challenging for them to use their fingers, legs, and other extremities. Bradykinesia, or slowness of movement, is a prevalent symptom among Parkinson's patients, and it often leads to pain and discomfort. In addition, Parkinson's disease can cause involuntary shaking of the hands and feet or muscle stiffness, which can cause resistance to muscle relaxation, making it challenging for

patients to perform daily activities [8]. People who suffer from muscle disorders frequently encounter poor muscle activity around their elbows and shoulder joints, even though they can lift their hands and have minimal motor functions. Furthermore, the elderly often experience difficulties with the motor functions of their upper body, and those who are frail or have disabilities require assistance with basic activities of daily living. Such activities may include feeding oneself, which can be extremely challenging for some individuals. Therefore, this research aims to develop solutions that can aid these individuals, making it easier for them to complete daily tasks and maintain their independence.

2.2. The expectation of a self-feeding robot

The design is expected to support the patient throughout their eating routines. Most of the elderly are using wheelchairs to move around, which helps them approach the device easily. First, the robot can serve foods in both liquid and solid forms. A removable spoon attached to the arm is designed to reach all areas of the bowl and is programmed to shake lightly after scooping in order to prevent food from falling out of it while eating. Second, this system is designed for serving Vietnamese foods including rice, soup, and gruel. The movement of the arm needs to be suitable for eating those foods that are scooped around the edge of the bowl first. Third, this design is accompanied by a dedicated application that can be used on smartphones. This software sends and receives information with the robot via Bluetooth and the internet, the information includes nutrition facts and meal quantity of meals and is stored for medical check-ups. Fourth, the self-feeding robot is mainly used for feeding purposes, that's why sanitation of the device is also a noticeable 

factor. The cleanliness brings the user a reliable sensation from the robot, it makes the food look more delicious, and to some extent, it helps patients consume food if they are losing appetite. Finally, since other self-feeding robots, which were commercially introduced to the market, are quite high-priced, this design is supposed to be low-cost and approachable to many users. These features make this robot well-researched globally shortly.

3. DESIGN

As mentioned above, the RAF robot can be approachable to many types of users, especially the elderly and people with Parkinson's. The arm(s) of the robot should be modeled to simulate human hand casual movement while feeding elderly people, users shouldn't have to force themselves to move or have a hard time leaning over to eat food.

3.1. Concepts

There are typical concepts for a self-feeding robot, these concepts are likely inspired by previous designs. These concepts are considered uncomplicated while being the most effective and approachable. The proposed robotic system is specially designed to enhance the dining experience for individuals, with a circular tray serving as the base for a pair of robotic arms. The tray is equipped with the advantage of rotation, providing two key benefits. Firstly, it ensures that food is accurately given to the correct robotic arm at the perfect time, preventing any spills or accidents during mealtime. Secondly, the tray can be easily removed for cleaning, sterilizing, and storing in the kitchen area without impacting the rest of the robotic-assisted feeding (RAF) system. In terms of technical design, the robotic arm

has two degrees of freedom in perpendicular directions, height, and width, making it highly flexible (as depicted in Figure 1). This design allows for better customization to the individual's unique needs and preferences. Additionally, in Vietnamese culinary culture, people typically require the use of different types of spoons during dining, and robotic arms are well-suited for this purpose. With the ability to accommodate two spoons, each arm can function for different dishes, thus enhancing the dining experience and aligning with Vietnamese culinary culture.

The robot's ability to rotate also allows for better accessibility and ease of use, especially for individuals with mobility limitations. The design of the robotic arms provides improved dexterity and control, enabling precise and accurate movements while feeding, thus minimizing the risk of any accidents. Furthermore, the system's modular design allows for easy maintenance, upgrades, and customization to better suit individual needs and preferences.

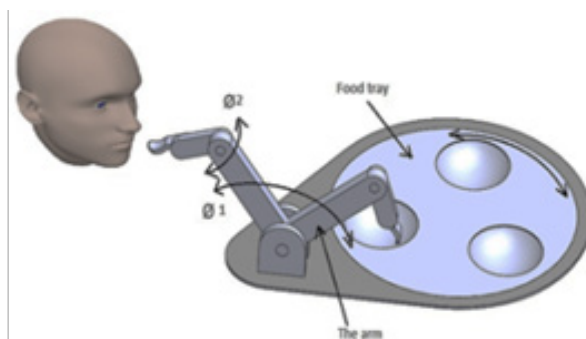


Figure 1. Concept 1 for Feedbot.

The second design proposes a more convenient method for choosing foods. Each button in the controller is assigned to the corresponding food tray. The robotic arms are independent and there are more degrees of

movement in this concept than in concept 1. The arm and the food tray are not connected by any link, which suggests the placement of these be fixed. Otherwise, the robot cannot scoop food properly. This concept shares the same common with concept 1 as the same the eating activity of humans (Figure 2). Simulating human movement helps the patients in familiar with the robot easily as it serves them frequently. It is designed based on user experience, which is established in technology as consumers' experience [12]. This approach initiates in the elderly with mentality, a will for cooperation, and design, and it simulates skillful human arms. However, this design, in a sense, disables the caregivers and nurses with its immobility and fixed position.

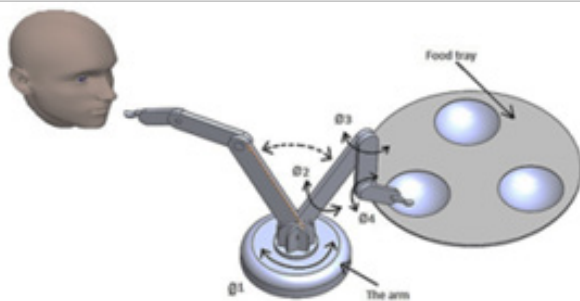


Figure 2. Concept 2 for Feedbot.

The third concept shown in Figure 3 includes two arms, one is equipped with a gripper and the other uses a spoon as usual. This concept takes inspiration from the expectations of users as the foundation of the design [13]. This design aims to simulate both hands of humans, thus it can pick different types of cultural foods and bring pleasure to users in an interaction with the character both serving and repeating how humans would use them in the same context [14]. However, it repeated the same disadvantage of the second design which is not being conducive for caregivers or nurses to place the food tray and the arms accurately.

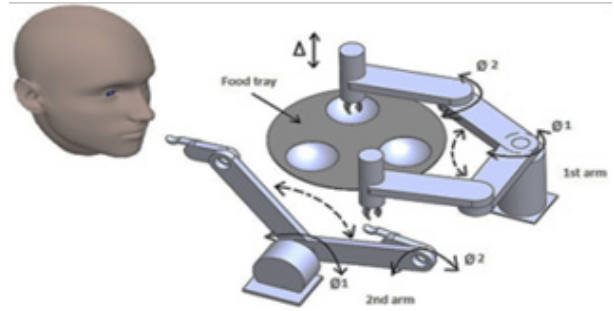


Figure 3. Concept 3 for Feedbot.

The FeedBot is designed to serve people in Vietnam, who have different eating traditions from Western countries. In Vietnam, the meal usually consists of rice, soup, and different dishes in combination. This influenced the design of FeedBot as it has an arm that can scoop rice or soup on the tray in bite-size and a food tray with three hemispherical rooms for food bowls of different sizes. The outside of the robot is covered in bright white, bringing the user the feeling of sanitation and trustworthiness of their meal. With the mission, the manufacturing cost of the Feedbot is reduced so the design must be simple but must meet the proposed functions, Table. 1 shows a comparison of concept design about design complexity.

Table 1: Comparison of concepts

Concept	No. DoF of Arm	No. Arms	No. actuator overall
1	2	1	2
2	4	1	4
3	5	2	5



Among these concepts, the integration of the feeding manipulator and the food tray onto the same base is a thoughtful design choice that offers several benefits. One significant advantage is the compactness of the system. By placing both components on the same base, the device's overall size is reduced, making it more manageable and practical to use in different environments. Additionally, the system's neatness is improved, giving it a more professional and refined appearance. Moreover, the user experience is enhanced by this design. Caregivers can easily place food on the tray and position the device on a table, enabling the patient to eat comfortably without any physical discomfort. This feature saves time and effort while also making the feeding process less stressful for both the caregiver and the patient. The feeding manipulator arm, which has two degrees of freedom, is another key aspect of this design. The arm's flexibility allows it to move in multiple directions, which simplifies the device's calculations and control. This capability also reduces the cost of the equipment, making it more affordable for those who need it. In conclusion, the integration of the feeding manipulator and food tray onto the same base as in Concept I is a smart design that offers numerous benefits. From improving the system's compactness and neatness to enhancing the user experience and reducing equipment costs, this design is a significant advancement in the field of feeding assistive technology.

3.2. Anthropometry

The self-feeding robot is designed for Vietnamese users, whose body measurements are considered. As the height of Vietnamese people varies between men and women and among areas of the countries, the dimensions

of the robot should follow corresponding anthropometric figures [15]. This device is used by a particular group of people, Fozard (1981) and Stoudt (1981) research the anthropometry of the elderly, stating that as their age increases, the anthropometric value also differs from other age groups. These data cannot be used interchangeably among countries and ethnicities [16-17].

Anthropometry is one of the determining factors in any design of a robot for well-being. Such values are:

- Sitting height of a person in a wheelchair;
- Sitting mouth height of a person in a wheelchair;
- Distance from crown to mouth;
- Distance from mouth to spoon (also head reach).

They directly influence the dimension of the robot and a design for the elderly should certainly be specifically convenient. Because stature is the most affected anthropometric characteristic and according to the National Institute of Nutrition of Vietnam in 2010, the average height of Vietnamese people is 164.4 cm for men and 153.6 cm for women, which belongs to the low average group. The data of the Vietnamese's average sitting height is 84.4 cm and 79.5 cm for men and women, respectively. The head of the man according to the ratio of development of the body is usually larger than the head of the female, and the head height is shown at face length from the forehead to the chin, with an average gender varying from 1 cm to 1.5 cm. The ratio of head height and body height varies from 1/7 approximately. This means the head height of a man is 23 cm and 21.7 cm for a woman. These values are

essentially taken into account when it comes to designing furniture because chairs and tables are two objects that will be used for a long time. This means they must be proportionally designed to help users, particularly the elderly to work and move with ease and comfort. And with the height of the table in Vietnam has been standardized to be 75 cm from the ground while the chair is 42-45 cm. All measurements are made by the same person for all the participants. The measurer was given training in the use of anthropometric instruments in the laboratory. Before the data collection is started, several trial runs are conducted in the laboratory to make sure that the measurer fully understands all procedures of measurement and follows them consistently throughout data collection. The measurements made by the measurer in the trial runs are checked by another person to determine the accuracy and consistency of the measurements.

3.3. User Experience

The self-feeding robot's design was evaluated practically by patients with Parkinson's disease, in a series of research and surveys conducted in nursing homes and healthcare centers for the elderly in Ho Chi Minh City, Vietnam. The need for such a robotic system arises from the fact that in nursing homes and healthcare centers, nurses usually assist patients with their eating every day. However, patients who are elderly or have Parkinson's disease take longer to eat than others, and each nurse or caregiver is often assigned to look after more than one patient, which can result in a lack of attentive care. This highlights the crucial role that this robot can play in enhancing the well-being of patients.

Most patients in these facilities

use wheelchairs to move around, making it challenging for them to feed themselves independently. In response to this challenge, the robot is designed to be placed on a table right in front of the user, with the trays filled with food. This placement ensures that patients can easily access their food without having to struggle or require assistance from caregivers, providing them with greater independence and control over their meals. The self-feeding robot's design is well-suited for individuals with Parkinson's disease, who often experience difficulty with their motor functions, particularly in their hands and fingers, making it challenging for them to use cutlery. The practical evaluation of the robot's design by patients with Parkinson's disease is critical in ensuring that the system is effective and meets the unique needs of its target audience. The feedback and insights provided by patients can be used to refine and improve the robot's design further, enhancing its usability and performance. Additionally, the ability to conduct practical evaluations in nursing homes and healthcare centers provides a valuable opportunity to test the robot in real-world scenarios, ensuring that it can meet the challenges and demands of daily use. The arm of the robot simulates the activity of a human hand while eating routine. The simulation in this study is an independent manipulator, a rotating food tray that is easily controlled, a highly integrated smart recommendation based on the medical index, and lightweight plastic fiber. During the meal, the mechanism allows the user to scoop food in the tray simply by only 2 simple buttons, it moves up to the user's mouth. The patients only need to lean over a little bit to take food on the spoon. Furthermore, the robot is also programmed to serve rice, soup, or gruel effectively through the agency of variable angles its hand can rotate. The users also notice the shaking motion of the arm after



scooping food so that the food stuck outside the spoon falls back to the tray and does not fall out when the arm moves up to the user's mouth. It is worth noticing that the quantity of scooped foods also affects the user experience and quality of the meal. Depending on the kind of food being served, the amount is scooped differently. Watermelon, rice, and rice porridge are being served in this experiment. Ultimately, most of the participants were satisfied and fascinated by the assistance of this robot.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The design concept I shows the advantages for users in the experience aspect. Therefore, these product design brings about important tools in the future since user experience is increasing satisfaction and sales of consumers by providing maximum convenience, benefits, and enjoyment for last users [18]. The goal of the design is around the user and their interest in the culinary culture. Vietnamese people have a plan for meals differently from other ethnicities and races; each dish bears different properties, so the mode of scooping, spooning, and handling is also different. Vietnamese anthropometry can be used to collate the design and measurements of each part. The actual Feedbot and the interface are shown in Figure 4 with the specification presented in Table 2.



Figure 4. The actual software and Feedbot.

Table 2: The specification of Feedbot

Feedbot	
Size	408 x 367 x 390 mm
Weight	1.0 Kg
Power supply	9 VDC

In the future, the design will improve the smart recognition of food and for seat height to advance to its fullest design features and precise serving. Development of sensation into the arm of the RAF is a possibility, granting the machine the ability to awareness and memory storage, then self-adjustment to the suitable height of users.

The integration of the physical properties of food allows the robot to select the appropriate spoons and to further increase precision in serving. The users are those that require assistance in movements, they acquire physical care, helping them in daily activities. Moreover, they also need mental, as well as emotional, care in serving and cultural habits in activities and usage of the technology. Thus, further progression of the Feedbot in the future in quantity and quality is necessary. The plan ideas and models for care gadgets depended on the extraordinary necessities of the elderly and difficult impediments in their eating abilities. The conduct of the elderly the difficulties of both senior individuals, and the parental figures in the feasting region while eating are firmly explored in both the ordinary consideration unit and the extraordinary consideration unit of the nursing home. Additionally, the dedicated software can function as overall healthy diet management, which is important for tracking nutrients in food as well as the number of meals. These data are recorded and they are synchronized through smartphones via internet connection. The proposed design is an elegant

departure from the previous models. It comes with a sleek design and a brighter color scheme that does not become mucky overtimes. Moreover, the dimension of the robot can be reduced for convenience.

5. CONCLUSIONS

In this study, a self-feeding robot is proposed with improvements for people in Asia, especially in Vietnam such as cheaper cost, suitability for traditional food, and ease of use. This study is carried out with the advice of doctors, nurses, and caregivers to adjust the mechanical mechanisms suitable for the elderly and Parkinson's patients. This robot uses software to record the information of each meal, this is the document to doctors or patients' relatives can track via the internet. Future research can address the subsequent issues such as force control and user safety, the addition of compliant devices to cut back the chance of injury to users, expanding or optimizing the image processing algorithm for other varieties of foods, seamless integration of the robotic and vision system, the addition of other user interfaces in response to the vast range of user needs, then testing and evaluating the product on users is carried out to improve the quality of the service of Feedbot.

Acknowledgment:

This research is funded by University of Economics Ho Chi Minh City – UEH University, Vietnam. This paper is a product of a university-level research project code CTD-2023-03 funded by the University of Economics Ho Chi Minh City. ❖

Ngày nhận bài: 12/9/2023

Ngày phản biện: 18/10/2023

References:

- [1]. Brault, M.W., 2012. Americans with disabilities: 2010. Report number: P70-131. *United States Census Bureau*, available at: www.census.gov/library/publications/2012/demo/p70-131.html (accessed 15 April 2022).
- [2]. Dunn, Dana. *The social psychology of disability*. Oxford University Press, 2014.
- [3]. Kim BJ, Liu L, Nakaoka S, Jang S, Browne C, “*Depression among older Japanese Americans: The impact of functional (ADL & IADL) and cognitive status*”, *Social work in health care*, 57(2), 109-125, 2018, doi: 10.1080/00981389.2017.1397588.
- [4]. H. Vadivel, K. S. Priyanayana and A. G. B. P. Jayasekara, “*Enhancing the Capabilities of Approaching to Service Scenarios and Settling for Intelligent Wheelchair Robots*”, in 2021 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 711-716, 2021, doi: 10.1109/MERCon52712.2021.9525668.
- [5]. N. T. Thinh, N. A. Quoc, N. V. Tam Toan and T. T. Luc, “*Implementation of Rehabilitation Platform based on Augmented Reality Technology*”, in 2021 21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 1926-1931, 2021, doi: 10.23919/ICCAS52745.2021.9650059.
- [6]. G. A. Haidar, H. Moussawi, G. A. Saad and A. Chalhoub, “*Robotic Feeder for Disabled People (RFDP)*”, in 2019 Fifth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME), 1-4, 2019, doi: 10.1109/ICABME47164.2019.8940159.
- [7]. P. Turgeon, T. Laliberté, F. Routhier and A. Campeau-Lecours, “*Preliminary Design of an Active Stabilization Assistive Eating Device for People Living with Movement Disorders*”, in 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 217-223, 2019, doi: 10.1109/ICORR.2019.8779388.
- [8]. The improved iEAT Feeding Robot. <https://www.assistive-innovations.com/en/news/the-improved-ieat-feeding-robot>. Accessed: 1/2023 

- [9]. Smita Patel, Parkinson's Disease: *Overview and More* (2023) <https://www.verywellhealth.com/parkinsons-overview-4581910>. Accessed 3/2023.
- [10]. Nutrition for Parkinson's patients. <https://www.vinmec.com/en/news/health-news/nutrition/nutrition-for-parkinsons-patients/>. Accessed: 1/2023
- [11]. Seidl, S. E., Santiago, J. A., Bilyk, H., & Potashkin, J. A. "The emerging role of nutrition in Parkinson's disease. *Frontiers in aging neuroscience*," 6(36), 2014, doi:10.3389/fnagi.2014.00036.
- [12]. Hassenzhal, M., *Experience Design: Technology for all the right reasons*, Springer, 2014.
- [13]. P. Wright and J. Cathy, *Experience-Centered Design*. Designers, Users and Communities in Dialogue, IEEE, 2014.
- [14]. M. Kuniavsky, *Observing the user experience: A practitioner's guide to user research (interactive technologies)*, CA: Morgan Kaufmann, 2003
- [15]. Minh Trieu, N., & Truong Thinh, N. (2023). *The Anthropometric Measurement of Nasal Landmark Locations by Digital 2D Photogrammetry Using the Convolutional Neural Network*. *Diagnostics*, 13(5), 891.
- [16]. J.L.Fozard, "Person-environment relationships in adulthood: implications for human factors engineering," *Human Factors*, 23, 7–27, 1981, doi:10.1177/001872088102300103.
- [17]. Stoudt, H. W., "The Anthropometry of the Elderly," *Human Factors*, 23(1), 29–37, 1981, doi:10.1177/001872088102300104.
- [18]. Türkyilmaz, Ali, Simge Kantar, M. Enis Bulak, and Ozgur Uysal, "User experience design: aesthetics or functionality," in *Managing Intellectual Capital and Innovation for Sustainable and Inclusive Society: Managing Intellectual Capital and Innovation*, 559-565, 2015.