

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 chuyên giao công nghệ, chuyên đề khoa học và công nghệ có hàm lượng khoa học và giá trị thực tiễn cao của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí. Ngoài ra, Tạp chí cũng còn là nơi công bố những phát minh, sáng chế, kết quả, thành tích, điển hình tiên tiến trong hoạt động nghiên cứu khoa học, quản lý, đào tạo và sản xuất, kinh doanh lĩnh vực Cơ khí ở trong và ngoài nước tới đông đảo bạn đọc.

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

Tạp chí Cơ khí Việt Nam nhận công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu 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 chuyên 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 phân biện. Việc chọn các phân 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 phân 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), P. Phú Diễn, TP. Hà Nội

Điện thoại: (024) 37 920 650 - 0985 696 263 / 0982 254 465

Email: Teckvn.bbkh@gmail.com * **Website:** cokhivietnam.vn

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

TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 336, tháng 12 năm 2025
cokhivietnam.vn

TỔNG BIÊN TẬP
HÀ DUY KHÁNH

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
ĐẶNG VĂN LONG

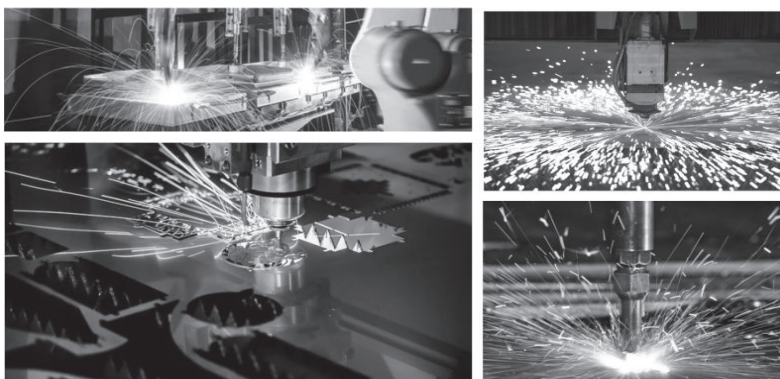
HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

PGS,TS. NGUYỄN NGỌC CHUÔNG (Chủ tịch)
GS,TS. NGUYỄN LẠC HỒNG (P. Chủ tịch)
GS,TSKH. BÀNH TIẾN LONG
TSKH. PHAN XUÂN DŨNG
PGS,TS. HÀ MINH HÙNG
PGS,TS. TRƯƠNG VIỆT ANH
GS,TS. ĐINH VĂN CHIẾN
GS,TSKH. PHẠM VĂN LANG
GS,TS. CHU VĂN ĐẠT
PGS,TS. TRẦN VĂN HÙNG
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. TRƯƠNG HOÀNH SƠN
TS. HỒ TRẦN ANH NGỌC
TS. NGÔ TRỌNG BÌNH
PhD. MIKE PHÙNG

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
- Khung khổ 20,5cm x 28,5cm
- 48 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 60.000 đồng/quyển Tập chí



- ❖ Ứng dụng mạng neuron trong dự đoán phân bố nhiệt độ lòng khuôn
- ❖ Nghiên cứu, thiết kế và phân tích máy cắt và vát mép ống di động tự động
- ❖ Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo cơ cấu quay cơ khí cho tháp kinh luân tại đập tràn sông Tô Lịch

Số 336, tháng 12 năm 2025

Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 20 tháng 12 năm 2025

TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Phú Diễn, TP. Hà Nội

Điện thoại: (024) 3792 0650 **Hotline:** 0985 696 263 - 0982 254 465

Email: teckvietnam@gmail.com

Website: cokhivietnam.vn

* * *

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

Văn phòng đại diện:

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 Hạnh Thông,
TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 921 407
Email: teck.tp@cm@gmail.com

2. Tại tỉnh Quảng Ninh:

- TS. Hoàng Minh Thuận
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,
Số 54, khu Liên Phường, phường Yên Tử,
tỉnh Quảng Ninh
Điện thoại: 0904 116 189
Email: minhthuan.teckvn@gmail.com

3. Tại Thái Nguyên:

- GS,TS. Vũ Ngọc Pi
Số 234 tổ Phú Xá 5, phường Tích Lương,
tỉnh Thái Nguyên
Điện thoại: 0974 905 578
Email: vungocpi@tmu.edu.vn

- GS,TS. Nguyễn Hữu Lộc
Phòng 205, Nhà B11, Trường Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh,
số 268 Lý Thường Kiệt, phường Diễn Hồng,
TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 603 264
Email: nhloc@hcmu.edu.vn

Phòng viên thường trú:

1. Tại Hải Phòng:

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

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

TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 336, tháng 12 năm 2025

cokhivietnam.vn

NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (5 – 42)

1. Nguyễn Phạm Nguyên Quân, Trần Minh Thế Uyên, Phạm Sơn Minh, Bùi Chấn Thanh: Ứng dụng mạng neuron trong dự đoán phân bố nhiệt độ lòng khuôn.....	5
2. Phạm Quang Thắng, Bành Quốc Nguyên: Nghiên cứu, thiết kế và phân tích máy cắt và vát mép ống di động tự động.....	12
3. Phan Thị Đăng Thư, Trần Xuân Hiệp, Nguyễn Hoài Nam, Dương Thị Vân Anh, Đồng Văn Keo: Phương pháp tối ưu hóa thông số ép phun nhựa nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm nhựa PC trong suốt.....	17
4. Vũ Quang Huy, Nguyễn Trường Vũ, Lê Anh Huy, Chu Hoài Thanh: Nghiên cứu độ bền của vật liệu composite.....	24
5. Trần Chí Trung, Nguyễn Hoàng Giang, Nguyễn Văn Năm, Lê Xuân Quý, Nguyễn Chí Cường: Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo cơ cấu quay cơ khí cho tháp kinh luân tại đập tràn sông Tô Lịch.....	31
6. Phạm Trung Sơn: Tiết kiệm điện năng trong sản xuất công nghiệp khi ứng dụng công nghệ điều khiển thay đổi tốc độ động cơ điện.....	37

DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (43 – 44)

LILAMA 10 – Hơn 40 năm khẳng định vai trò chủ lực trên các công trình năng lượng quốc gia.....	43
--	----

DANH SÁCH
NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẢN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO KHOA HỌC
ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 336, THÁNG 12 NĂM 2025

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	PGS,TS. Hà Minh Hùng	Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến (IDAT)
2	TS. Phan Thị Đăng Thư	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh
3	TS. Đặng Hùng Sơn	
4	TS. Nguyễn Hải Đăng	Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
5	TS. Hồ Việt Bun	Trường Đại học Mỏ – Địa chất

ỨNG DỤNG MẠNG NEURON TRONG DỰ ĐOÁN PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ LÒNG KHUÔN

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN PREDICTING TEMPERATURE DISTRIBUTION IN MOLD CAVITIES

Nguyễn Phạm Nguyên Quân, Trần Minh Thế Uyên, Phạm Sơn Minh, Bùi Chấn Thanh*

Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: 2390412@student.hcmute.edu.vn;

uyentmt@hcmute.edu.vn;

minhps@hcmute.edu.vn;

*thanhbc.ncs@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng mạng neuron nhân tạo (ANN) để dự đoán phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn phun ép nhựa ở giai đoạn gia nhiệt trước khi ép. Bộ dữ liệu thực nghiệm gồm 25 mẫu được xây dựng dựa trên ma trận trực giao Taguchi L25 với bốn yếu tố đầu vào: nhiệt độ nước gia nhiệt, lưu lượng nước, bề dày hốc nước và bề dày tấm chặn nước. Mô hình ANN được xây dựng trong MATLAB dưới dạng perceptron đa lớp, huấn luyện bằng dữ liệu đã được tiền xử lý. Kết quả cho thấy mô hình ANN có khả năng dự đoán chính xác sự biến thiên nhiệt độ của khuôn, với sai số thấp nhất là 2,06% và không vượt quá 4,75% trong các trường hợp kiểm thử. Điều này khẳng định ANN là công cụ hiệu quả trong mô phỏng truyền nhiệt phi tuyến, giúp giảm thiểu số lượng thí nghiệm, tối ưu hóa thiết kế và nâng cao hiệu quả quy trình sản xuất.

Từ khóa: Khuôn phun ép nhựa; Phân bố nhiệt độ; Gia nhiệt khuôn; Mạng neuron; Dự đoán quá trình.

ABSTRACT

This study investigates the application of artificial neural networks (ANN) in predicting temperature distribution in injection mold cavities during the pre-heating stage. A database of 25 experimental samples was established using a Taguchi L25 orthogonal design, considering four input factors: heating water temperature, water flow rate, cooling channel thickness, and blocking plate thickness. The ANN model was developed in MATLAB with a multilayer perceptron architecture, trained on pre-processed experimental data. The results demonstrate that the ANN accurately predicts mold temperature evolution, with prediction errors as low as 2.06% and not exceeding 4.75% across test cases. The findings confirm that ANN-based models can capture nonlinear heat transfer behavior in mold heating and provide a reliable tool for process optimization, reducing experimental effort and improving mold design efficiency.

Keywords: Injection molding; Temperature distribution; Mold heating; Neuron net work; Process prediction.



1. TỔNG QUAN

Trong những thập kỷ gần đây, ngành công nghiệp ép phun đã chứng tỏ vai trò quan trọng và không thể thiếu trong sản xuất các sản phẩm nhựa. Quy trình ép phun không chỉ đảm bảo chất lượng cao cho các sản phẩm từ nhựa mà còn đáp ứng nhu cầu ngày càng đa dạng và khắt khe của thị trường [1]. Tuy nhiên, việc kiểm soát và dự đoán các thông số kỹ thuật trong quá trình ép phun, đặc biệt là nhiệt độ trong lòng khuôn, vẫn luôn là một thách thức lớn. Quy trình ép nhựa bao gồm nhiều bước nấu chảy nhựa, phun nhựa vào lòng khuôn để định hình, làm mát, và lấy sản phẩm ra khỏi khuôn (Hình 1). Mỗi bước trong quy trình đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định chất lượng cuối cùng của sản phẩm.

Trong quá trình này, nhiệt độ trong lòng khuôn ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm cuối cùng, và việc kiểm soát nhiệt độ không đều có thể dẫn đến các vấn đề như biến dạng, không đồng nhất về màu sắc và cấu trúc bề mặt [2, 3]. Để giải quyết vấn đề này, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện với hy vọng tối ưu hóa quy trình sản xuất và cải thiện chất lượng sản phẩm. Trong bối cảnh đó, việc áp dụng các công nghệ tiên tiến như mạng neuron để dự đoán phân bố nhiệt độ lòng khuôn ép phun được kỳ vọng sẽ mang lại những kết quả đột phá và đáng kể.

Khuôn mẫu là một công cụ có vai trò quan trọng và đa chức năng. Trước tiên, khuôn mẫu định hình hình dạng của sản phẩm cần tạo ra. Ngoài ra, nó có thể cung cấp các chi tiết bề mặt như kết cấu, chữ cái, logo và các chi tiết khác được đúc sẵn vào sản phẩm. Khuôn mẫu cũng hoạt động như một bộ trao đổi nhiệt, giúp rút nhiệt từ phần sản phẩm đã được tạo hình để giảm thời gian làm mát. Hơn nữa, khuôn mẫu có thể định vị các vị trí để cắt tia sản phẩm hoặc

thậm chí thực hiện quá trình cắt tia ngay trong quá trình tạo hình, gọi là “in-mold trimming”. Như vậy, khuôn mẫu không chỉ định hình sản phẩm mà còn đảm nhận nhiều chức năng khác nhau trong quy trình sản xuất sản phẩm [4-6].

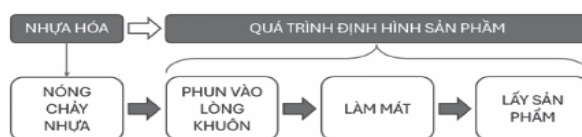
Khuôn mẫu có hai phần chính: phần âm (cavity) và phần dương (core). Trong quá trình sản xuất, vật liệu được bơm hoặc đổ vào khuôn mẫu và sau đó được làm nguội hoặc rắn lại để tạo ra sản phẩm có hình dạng như mong muốn. Khuôn mẫu được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp như sản xuất nhựa, đúc kim loại,...

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Thiết kế kết cấu khuôn

Thiết kế khuôn là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến phân bố nhiệt độ lòng khuôn ép phun. Cụ thể, vị trí và số lượng kênh dẫn, đặc biệt là số lượng kênh dẫn của dẫn nóng sẽ quyết định sự phân bố nhiệt độ. Các kênh dẫn nóng được thiết kế ở các vị trí khác nhau sẽ dẫn đến sự phân bố nhiệt độ không đều trong khuôn. Ngoài ra, hình dạng bên ngoài của khuôn cũng ảnh hưởng đến dòng chảy và sự đối lưu nhiệt bên trong. Khuôn có hình dạng phức tạp hơn sẽ làm tăng sự phức tạp của dòng chảy và sự đối lưu nhiệt, dẫn đến sự phân bố nhiệt độ không đều trong khuôn [7].

Việc thiết kế các thông số về vị trí, số lượng cũng như kích thước kênh dẫn (đặc biệt là kênh dẫn nóng) cùng với hình dạng khuôn cần được cân nhắc kỹ lưỡng để đạt được sự phân bố nhiệt đồng đều trong lòng khuôn ép phun.



Hình 1. Một số hệ thống giải nhiệt [8]

2.2. Vật liệu và kích thước khuôn

Các vật liệu làm khuôn và vật liệu ép khác nhau sẽ có hệ số dẫn nhiệt khác nhau, điều này sẽ ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt và sự phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn. Bên cạnh sự khác nhau về vật liệu, thì kích thước khuôn khác nhau cũng sẽ ảnh hưởng phân bố nhiệt đối với các kích thước và hình dạng khuôn khác nhau cần thiết kế hệ thống gia và giải nhiệt thích hợp từng trường hợp để đảm bảo sự phân bố đồng đều của nhiệt trong lòng khuôn [9-12].

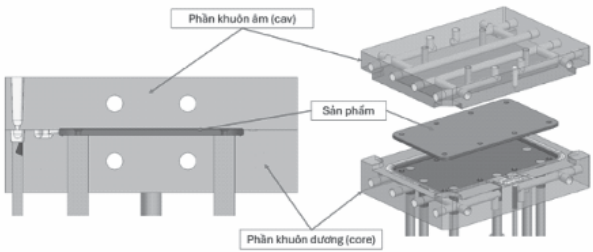
2.3. Nhiệt độ môi trường

Nhiệt độ và độ ẩm của môi trường sẽ ảnh hưởng đến sự truyền nhiệt, điều này góp phần gây nên sự không đồng đều của nhiệt độ trong lòng khuôn:

- Nhiệt độ môi trường: Nhiệt độ môi trường cao sẽ làm sự chênh lệch nhiệt độ so với nhiệt độ khuôn, ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt.

- Độ ẩm môi trường: Độ ẩm cao có thể ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt do có sự hình thành của hơi nước.

Thông qua các mục đã trình bày, ta thấy được phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau, nên việc dự đoán nhanh và chính xác của nhiệt độ lòng khuôn vẫn đang là một thách thức.

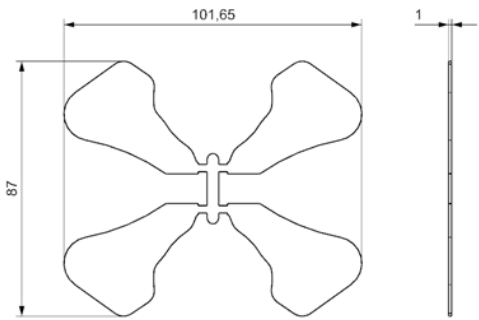


Hình 2. Kết cấu chung của khuôn phun ép nhựa

3. THỰC NGHIỆM XÂY DỰNG CƠ SỞ DỮ LIỆU HUẤN LUYỆN MẠNG NEURON NHÂN TẠO

3.1. Thiết kế thí nghiệm

Như những yếu tố ở phần giới hạn đề tài, quá trình thực nghiệm được giới hạn trong giai đoạn gia nhiệt trước khi ép phun nhựa và khuôn sử dụng trong thực nghiệm là khuôn sản phẩm 2D có thành mỏng và được trang bị lớp làm mát (cooling layer). Với mô hình sản phẩm và khuôn có kích thước tổng quan như hình 3. Với bốn yếu tố và mỗi yếu tố có năm mức (Bảng 1).



Hình 3. Sản phẩm thiết kế và Tấm lòng khuôn thiết kế

Bảng 1. Ma trận trực giao L25 theo Taguchi

STT	NHIỆT ĐỘ NƯỚC (°C)	BỀ DÀY TẤM CHẶN NƯỚC (mm)	BỀ DÀY HÓC NƯỚC (mm)	LƯU LƯỢNG (ml/giây)
1	50	1	2	27,7
2	50	1,5	3,5	51,4



3	50	2	5	75,1
4	50	2,5	6,5	98,8
5	50	3	8	122,5
6	60	1	3,5	75,1
7	60	1,5	5	98,8
8	60	2	6,5	122,5
9	60	2,5	8	27,7
10	60	3	2	51,4
11	70	1	5	122,5
12	70	1,5	6,5	27,7
13	70	2	8	51,4
14	70	2,5	2	75,1
15	70	3	3,5	98,8
16	80	1	6,5	51,4
17	80	1,5	8	75,1
18	80	2	2	98,8
19	80	2,5	3,5	122,5
20	80	3	5	27,7
21	90	1	8	98,8
22	90	1,5	2	122,5
23	90	2	3,5	27,7
24	90	2,5	5	51,4
25	90	3	6,5	75,1

3.2. Tập dữ liệu sau khi thực hiện thực nghiệm

Sau khi tiến hành các bước thực nghiệm theo thiết kế đã trình bày ở các mục trước, nhóm nghiên cứu đã thu thập được một tập dữ liệu bao gồm tổng cộng 25 mẫu.

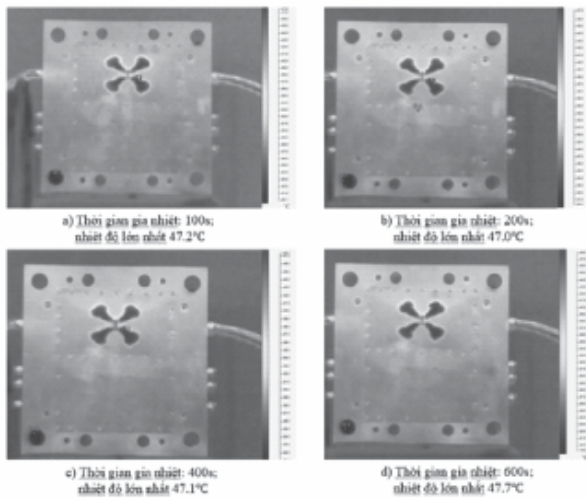
Trước khi đưa vào mô hình học máy, dữ liệu đã được tiền xử lý nhằm loại bỏ các giá trị ngoại lai, xử lý thiếu dữ liệu và chuẩn hóa về cùng một thang đo. Các hình ảnh nhiệt cũng được cắt và chuyển đổi về kích thước đồng nhất, đồng thời gán nhãn tương ứng với điều kiện thực nghiệm.

Một số mẫu dữ liệu tiêu biểu được trình

bày trong Hình 3.10 dưới đây, minh họa rõ ràng mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và kết quả đầu ra. Qua quá trình đánh giá sơ bộ, tập dữ liệu thu được có độ đầy đủ và tính nhất quán cao, với tổng số lượng mẫu là 25 mẫu đáp ứng tốt yêu cầu cho việc huấn luyện và kiểm thử mô hình mạng neuron.

Sau khi hoàn tất quá trình thu thập và tiền xử lý dữ liệu, các biểu đồ được xây dựng nhằm phân tích tốc độ gia nhiệt của khuôn, dưới ảnh hưởng của các tổ hợp thông số: Tâm chấn (TC), Hốc nước (HN) và Lưu lượng nước (LL). Mỗi biểu đồ tương ứng với một mức nhiệt độ mục tiêu (từ 50°C đến 90°C), với 5 thí nghiệm khác nhau, tổng cộng 25 thí nghiệm.

Các biểu đồ này không chỉ giúp đánh giá trực quan hiệu quả truyền nhiệt của từng yếu tố, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc xác định tính đa dạng và độ bao phủ của tập dữ liệu, phục vụ cho quá trình huấn luyện mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN).



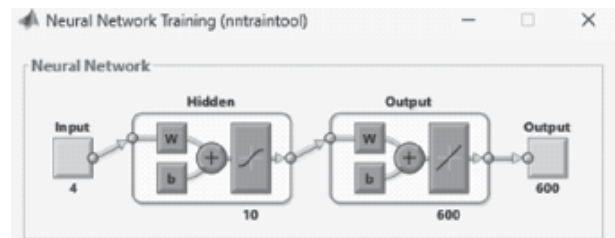
Hình 4. Phân bố nhiệt độ quá trình gia nhiệt khuôn tại các thời điểm khác nhau

3.3. Cấu trúc của mô hình mạng neuron nhân tạo ANN

Mô hình được xây dựng dưới dạng Multilayer Perceptron (MLP) với kiến trúc mạng truyền thẳng nhiều lớp, phù hợp với bài toán hồi quy dự đoán thời gian gia nhiệt từ các thông số kỹ thuật đầu vào. Việc thiết lập mô hình được thực hiện thông qua công cụ Neural Network Fitting Tool (nftool) trong phần mềm MATLAB.

Để đảm bảo mô hình có khả năng học tốt mối quan hệ giữa các thông số đầu vào, cấu trúc mạng ANN được thiết kế theo nguyên tắc đơn giản nhưng hiệu quả, phù hợp với đặc điểm của bài toán và công cụ huấn luyện sử dụng. Cấu trúc tổng quát của mô hình được trình bày như sau:

Lớp đầu vào: Gồm 4 nút đầu vào là nhiệt độ nước gia nhiệt ($^{\circ}\text{C}$) (NĐ), lưu lượng nước (ml/ giây) (LL), bề dày hốc nước (mm) (HN), bề dày tấm chặn nước (mm) (CN). Các yếu tố này được xử lý và đưa vào ma trận “input” kích thước 4×1 .



Hình 5. Sơ đồ tổng quát của ANN

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

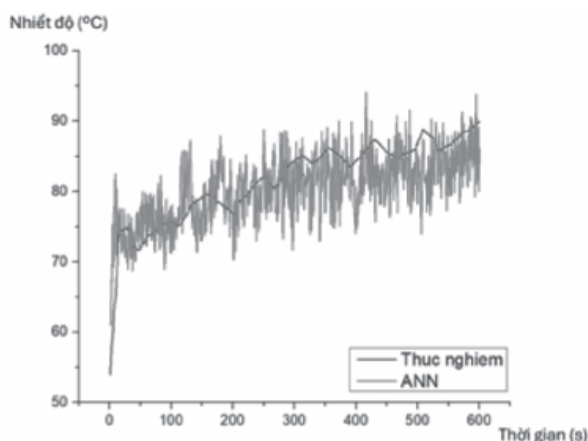
Sau khi hoàn tất quá trình thiết kế và thực hiện thực nghiệm, chương trước đã trình bày chi tiết quá trình thu thập và phân tích dữ liệu liên quan đến tốc độ gia nhiệt trong các điều kiện kỹ thuật khác nhau. Tập dữ liệu thu được phản ánh rõ ràng mối quan hệ giữa các thông số đầu vào như độ dày tấm chặn, kích thước hốc nước và lưu lượng dòng chảy với hiệu suất truyền nhiệt. Tuy nhiên, như đã phân tích, mối quan hệ này không hoàn toàn tuyến tính và có thể chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố phức tạp.

Nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích, so sánh và đánh giá hiệu quả của mô hình dựa trên các kết quả của 5 thực nghiệm thu được với thông số đầu vào ngẫu nhiên không nằm trong tập dữ liệu dùng để huấn luyện. Mục tiêu là xác định mức độ chính xác, khả năng tổng quát và độ tin cậy của mô hình trong việc dự đoán nhiệt độ cao nhất của lòng khuôn theo thời gian thực từ các thông số kỹ thuật đầu vào.

Hình 6 thể hiện sự so sánh giữa kết quả dự đoán từ mô hình mạng neuron nhân tạo

(ANN) và kết quả thực nghiệm thu được trong điều kiện cụ thể:

- Nhiệt độ gia nhiệt: 90°C;
- Độ dày tấm chắn: 1mm;
- Kích thước hốc nước: 8mm;
- Lưu lượng dòng chảy: 122,5 ml/s.



Hình 6. Biểu đồ gia nhiệt với nhiệt độ: 90°C – Tấm chắn: 1mm – Hốc nước: 8mm – Lưu lượng: 122,5 ml/s

Biểu đồ thể hiện nhiệt độ theo thời gian thực, với:

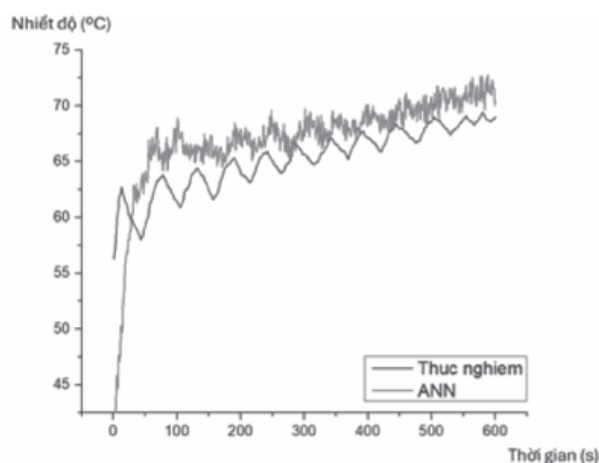
- Đường màu đen biểu diễn kết quả thực nghiệm;
- Đường màu đỏ biểu diễn kết quả dự đoán từ mô hình ANN.

Quan sát biểu đồ cho thấy hai đường có xu hướng biến thiên tương đồng trong quá trình gia nhiệt. Mô hình ANN đã mô phỏng khá sát với thực tế, phản ánh đúng xu hướng tăng nhiệt độ theo thời gian. Tuy nhiên, vẫn còn một số sai lệch xuất hiện, với độ chênh lệch giữa kết quả thực tế và lý thuyết là 4,75%.

Biểu đồ hình 7 thể hiện quá trình gia nhiệt trong điều kiện: nhiệt độ mục tiêu 70°C, độ dày tấm chắn 2mm, kích thước hốc nước

2mm, và lưu lượng dòng chảy 75,1 ml/s. Đây là một cấu hình có độ cân nhiệt cao hơn so với các thí nghiệm trước, do tấm chắn dày hơn và hốc nước nhỏ hơn.

Quan sát biểu đồ cho thấy xu hướng tương đồng trong suốt quá trình gia nhiệt. Mức độ khớp giữa hai đường là khá cao, đặc biệt ở giai đoạn giữa và cuối. Phần trăm chênh lệch giữa kết quả thực tế và lý thuyết là 2,06%, cho thấy mô hình dự đoán rất chính xác trong điều kiện này.



Hình 7. Biểu đồ gia nhiệt với nhiệt độ: 70°C – Tấm chắn: 1,5mm – Hốc nước: 5mm – Lưu lượng: 75,1 ml/s

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công một mô hình mạng neuron nhân tạo (ANN) để dự đoán phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn phun ép nhựa. Thông qua 25 thí nghiệm được thiết kế theo ma trận trực giao Taguchi L25, dữ liệu đầu vào và kết quả đo nhiệt độ được sử dụng để huấn luyện mô hình. Kết quả cho thấy ANN có khả năng mô phỏng chính xác sự thay đổi nhiệt độ trong các điều kiện kỹ thuật khác nhau, với sai số dao động từ 2,06% đến 4,75%. Điều này chứng tỏ ANN có tiềm năng lớn trong việc thay thế hoặc hỗ trợ cho các phương pháp mô phỏng

truyền thống, giúp rút ngắn thời gian, giảm chi phí và nâng cao hiệu quả thiết kế khuôn.

Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng phạm vi khảo sát với số lượng mẫu lớn hơn, tích hợp thêm các yếu tố ảnh hưởng khác như vật liệu khuôn, điều kiện môi trường và giai đoạn điền đầy nhựa. Ngoài ra, việc kết hợp ANN với các thuật toán tối ưu hóa cũng là hướng nghiên cứu đầy hứa hẹn nhằm nâng cao hơn nữa độ chính xác và khả năng ứng dụng trong thực tiễn sản xuất.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Phạm Sơn Minh, Trần Minh Thế Uyên, Bùi Chấn Thanh;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Nguyễn Phạm Nguyên Quân, Bùi Chấn Thanh.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện và hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **08/8/2025**

Ngày phản biện: **21/8/2025**

Tài liệu tham khảo:

[1]. J. Blazek, “*Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications*”. Butterworth-Heinemann, 2015.
[2]. C. Liu and L. T. Manzione, “*Process studies in precision injection molding. I: Process parameters and precision*”. Polym. Eng. Sci., 1996, p. 1-9.

[3]. Junhan Lee, Dongcheol Yang, Kyunghwan Yoon, Jongsun Kim, “*Effects of Input Parameter Range on the Accuracy of Artificial*”. Polymers, 2022.
[4]. Rashi A. Yadav, S.V. Joshi, N.K. Kamble, “*Recent Methods for Optimization of Plastic Injection Molding Process - A Literature Review*”, tập 3. International Journal of Scientific and Engineering Research (IJSER), 2012.
[5]. Peter Klein, Michael Kennedy, “*Mold/Tool Design*”. Cham: Springer, 2025.
[6]. P. S. Minh và T. M. T. Uyên, “*Giáo trình thiết kế và chế tạo khuôn phun ép nhựa*”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
[7]. Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera and David P. DeWitt, “*Fundamentals of heat and mass transfer*”. Wiley, 2011.
[8]. Frank P. Incropera; Adrienne S. Lavine; Theodore L. Bergman; David P. DeWitt, “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”. Wiley, 2011.
[9]. E. Alfinito và L. Reggiani, “*Stefan-Boltzmann Law Revisited*”, arXiv, 2021.
[10]. G. Montambaux, “*Generalized Stefan-Boltzmann Law*”, arXiv, 2016.
[11]. L. Reggiani; E. Alfinito, “*The Puzzling of Stefan-Boltzmann Law: Classical or Quantum Physics*”. Vol. 124, EPL, 2023.
[12]. O. Valenzuela, A. Catala, D. Anguita, và I. Rojas, “*New Advances in Artificial Neural Networks and Machine Learning Techniques*”. Neural Processing Letters, 2023.

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

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

Phạm Quang Thắng¹, Bành Quốc Nguyên^{2,3,*}

¹Khoa Cơ khí Chế tạo, Trường Cao đẳng Kỹ nghệ Dung Quất (xã Vạn Tường, tỉnh Quảng Ngãi)

²Bộ môn Chế tạo máy, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa,

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: bqnguyen@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

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

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

ABSTRACT

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

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

1. TỔNG QUAN

1.1. Bối cảnh và động lực

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

1.2. Hiện trạng vấn đề

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

1.3. Giải pháp đề xuất và mục tiêu

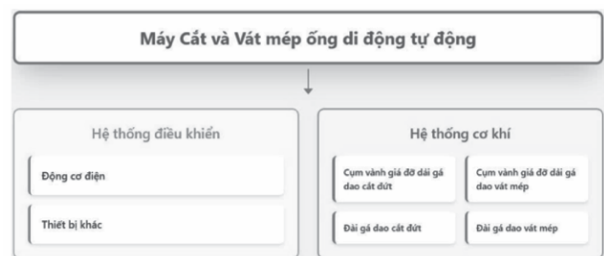
Để đáp ứng nhu cầu về giải pháp gia công mép ống hiệu quả, chính xác và an toàn, nghiên cứu này tập trung phát triển máy cắt và vát mép ống di động tự động. Máy được thiết kế thực hiện đồng thời hai nguyên công cắt và vát trong một lần gá đặt, nâng cao năng suất và độ chính xác. Mục tiêu chính gồm: (1) thiết kế máy nhỏ gọn, di động, dễ vận hành tại công

trường và có thể gá trên ống đang vận hành (in-situ) [4]; (2) đảm bảo chất lượng mép vát đạt chuẩn quốc tế [5]; (3) xây dựng quy trình phân tích, tính toán kỹ thuật nhằm xác thực độ bền và hiệu suất làm việc ổn định.

2. PHÂN TÍCH NGUYÊN LÝ VÀ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Mô tả kết cấu và lựa chọn vật liệu

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



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

2.2. Phân tích lực và công suất gia công

Để chọn động cơ và thiết kế hệ truyền

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

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

1) Chiều dày phoi chưa biến dạng:

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

2) Lực cắt riêng:

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

3) Lực cắt chính:

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot f \approx 1599 \text{ N}$$

4) Công suất cắt yêu cầu:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \approx 0.267 \text{ kW}$$

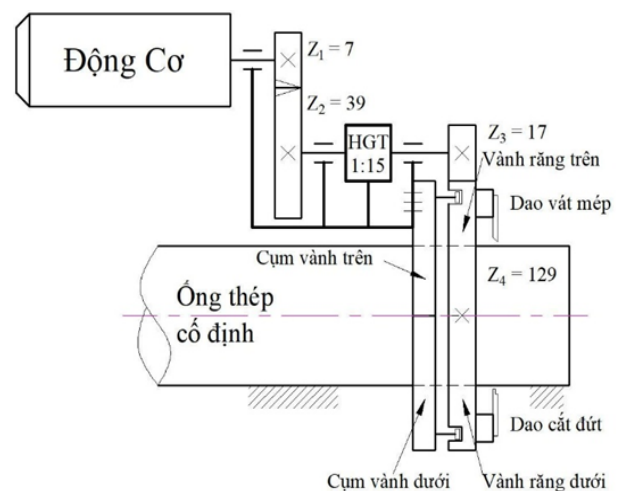
5) Công suất động cơ yêu cầu:

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

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

3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG

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



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của máy

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

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

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

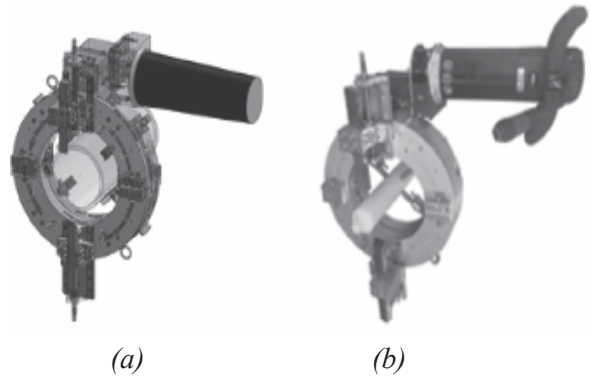
4.1. Quy trình sản xuất kỹ thuật số tích hợp

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

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

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

CNC đã được triển khai một cách hiệu quả, chuyển hóa thành công thiết kế từ không gian ảo sang sản phẩm vật lý với độ trung thực cao.



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

5. KẾT LUẬN

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

Lời cảm ơn:

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



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

Ngày nhận bài: **10/11/2025**

Ngày phản biện: **18/11/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. P.R. Dheeraj, “*Failure Analysis of Super-High-Pressure Steam Piping*”, 2019.
- [2]. B. Yang, M. Xiu, W. Jiang, W. Peng, “*Numerical Simulation Study on Residual Stress in Repair Welding of a CrMo Steel High-Temperature Pressure Pipeline Weldment Under Extended Service*”. Chinese Journal of Mechanical Engineering 38 (2025) 73.
- [3]. Đ. Nguyễn, M. Phạm, “*Đề tài thiết bị đào tạo dạy học: Thiết bị cắt, vát mép ống bán tự động*”. Quảng Ngãi, 2018.
- [4]. R.C. Coakley, “*Coupling Members And Pipe Machining Apparatuses Including Coupling Members*”. US 10,596,667 B2, 2020.
- [5]. The American Society of Mechanical Engineers, “*Standards B16.25 – Buttwelding Ends*”, ASME, 2023.
- [6]. M.C. Shaw, “*Metal cutting principles*”. Oxford University Press, 2005.
- [7]. R.G. Budynas, J.Keith. Nisbett, J.Edward. Shigley, “*Shigley’s mechanical engineering design*”. McGraw-Hill Education, 2015.

PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ ÉP PHUN NHỰA NHẪM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM NHỰA PC TRONG SUỐT

OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING PARAMETERS TO ENHANCE THE QUALITY OF TRANSPARENT POLYCARBONATE (PC) PRODUCTS

Phan Thị Đăng Thu¹, Trần Xuân Hiệp², Nguyễn Hoài Nam¹, Dương Thị Vân Anh¹, Đồng Văn Keo^{3,4,5,*}

¹Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

²Khoa Cơ khí, Đại học Quốc gia Trung ương (NCU), Đài Loan

³Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁴Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁵Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

*Email tác giả liên hệ: dvkeo@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này cung cấp phương pháp tối ưu chế độ ép phun cho sản phẩm nhựa PC SABIC, loại LEXAN™ I41R với chỉ số nóng chảy 10.5g/10 phút bằng cách tiến hành thí nghiệm trên máy ép phun. Chi tiết được dùng trong thí nghiệm là vỏ ngoài trong suốt của một sản phẩm điện tử. Nghiên cứu xác định ảnh hưởng của các thông số ép lên khuyết tật ngoại quan là đường hàn và độ lệch của một kích thước quan trọng. Các thí nghiệm đã được thực hiện bằng cách sử dụng mảng trực giao L16 và được chuẩn hóa bằng phân tích quan hệ xám (GRA). Các biến đầu vào được xem xét bằng phương pháp ANOVA. Để xác định các thông số đúc tối ưu, phương pháp Taguchi đã được sử dụng kết hợp với GRA. Trong các thí nghiệm này, chúng tôi đã thu được các thông số tối ưu, giúp giảm chiều rộng đường hàn 69.28% và độ lệch kích thước giảm 65.76%.

Từ khóa: Sản phẩm nhựa trong suốt; Đường hàn; Độ lệch kích thước; Kỹ thuật Taguchi; Phân tích tương quan xám.

ABSTRACT

This study provides an optimization method for the injection molding parameters of a SABIC PC product, grade LEXAN™ I41R, with a melt flow index of 10.5 g/10 min, by conducting experiments on an injection molding machine. The part used in the experiment is the transparent outer housing of an electronic product. The research investigates the influence of molding parameters on visual defects, namely weld lines, and the deviation of a critical dimension. The experiments were conducted using an L16 orthogonal array and were analyzed using Grey Relational Analysis (GRA). The input variables were examined using the ANOVA method. To determine the optimal molding parameters, the Taguchi method was used in combination with GRA. In these experiments, we obtained the optimal parameters, achieving a 69.28% reduction in weld line width and a 65.76% reduction in dimensional deviation.

Keywords: Transparent plastic product; Weld lines; Dimensional deviation; Grey relational analysis.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, công nghệ ép phun nhựa đang rất phổ biến với các tiêu chí cho chất lượng sản phẩm ngày càng tăng cao. Các yêu cầu đối với một sản phẩm chất lượng là kích thước, cơ tính cũng như ngoại quan là rất khắt khe. Đối với các sản phẩm trong suốt thì ngoại quan càng quan trọng hơn, đây cũng là một yếu tố để đánh giá một sản phẩm chất lượng cao. Một trong những lỗi thường gặp trên sản phẩm nhựa trong suốt nói riêng và các sản phẩm nhựa nói chung là lỗi đường hàn (weld lines). Khi nhựa chảy vòng qua một vật cản trong khuôn, điểm mà vật liệu gặp lại nhau được gọi là đường hàn [1]. Nhựa sẽ luôn tạo thành đường hàn khi dòng chảy bị chia tách trong khuôn.

Để giảm thiểu đường hàn trên sản phẩm cần tác động đến nhiều yếu tố, có thể quy về 4 tác nhân chính (nguyên lý 4M): Chế độ ép phun (Molding Process), Khuôn ép nhựa (Mold), Máy ép nhựa (Machine) và Vật liệu nhựa (Material) [2]. Các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào phần chế độ ép phun để giải quyết vấn đề giảm thiểu khuyết tật đường hàn trên sản phẩm. Nhiệt độ nóng chảy, nhiệt độ khuôn, tốc độ phun, áp suất giữ và thời gian làm nguội là những thông số có ảnh hưởng lớn nhất [3], [4], [5], [6]. Nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ khuôn cao hơn, cũng như tốc độ phun tăng làm mờ đường hàn và cải thiện độ bền. Hasan Oktem và cộng sự [7] đã ứng dụng kết hợp phương pháp giải thuật di truyền (genetic algorithm) và tối ưu hóa bầy đàn (particle swarm optimization) nhằm giảm thiểu khuyết tật đường hàn trong ép phun nhựa. Các thuật toán này đã được sử dụng để xác định các điều kiện ép phun tối ưu, dẫn đến giảm 18,51% chiều rộng đường hàn thông qua điều chỉnh cẩn thận nhiệt độ nóng chảy, áp suất phun và thời gian làm nguội. Satoshi Kitayama và cộng sự [8] đề xuất phương pháp tối ưu hóa gần đúng tuần

tự (Sequential Approximate Optimization), sử dụng mạng hàm cơ sở bán kính (Radial Basis Function), được sử dụng để xác định cấu hình áp suất và vận tốc phun tối ưu nhằm giảm thiểu hiệu quả các khuyết tật đường hàn và thời gian chu kỳ ép.

Bên cạnh khuyết tật về ngoại quan thì kích thước sản phẩm nhựa cũng rất quan trọng, là điều kiện đánh giá sản phẩm có đạt được chất lượng hay không. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra việc điều chỉnh thông số ép phun có thể ảnh hưởng tới kích thước sản phẩm [9], [10], [11]. Chil-Chyuan KUO và cộng sự [12] nghiên cứu phương pháp thiết kế Taguchi có thể dùng để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số ép phun đến độ chính xác kích thước của thấu kính Fresnel trong quá trình ép phun nhựa. Kết quả cho thấy yếu tố chi phối ảnh hưởng đến độ sâu rãnh của thấu kính Fresnel là áp suất giữ. M. R. Mani và cộng sự [13] đã nghiên cứu sử dụng phương pháp thiết kế thí nghiệm để phân tích ảnh hưởng của vận tốc phun, áp suất phun và nhiệt độ nóng chảy đối với độ chính xác kích thước và sự hình thành bavia (flash) của các chi tiết ép phun vi mô. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng nhiệt độ nóng chảy và áp suất phun cao hơn thường dẫn đến độ chính xác kích thước tốt hơn.

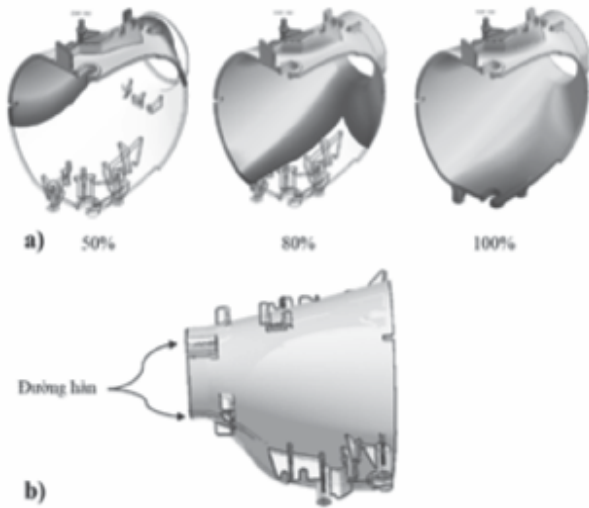
Trong nghiên cứu này, một phương pháp kết hợp giữa thiết kế Taguchi và phân tích tương quan xám (grey relational analysis) sẽ được đưa ra nhằm tối ưu các thông số ép phun nhằm cải thiện weld lines và tăng độ chính xác kích thước của một sản phẩm nhựa trong suốt làm từ nhựa PC (Polycarbonate).

2. QUY TRÌNH THỬ NGHIỆM

2.1. Vật liệu và khuôn

Trong nghiên cứu này, nhựa PC SABIC,

loại LEXAN™ 141R với chỉ số nóng chảy 10.5g/10 phút đã được chọn cho quy trình ép phun. Chi tiết trong suốt là vỏ ngoài của một thiết bị điện tử đã được chọn để phân tích, sử dụng cổng phun nóng với bộ điều khiển đóng/mở cổng. Các thí nghiệm tiến hành trên máy ép phun 470 tấn hiệu Haitian (MA4700II S model). Các mô phỏng dòng chảy được thực hiện nhằm tìm ra vị trí đường hàn trước khi đưa vào thử nghiệm. Kết quả mô phỏng được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Mô phỏng quá trình điền đầy của sản phẩm (a), vị trí đường hàn trên sản phẩm (b).

2.2. Các nhân tố đầu vào

Các nhân tố đầu vào và các mức giá trị được tổng hợp và đưa ra từ các nghiên cứu trước đây cũng như lời khuyên từ các chuyên gia. Chi tiết các thông số được trình bày ở Bảng 1.

2.3. Các nhân tố đầu ra

Đầu ra để đánh giá chất lượng sản phẩm là bề rộng đường hàn (1) và độ chính xác của một kích thước quan trọng (2). Các thông số đánh giá và thiết bị đo được trình bày ở Bảng 2.

2.4. Kết quả thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm tương ứng với mỗi thí nghiệm được trình bày ở bảng. Ở bảng cũng trình bày giá trị SNR (Signal to Noise ratio) của các kết quả theo chuẩn nhỏ nhất tốt nhất.

3. PHÂN TÍCH TƯƠNG QUAN XÁM

Tỷ lệ S/N được chuẩn hóa từ 0 đến 1. Ở đây, chúng ta thấy tỷ lệ S/N càng lớn thì quá trình thực nghiệm càng tốt, chuẩn hóa càng lớn càng tốt được áp dụng bằng Công thức (1). Khi đó, tỷ lệ S/N chuẩn hóa theo lớn nhất tốt nhất được biểu thị như trong Bảng 3.

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (1)$$

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \varphi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \varphi \Delta_{\max}} \quad (2)$$

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{x_{vj}} \max_{x_{vk}} |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\min} = \min_{x_{vj}} \min_{x_{vk}} |y_0(k) - y_i(k)| \quad (5)$$

$$y_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k \xi_i(k) \quad (6)$$

Trong đó: $x_i^*(k)$ là giá trị quan hệ xám; $\max x_i^0(k)$ và $\min x_i^0(k)$ lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trong dãy $x_i^*(k)$; $\xi_i(k)$ là hệ số quan hệ xám; $\Delta_{oi}(k)$ là hiệu số giữa các vị trí tương ứng trong dãy $x_0(k)$ và $x_i(k)$; φ là hệ số nhận dạng, thường là 0.5.

Kết quả tính toán hệ số tương quan xám (grey correlation calculation – GRC) và cấp quan hệ xám (grey relational grade – GRG) được trình bày trong Bảng 3. Phân tích khoảng

(range analysis) cho giá trị GRG được trình bày ở Bảng 4, từ đây có thể thấy các nhân tố áp suất giữ và vận tốc phun nhựa ảnh hưởng lớn đến đầu ra của nghiên cứu. Thông số tối ưu được suy ra từ Bảng 4 là A1B1C1D1E1.

4. PHÂN TÍCH PHƯƠNG SAI

Phân tích phương sai (ANOVA) trên GRG được thực hiện để tìm ra những yếu tố chính ảnh hưởng đến đầu ra của các đầu vào khác nhau, từ đó cho phép chúng ta tìm ra nhân tố đóng vai trò chính trong việc ảnh hưởng đến đầu ra và được trình bày trong các thông số ép có ảnh hưởng lớn đến GRG (Bảng 5). Kết quả là hai thông số ép: áp suất giữ (tác động: 36.68%), và vận tốc phun (tác động: 34.44%) được coi là đóng vai trò chính đến chiều rộng

đường hàn và độ lệch kích thước quan trọng của sản phẩm.

5. KẾT QUẢ XÁC THỰC

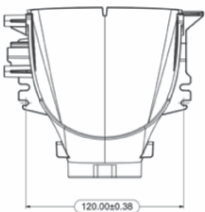
Bảng 6 trình bày kết quả của các thí nghiệm xác nhận, cho thấy hiệu quả rõ rệt của các thông số tối ưu. Cụ thể, độ rộng đường hàn đã giảm từ 0.0625 xuống 0.0192 (cải thiện 69.28%), và độ lệch kích thước giảm từ 0.1452 xuống 0.0518 (cải thiện 65.76%). Kết quả từ các thí nghiệm này cũng cho thấy sự tương quan chặt chẽ giữa giá trị GRG dự đoán và thực nghiệm. Điều này khẳng định tính hiệu quả của phương pháp GRA dựa trên Taguchi trong tối ưu hóa đa mục tiêu, giúp giảm thiểu khuyết tật đường hàn đồng thời nâng cao độ chính xác kích thước.

Bảng 1. Các nhân tố đầu vào và mức độ

Ký hiệu	Nhân tố	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
A	Nhiệt độ nhựa	70	80	85	90
B	Nhiệt độ khuôn	295	300	305	310
C	Vận tốc phun	60	65	70	75
D	Áp suất giữ	25	30	35	40
E	Thời gian làm nguội	20	25	30	35

Bảng 2. Các thông số đánh giá và thiết bị đo lường

Mục tiêu tối ưu	Đơn vị	Giá trị yêu cầu	Thiết bị đo lường
Weld lines width	mm	Ideal = 0	Keyence IM 7500 - 0.0001 mm (Hình 2b)
Dimension 1 (Hình 2a)	mm	109.65 ± 0.38	



(a)



(b)

Hình 2. Kích thước quan trọng của sản phẩm (a), thiết bị đo lường Keyence IM 7500 (b).

Bảng 3. Bảng tính giá trị GRC cho 16 thí nghiệm

Nhân tố đầu vào						Kết quả thực nghiệm		SNR		GRA		GRG
STT	A	B	C	D	E	Bề rộng đường hàn	Sai lệch kích thước	Bề rộng đường hàn	Sai lệch kích thước	Bề rộng đường hàn	Sai lệch kích thước	
1	70	295	60	25	20	0.0625	0.1511	29.1435	16.4147	1.0000	0.3337	0.9978
2	70	300	65	30	25	0.0498	0.0882	15.5301	21.0906	0.3457	0.5506	0.3816
3	70	305	70	35	30	0.0381	0.0913	14.7605	20.7906	0.3333	0.5286	0.3816
4	70	310	75	40	35	0.0267	0.1104	15.7669	19.1406	0.3496	0.4332	0.4374
5	80	295	65	35	35	0.0487	0.1305	16.5363	17.6878	0.3632	0.3738	0.5242
6	80	300	60	40	30	0.0476	0.1426	16.2892	16.9176	0.3588	0.3484	0.5987
7	80	305	75	25	25	0.0349	0.1137	17.3484	18.8848	0.3788	0.4214	0.4625
8	80	310	70	30	20	0.0322	0.0608	19.2674	24.3219	0.4214	1.0000	0.3773
9	85	295	70	40	25	0.0423	0.0889	16.0986	21.0220	0.3554	0.5454	0.3879
10	85	300	75	35	20	0.036	0.0611	15.2844	24.2792	0.3416	0.9893	0.3379
11	85	305	60	30	35	0.0416	0.1212	16.5014	18.3299	0.3626	0.3979	0.4816
12	85	310	65	25	30	0.0362	0.1513	20.9635	16.4032	0.4678	0.3333	0.7339
13	90	295	75	30	30	0.0384	0.0714	15.8365	22.9260	0.3508	0.7393	0.3562
14	90	300	70	25	35	0.0394	0.1015	14.8512	19.8707	0.3347	0.4708	0.4054
15	90	305	65	40	20	0.0328	0.1316	14.9042	17.6149	0.3356	0.3712	0.5161
16	90	310	60	35	25	0.0339	0.0917	16.5246	20.7526	0.3630	0.5259	0.3973

Bảng 4. Bảng đáp ứng cho các giá trị trung bình của GRG

Mức	Nhiệt độ khuôn	Nhiệt độ nhựa	Vận tốc phun	Áp suất giữ	Thời gian làm mát
1	0.5496	0.5665	0.6189	0.6499	0.5573
2	0.4907	0.4309	0.5390	0.3992	0.4073
3	0.4853	0.4604	0.3881	0.4102	0.5176
4	0.4188	0.4865	0.3985	0.4850	0.4621
Delta	0.1309	0.1356	0.2308	0.2507	0.1500
Rank	5	4	2	1	3

Main Effects Plot for Means

Data Means

Bảng 5. Phân tích ANOVA cho GRG.

Nhân tố	Deviation sum of squares S	Degree of freedom f	Mean square value	F	P (%)
A	0.03437	3	0.01146	0.34	7.85%
B	0.04068	3	0.01356	0.41	9.29%
C	0.1508	3	0.05027	2.10	34.44%
D	0.1606	3	0.05352	2.32	36.68%
E	0.05137	3	0.01712	0.53	11.73%

Bảng 6. Giá trị xác thực tại điều kiện ép tối ưu.

	Nhiệt độ khuôn	Nhiệt độ nhựa	Vận tốc phun	Áp suất giữ	Thời gian làm mát	Bề rộng đường hàn	Độ lệch kích thước
Điều kiện ép tối ưu	70	295	60	25	20	0.0192	0.0183

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, kỹ thuật GRA dựa trên Taguchi mang đến cơ hội cải thiện và tối ưu hóa các thông số ép phun. Trong nghiên cứu này, chiều rộng đường hàn và độ lệch kích thước được lấy làm đầu, được GRA chuyển đổi thành một GRG duy nhất, điều này rõ ràng giúp đạt được một thông số quy trình lý tưởng để giảm thiểu các khuyết tật đường hàn và độ lệch kích thước, đồng thời đạt được sự kết hợp lý tưởng của các thông số đúc là A1B1C1D1E1.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE) trong đề tài nghiên cứu mã số T2024-14. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về cơ sở vật chất và nguồn lực đã cung cấp để thực hiện nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 10/11/2025

Ngày phản biện: 19/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. D. O. Kazmer, "Injection mold design engineering". Hanser, 2007. doi: 10.3139/9783446434196.
- [2]. R. Kerkstra and S. Brammer, "Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide", R. Kerkstra and S. B. T.-I. M. A. T. G. (Second E. Brammer, Eds., Hanser, 2021, pp. I–XX. doi: <https://doi.org/10.3139/9781569908358.fm>.
- [3]. T. M. T. Uyen, H. T. Nguyen, V.-T. Nguyen, P. S. Minh, T. T. Do, and V. T. T. Nguyen, "Optimizing the Tensile Strength of Weld Lines in Glass Fiber Composite Injection Molding". Materials (Basel)., vol. 17, no. 14, p. 3428, Jul. 2024, doi: 10.3390/ma17143428.
- [4]. C. Wu and W. Liang, "Effects of geometry and injection molding parameters on weld line strength". Polym. Eng. Sci., vol. 45, no. 7, pp. 1021-1030, Jul. 2005, doi: 10.1002/pen.20369.
- [5]. S. M. Nasir, Z. Shayfull, S. Sharif, A. E. Abdellah, M. Fathullah, and N. Z. Noriman, "Evaluation of shrinkage and weld line strength of thick flat part in injection moulding process". J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng., vol. 43, no. 10, p. 452, Oct. 2021, doi: 10.1007/s40430-021-03060-y.

- [6]. B. Purgleitner, D. Viljoen, I. Kühnert, and C. Burgstaller, "Influence of injection molding parameters, melt flow rate, and reinforcing material on the weld - line characteristics of polypropylene". Polym. Eng. Sci., vol. 63, no. 5, pp. 1551-1566, May 2023, doi: 10.1002/pen.26305.
- [7]. H. Oktem, I. Uygur, E. S. Sari, and D. Shinde, "The hybrid approach of genetic algorithm and particle swarm optimization on reduced weld line defect in plastic injection molding". Prog. Rubber, Plast. Recycl. Technol., Aug. 2024, doi: 10.1177/14777606241270516.
- [8]. S. Kitayama, S. Hashimoto, M. Takano, Y. Yamazaki, Y. Kubo, and S. Aiba, "Multi-objective optimization for minimizing weldline and cycle time using variable injection velocity and variable pressure profile in plastic injection molding". Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 107, no. 7-8, pp. 3351-3361, Apr. 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05235-8.
- [9]. S. Li, G. Zhao, and J. Wang, "A method to improve dimensional accuracy and mechanical properties of injection molded polypropylene parts". J. Polym. Eng., vol. 37, no. 4, pp. 323-334, 2017, doi: 10.1515/polyeng-2015-0526.
- [10]. S. Kashyap and D. Datta, "Process parameter optimization of plastic injection molding: a review". Int. J. Plast. Technol., vol. 19, no. 1, pp. 1-18, Jun. 2015, doi: 10.1007/s12588-015-9115-2.
- [11]. C.-T. T. Huang, T.-W. W. Lin, W.-R. R. Jong, and S.-C. C. Chen, "A methodology to predict and optimize ease of assembly for injected parts in a family mold system". Polymers (Basel), vol. 13, no. 18, p. 3065, Sep. 2021, doi: 10.3390/polym13183065.
- [12]. C.-C. K. KUO and H.-Y. LIAO, "Dimensional accuracy optimization of the micro-plastic injection molding process using the Taguchi design method". Mater. Sci., vol. 21, no. 2, Jun. 2015, doi: 10.5755/j01.ms.21.2.5864.
- [13]. M. R. Mani, R. Surace, P. Ferreira, J. Segal, I. Fassi, and S. Ratchev, "Process parameter effects on dimensional accuracy of micro-injection moulded part". J. Micro Nano-Manufacturing, vol. 1, no. 3, pp. 1-8, 2013, doi: 10.1115/1.4025073.
- [14]. R. A. Fisher, "Statistical Methods for Research Workers", 1992, pp. 66-70. doi: 10.1007/978-1-4612-4380-9_6.

NGHIÊN CỨU ĐỘ BỀN CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE

STUDY ON THE STRENGTH OF COMPOSITE MATERIALS

Vũ Quang Huy*, Nguyễn Trường Vũ, Lê Anh Huy, Chu Hoài Thanh

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: *huyvq@hcmute.edu.vn;

20144496@student.hcmute.edu.vn;

20144402@student.hcmute.edu.vn;

20144457@student.hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của hai loại phụ gia vô cơ là oxit kẽm (ZnO) và tro bay đến các đặc tính cơ học của vật liệu nền polyamide 6 (PA6) gia cường bằng 30% sợi thủy tinh. Các mẫu composite được chế tạo bằng phương pháp phun ép với các thông số gia công được tối ưu hóa theo phương pháp Taguchi. Đặc tính cơ học được đánh giá qua các phép thử kéo, uốn, đo độ cứng Shore D và phân tích hình thái học bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM). Kết quả cho thấy tro bay giúp cải thiện đáng kể độ bền kéo và uốn, trong khi ZnO làm tăng độ cứng nhưng ảnh hưởng tiêu cực đến độ bền kéo và độ dẻo dai. Phân tích dữ liệu bằng phần mềm Minitab xác định được các thông số ép tối ưu cho từng loại phụ gia. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở thực nghiệm cho việc lựa chọn vật liệu composite phù hợp cho các ứng dụng kỹ thuật yêu cầu tính cơ học cao và thân thiện môi trường.

Từ khóa: Composite; PA6; ZnO; Tro bay; Độ bền kéo; Độ bền uốn; Phun ép; Taguchi; SEM; Minitab.

ABSTRACT

This study investigates the effects of two inorganic additives – zinc oxide (ZnO) and fly ash – on the mechanical properties of a polyamide 6 (PA6) matrix reinforced with 30% glass fiber. Composite samples were fabricated using the injection molding method, with processing parameters optimized via the Taguchi approach. Mechanical performance was evaluated through tensile and flexural tests, Shore D hardness measurements, and morphological analysis using scanning electron microscopy (SEM). The results indicate that fly ash significantly enhances tensile and flexural strength, while ZnO increases hardness but negatively affects tensile strength and toughness. Statistical analysis using Minitab identified the optimal molding parameters for each type of additive. This study provides an experimental basis for selecting suitable composite materials for engineering applications requiring high mechanical performance and environmental sustainability.

Keywords: Composite; PA6; ZnO; Fly ash; Tensile strength; Flexural strength; Injection molding; Taguchi; SEM; Minitab.

1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan vật liệu composite PA6 + 30%GF và phụ gia

Vật liệu composite trên nền nhựa nhiệt dẻo hiện nay đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật nhờ sự kết hợp hiệu quả giữa đặc tính dễ gia công của nhựa nền và độ bền cơ học cao của chất gia cường. Trong đó, polyamide 6 (PA6), hay còn gọi là Nylon 6, là một trong những polymer kỹ thuật phổ biến nhất do có sự cân bằng tốt giữa các tính chất cơ học, nhiệt và hóa học. Tuy nhiên, PA6 nguyên chất vẫn còn tồn tại một số hạn chế như khả năng chịu lực không cao, dễ biến dạng dưới tải trọng lớn và đặc biệt nhạy cảm với độ ẩm. Vì vậy, để cải thiện những nhược điểm này, việc gia cường bằng sợi thủy tinh (Glass Fiber – GF) trở thành một giải pháp hiệu quả [1].

Khi kết hợp PA6 với 30% sợi thủy tinh theo khối lượng, ta thu được vật liệu PA6 30GF – một dạng composite có tính chất cơ lý ưu việt hơn hẳn so với PA6 nguyên chất. Sợi thủy tinh trong hệ vật liệu này đóng vai trò như khung xương chịu lực, giúp tăng độ bền kéo, độ bền uốn, độ cứng và ổn định kích thước. Cấu trúc mạng sợi bên trong làm hạn chế biến dạng do tải trọng hoặc giãn nở do nhiệt, đồng thời làm giảm độ co ngót sau gia công, giúp sản phẩm có hình dạng chính xác và ít sai số kích thước hơn. Khả năng chịu va đập, chịu mài mòn cũng được cải thiện đáng kể, biến PA6 30GF thành vật liệu lý tưởng cho các chi tiết làm việc trong điều kiện cơ – nhiệt khắc nghiệt như vỏ hộp truyền động, cánh quạt, tay cầm, khung máy hoặc các chi tiết ô tô – điện tử kỹ thuật [1].

Tuy nhiên, để tiếp tục nâng cao hiệu suất sử dụng và phát triển sản phẩm theo hướng thân thiện với môi trường và kinh tế tuần hoàn, việc bổ sung thêm các phụ gia vô cơ vào vật

liệu nền PA6 30GF là xu hướng nghiên cứu hiện đại. Trong đề tài này, hai loại phụ gia được lựa chọn là bột nano oxit kẽm (ZnO) và tro bay – đều là những vật liệu có tiềm năng ứng dụng cao và sẵn có [1].

Bột nano ZnO (ZnO NPS) là một vật liệu nano đa năng với kích thước hạt siêu nhỏ (20-60 nm), có cấu trúc tinh thể ổn định và khả năng tăng độ cứng cho polymer khi phân tán đều trong nền nhựa. ZnO còn có tính chất kháng khuẩn, chống tia UV, dẫn nhiệt tốt và giúp ổn định hình học cho sản phẩm. Tuy nhiên, do kích thước nano và xu hướng kết tụ, việc sử dụng ZnO hiệu quả phụ thuộc nhiều vào kỹ thuật xử lý bề mặt (như sử dụng phụ gia silane A1100) và quy trình phân tán đồng đều [2-5].

Tro bay là một loại phụ gia khoáng dạng bột, chủ yếu được sinh ra từ quá trình đốt than đá trong các nhà máy nhiệt điện. Thành phần chủ yếu của tro bay bao gồm các oxit như SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 và CaO . Đây là nguồn phụ phẩm công nghiệp khổng lồ, nếu không được xử lý hợp lý sẽ gây ô nhiễm môi trường. Trong lĩnh vực composite, tro bay được xem là chất độn giúp tăng cường độ bền, giảm tỷ trọng và giá thành sản phẩm. So với ZnO, tro bay có kích thước hạt lớn hơn (2-10 μm), nhưng khả năng bám dính với nền nhựa lại tốt hơn, nhất là khi được xử lý bằng chất liên kết bề mặt (coupling agent) [6-8].

Việc kết hợp PA6 30GF với ZnO hoặc tro bay không chỉ mở ra khả năng cải thiện cơ tính mà còn mang ý nghĩa lớn trong hướng tiếp cận phát triển vật liệu xanh, bền vững, tận dụng phế phẩm công nghiệp và giảm phụ thuộc vào nguyên liệu nhập khẩu giá cao. Bên cạnh đó, sự hỗ trợ của các công cụ hiện đại như thiết kế thí nghiệm theo phương pháp Taguchi, phân tích tối ưu thông số bằng phần mềm Minitab và kiểm chứng bằng thiết bị SEM càng làm cho

nguyên cứu này trở nên toàn diện và mang tính ứng dụng cao [1].

1.2. Công nghệ ép phun và đo kiểm

Phương pháp ép phun được sử dụng để chế tạo các mẫu composite từ vật liệu PA6 gia cường 30% sợi thủy tinh kết hợp với phụ gia ZnO và tro bay. Quá trình ép được thực hiện trên máy HAITIAN MA1200 III với các thông số như áp suất phun, thời gian phun, áp suất giữ, thời gian giữ và nhiệt độ phun được thiết lập theo ma trận thực nghiệm Taguchi L25.

Sau khi chế tạo, các mẫu được kiểm tra cơ tính bằng phương pháp kéo (ASTM D638), uốn (ASTM D790) và đo độ cứng Shore D. Ngoài ra, bề mặt phá hủy của mẫu còn được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) nhằm đánh giá mức độ phân tán và liên kết của phụ gia trong nền nhựa. Các phép đo được lặp lại để đảm bảo độ tin cậy và được phân tích bằng phần mềm Minitab.

2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Chuẩn bị vật liệu và phối trộn

Quá trình chuẩn bị vật liệu trong nghiên cứu bao gồm việc xử lý bề mặt phụ gia bằng silane, phối trộn với hạt nhựa PA6 + 30% sợi thủy tinh và tạo hạt thông qua thiết bị đùn. Đầu tiên, dung dịch silane A1100 được pha chế theo tỷ lệ thích hợp và điều chỉnh pH bằng axit axetic nhằm thúc đẩy quá trình thủy phân, giúp silane hoạt hóa và tạo liên kết tốt hơn với bề mặt phụ gia. Tiếp theo, các phụ gia ZnO (0-3%) và tro bay (2,5-10%) được phối trộn với hạt nhựa PA6 + 30%GF. Trong lúc trộn, dung dịch silane được phun trực tiếp để tăng khả năng bám dính và phân tán đồng đều trong nền nhựa. Sau khi phối trộn, hỗn hợp được đưa vào máy đùn để tạo thành sợi composite, sau đó làm nguội bằng nước và băm thành hạt nhỏ phục vụ cho quá trình ép phun. Toàn bộ quá trình giúp đảm bảo sự đồng nhất của vật liệu, tăng khả năng tương thích giữa phụ gia và nền nhựa, từ đó cải thiện hiệu quả tính chất cơ học của sản phẩm composite (Bảng 1).

Bảng 1. Thông số tỉ lệ pha silane cho mỗi tỉ lệ phụ gia phun vào nhựa

Tỉ lệ ZnO / composite (%)	Khối lượng ZnO (g)	Khối lượng silane (g)	Khối lượng nước (g)	Khối lượng ethanol (g)
0	0	0	0	0
1	20	4	1.6	14.4
2	40	8	3.2	28.8
3	60	12	4.8	43.2
4	80	16	6.4	57.6
Tỉ lệ tro bay / composite (%)	Khối lượng tro bay (g)	Khối lượng silane (g)	Khối lượng nước (g)	Khối lượng ethanol (g)
0	0	0	0	0
2.5	50	10	4	36
5	100	20	8	72
7.5	150	30	12	108
10	200	40	16	144

2.2. Ép mẫu và thiết lập thông số

Quá trình ép mẫu là một khâu quan trọng nhằm tạo ra các sản phẩm composite đạt yêu cầu hình học và tính chất cơ học để phục vụ cho các phép thử nghiệm kéo, uốn và độ cứng. Trong nghiên cứu này, phương pháp ép phun được thực hiện trên máy HAITIAN MA1200 III, một thiết bị ép nhựa hiện đại có khả năng điều khiển chính xác các thông số công nghệ như áp suất, nhiệt độ và thời gian.

(*) Mục tiêu thiết lập thông số ép

Nhằm xác định các thông số tối ưu ảnh hưởng đến chất lượng mẫu ép, nhóm nghiên cứu lựa chọn 5 yếu tố chính bao gồm (Bảng 2):

- Áp suất phun (bar);
- Thời gian phun (s);
- Áp suất giữ (bar);
- Thời gian giữ (s);
- Nhiệt độ đầu phun (°C).

Để đảm bảo độ tin cậy và bao quát toàn bộ dải giá trị khảo sát, mỗi thông số được chia thành 5 mức. Ban đầu, nhóm sử dụng nhựa PA6 + 30%GF chưa phối trộn phụ gia để tiến hành các thử nghiệm xác định mức thông số tối thiểu cần thiết để mẫu được ép đầy khuôn, không có bavia hay lỗ rỗng.

Bảng 2. Mức thông số thấp nhất

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Áp suất phun	35	bar
Thời gian phun	3	s
Áp suất giữ	32	bar
Thời gian giữ	0	s
Nhiệt độ	270	°C

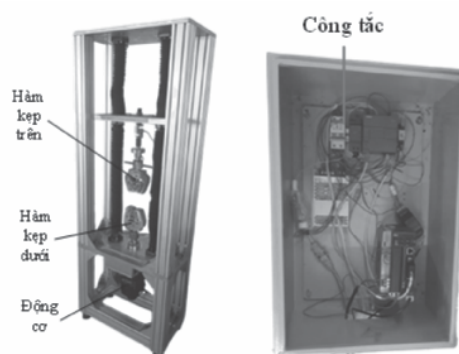
Sau khi có được mức thông số thấp

nhất, ta sẽ tiến hành khảo sát bằng phương pháp Taguchi để tìm ra bộ thông số tối ưu nhất cho các mẫu ép.

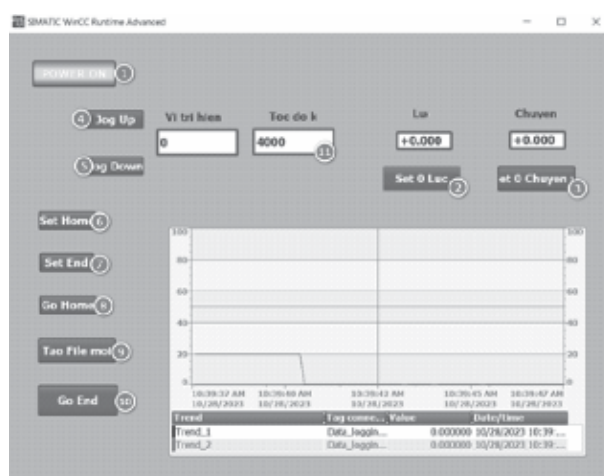
3. THỰC NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

(*) Phương pháp đo độ bền

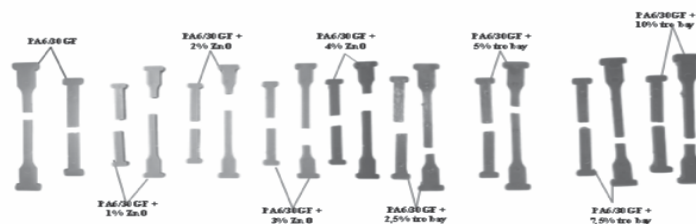
Tiến hành thí nghiệm đo độ bền của mẫu bằng máy kéo vạn năng thuộc Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Đánh giá, phân tích kết quả thực nghiệm bằng phần mềm Taguchi, ANOVA và hàm tỉ lệ F_{max}/m để tìm thông số tối ưu cho hai loại phụ gia đang khảo sát (Hình 1, 2).



Hình 1. Máy đo độ bền kéo – uốn



Hình 2. Giao diện phần mềm SIMATIC WinCC Runtime Advanced



Hình 3. Mẫu sau khi đo độ bền kéo – uốn

(*) Kết quả độ bền kéo – uốn của mẫu composite với chất độn (Hình 3) như Bảng 3.

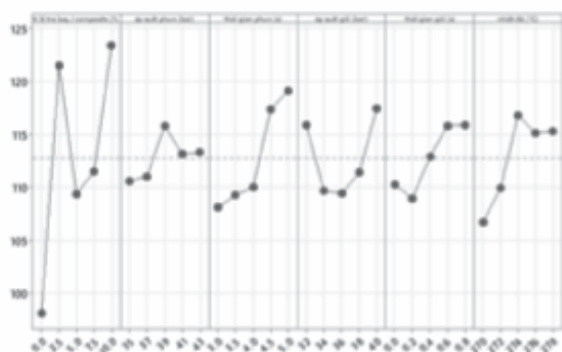
Bảng 3. Độ bền kéo – uốn của từng loại composite với chất độn là ZnO

STT	Composite	Áp suất phun (bar)	Thời gian phun (s)	Áp suất giữ (bar)	Thời gian giữ (s)	Nhiệt độ (°C)	Độ bền kéo (Mpa)	Độ bền uốn (Mpa)
1	PA6+30% GF	35	3	32	0	270	85.88	154.05
2		37	3.5	34	0.2	272	83.12	142.89
3		39	4	36	0.4	274	99.23	140.67
4		41	4.5	38	0.6	276	107.09	158.53
5		43	5	40	0.8	278	115.34	167.48
6	PA6+ 30% GF + 1% ZnO	35	3.5	36	0.6	278	131.44	164.95
7		37	4	38	0.8	270	110.15	128.64
8		39	4.5	40	0	272	80.45	121.95
9		41	5	32	0.2	274	99.00	126.43
10		43	3	34	0.4	276	93.89	123.08
11	PA6+ 30% GF + 2% ZnO	35	4	40	0.2	276	101.69	123.26
12		37	4.5	32	0.4	278	120.68	130.90
13		39	5	34	0.6	270	115.26	133.12
14		41	3	36	0.8	272	101.90	127.51
15		43	3.5	38	0	274	103.24	134.25
16	PA6+ 30% GF + 3% ZnO	35	4.5	34	0.8	274	51.07	127.51
17		37	5	36	0	276	45.45	127.51
18		39	3	38	0.2	278	36.05	128.64
19		41	3.5	40	0.4	270	49.38	96.13
20		43	4	32	0.6	272	43.43	75.60
21	PA6+ 30% GF + 4% ZnO	35	5	38	0.4	272	55.18	73.98
22		37	3	40	0.6	274	41.70	96.27
23		39	3.5	32	0.8	276	54.09	129.37
24		41	4	34	0	278	52.91	145.15
25		43	4.5	36	0.2	270	54.64	128.24

(*) Kết quả độ bền kéo tối ưu thu được cho chất phụ gia Tro bay (Hình 4, 5) là:

tỉ lệ tro bay / áp suất						
Level	composite (%)	phun (bar)	thời gian phun (s)	áp suất giữ (bar)	thời gian giữ (s)	nhiệt độ (°C)
1	39.77	40.80	40.60	41.18	40.77	40.52
2	41.67	40.82	40.67	40.73	40.65	40.72
3	40.77	41.23	40.82	40.76	41.03	41.30
4	40.94	41.03	41.38	40.92	41.26	41.20
5	41.81	41.08	41.50	41.37	41.25	41.23
Delta	2.05	0.42	0.90	0.64	0.61	0.78
Rank	1	6	2	4	5	3

Hình 4. Dữ liệu phân tích mức độ ảnh hưởng của từng biến đến độ bền kéo của sản phẩm bằng phần mềm Minitab



Hình 5. Dữ liệu phân tích mức độ ảnh hưởng của từng giá trị của mỗi biến đến độ bền kéo của sản phẩm bằng phần mềm Minitab

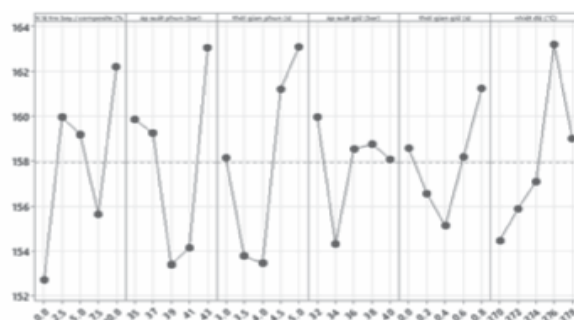
Từ hai kết quả phân tích trên, ta thu được bộ thông số tối ưu như sau:

- Tỉ lệ tro bay/composite: 10 (%);
- Áp suất phun: 43 (bar);
- Thời gian phun: 5 (s);
- Áp suất giữ: 40 (bar);
- Thời gian giữ: 0.8 (s);
- Nhiệt độ: 278 (°C).

(*) Kết quả độ bền uốn tối ưu thu được cho chất phụ gia Tro bay như Hình 6 và 7:

tỉ lệ tro bay / áp suất						
Level	composite (%)	phun (bar)	thời gian phun (s)	áp suất giữ (bar)	thời gian giữ (s)	nhiệt độ (°C)
1	43.66	44.07	43.98	44.08	44.00	43.77
2	44.08	44.03	43.72	43.76	43.88	43.85
3	44.04	43.71	43.71	43.99	43.79	43.91
4	43.83	43.75	44.15	44.01	43.98	44.25
5	44.20	44.24	44.24	43.96	44.15	44.02
Delta	0.54	0.54	0.53	0.32	0.36	0.49
Rank	2	1	3	6	5	4

Hình 6. Dữ liệu phân tích mức độ ảnh hưởng của từng biến đến độ bền uốn của sản phẩm bằng phần mềm Minitab



Hình 7. Dữ liệu phân tích mức độ ảnh hưởng của từng giá trị của biến đến độ bền uốn của sản phẩm bằng phần mềm Minitab

Từ hai kết quả phân tích trên, ta thu được bộ thông số tối ưu như sau [3], [4], [5], [11], [12]:

- Tỉ lệ tro bay/composite: 10 (%);
- Áp suất phun: 43 (bar);
- Thời gian phun: 5 (s);
- Áp suất giữ: 40 (bar);
- Thời gian giữ: 0.8 (s);
- Nhiệt độ: 278 (°C).

Kết quả đo độ bền kéo – uốn của các mẫu composite chứa ZnO cho thấy xu hướng suy giảm rõ rệt khi hàm lượng ZnO tăng. Tại tỉ lệ 1% ZnO, độ bền kéo và độ bền uốn đạt giá trị cao nhất (131.4 MPa và 164.95 MPa), tuy nhiên từ 2% trở lên bắt đầu giảm nhanh, và ở mức 4% ZnO, các chỉ tiêu cơ học thấp hơn cả

mẫu gốc. Điều này chứng tỏ khả năng phân tán và tương tác của ZnO với nền nhựa có giới hạn, việc sử dụng quá mức dẫn đến hiện tượng kết tụ và phá vỡ cấu trúc vật liệu.

Các mẫu chứa tro bay có xu hướng tăng dần độ bền kéo và uốn theo hàm lượng. Mẫu chứa 10% tro bay đạt độ bền kéo 131.44 MPa và độ bền uốn 171.05 MPa, tăng lần lượt 25.8% và 10.3% so với mẫu PA6/30GF gốc. Điều này cho thấy tro bay có hiệu quả gia cường tốt hơn ZnO trong hệ composite nghiên cứu. Ngoài ra, việc tận dụng tro bay còn mang lại lợi ích kinh tế và môi trường đáng kể [1].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khảo sát ảnh hưởng của hai loại phụ gia vô cơ – ZnO và tro bay – đến tính chất cơ học của vật liệu composite nền PA6 gia cường 30% sợi thủy tinh, thông qua quá trình ép phun và tối ưu hóa bằng phương pháp Taguchi. Kết quả cho thấy, việc bổ sung tro bay giúp cải thiện đáng kể độ bền kéo và độ bền uốn, đặc biệt ở tỷ lệ 10%. Trong khi đó, ZnO chỉ hiệu quả ở tỷ lệ thấp (~1%), còn nếu vượt quá mức này sẽ làm giảm cơ tính do hiện tượng kết tụ hạt.

Độ cứng bề mặt tăng lên ở cả hai loại phụ gia, trong đó ZnO giúp tăng độ cứng nhiều hơn, nhưng không cải thiện độ bền tổng thể. Phân tích SEM cho thấy tro bay phân bố đều và bám tốt hơn so với ZnO, giúp lý giải cơ chế gia cường. Phân tích tối ưu bằng Minitab xác định được bộ thông số ép phun phù hợp cho từng loại vật liệu. Nhìn chung, tro bay là phụ gia hiệu quả và thân thiện môi trường, có tiềm năng thay thế một phần chất độn truyền thống trong sản xuất vật liệu kỹ thuật.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên

cứ: Vũ Quang Huy;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Vũ Quang Huy, Nguyễn Trường Vũ, Lê Anh Huy, Chu Hoài Thanh.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện và hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này (Mã số đề tài: T2024-219).❖

Ngày nhận bài: 10/11/2025

Ngày phản biện: 19/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kohutiar, M., Kakošová, L., Krbata, M., Janík, R., Fekiač, J. J., Breznická, A., ... Timárová, E. (2025), “*Comprehensive review: technological approaches, properties, and applications of pure and reinforced polyamide 6 (PA6) and PA12 composite materials*”. *Polymers*, 17(4), 442. <https://doi.org/10.3390/polym17040442>
- [2]. “*Preparation of ZnO nanoparticle reinforced polyamide 6 composite*” (2018). *Journal of Polymer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110424>
- [3]. “*Influence of fly ash on thermo mechanical and mechanical behavior of PA6*” (2023). *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110424>
- [4]. “*Preparation and mechanism of fly ash based composite fillers with PA6*” (2024). *Environmental Technology & Innovation*. <https://doi.org/10.1177/08927057241256940>.
- [5]. “*Thermomechanical properties of PA6 with biomass derived fly ash*” (2018). *Researchgate*. https://www.researchgate.net/publication/323129753_THERMOMECHANICAL_PROPERTIES_OF_POLYAMIDE_6_WITH_ADDITION_OF_FLY_ASH_FROM_BIOMASS
- [6]. “*Mechanical, thermal, and flammability properties of PA6-TiO₂ composites*” (2022). *Polymer Composites*. <https://doi.org/10.1177/08927057211067698>
- [7]. “*Effect of tetra needle shaped zinc oxide whisker on composite properties*” (2012). *Composites Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.11.021> ScienceDirect
- [8]. “*Modifying PA6 with high performance basalt fiber composites*” (2023). *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/pc.28205> 4sppublications.onlinelibrary.wiley.com

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CƠ CẤU QUAY CƠ KHÍ CHO THÁP KINH LUÂN TẠI ĐẬP TRÀN SÔNG TÔ LỊCH

STUDY, DESIGN, AND MANUFACTURE OF MECHANICAL ROTATING
MECHANISM OF THE PRAYER WHEEL TOWER ON THE TO LICH RIVER
OVERFLOW WEIR

Trần Chí Trung, Nguyễn Hoàng Giang, Nguyễn Văn Năm,
Lê Xuân Quý, Nguyễn Chí Cường
Viện Nghiên cứu Cơ khí

TÓM TẮT

Với quyết tâm hồi sinh dòng sông Tô Lịch, thành phố Hà Nội đã thực hiện nhiều hành động cụ thể như nạo vét, xây dựng đập dâng lấy nước từ sông Hồng để làm sạch sông Tô Lịch. Tháp kinh luân được đặt tại đài quan sát trên đập dâng, có hình trụ tròn, hoa văn sơn vàng trên nền đen, đối xứng, tự quay quanh tâm tháp bởi dòng nước đi qua đập. Kết cấu truyền động nhận năng lượng của dòng nước đi qua đập, chuyển đổi sang chuyển động cơ khí quay cấp cho tháp kinh luân được thực hiện bởi Viện Nghiên cứu Cơ khí (Narime). Tháp kinh luân với chuyển động quay trở thành biểu tượng, vừa cổ kính, vừa hiện đại, làm nổi bật cảnh quan đập Tô Lịch.

Từ khóa: Tháp kinh luân; Đập sông Tô Lịch; Viện Nghiên cứu Cơ khí.

ABSTRACT

In its effort to revive the To Lich river, Hanoi has taken many specific actions, such as dredging, building a weir taking water from the Red River to clean up the To Lich river. The prayer wheel tower is placed on the observation deck on the weir. It has a round, conical shape with a symmetrical, golden painted pattern on black background, and it rotates on its own central line by the flow of water passing through the weir. The transmission structure, which receives energy from the water flow and converts it into the rotational mechanical motion for the tower, was provided by the National Institute of Mechanical Engineering (Narime). The prayer wheel tower and its rotation motion become a symbolic both classic and modern to highlight the landscape of the To Lich weir.

Keywords: Prayer wheel tower; To Lich weir; Narime.



1. TỔNG QUAN

Sông Tô Lịch với chiều dài hơn 14 km, khởi nguồn từ phường Nghĩa Đô đổ ra sông Nhuệ khu vực xã Đại Thanh. Dòng sông từng đã khá ô nhiễm do nhận nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp chưa được xử lý dọc hai bên bờ sông. Dự án làm sạch sông Tô Lịch là một nỗ lực lớn của thành phố Hà Nội nhằm cải thiện môi trường và chất lượng nước của dòng sông Tô Lịch. Bên cạnh hoạt động nạo vét bùn thải, thì hoạt động bổ sung nước sạch để khôi phục dòng chảy của con sông cũng được nỗ lực thực hiện. Đập dâng trên sông Tô Lịch đóng vai trò then chốt trong việc điều tiết dòng chảy, bổ sung nước từ sông Hồng và Hồ Tây. Dự kiến sẽ có 03 đập tràn giữ nước suốt chiều dài sông, hiện tại đập dâng đầu tiên tại phường Thanh Liệt đã sắp hoàn thành.

Điểm nhấn của công trình đập dâng trên sông Tô Lịch là điểm dừng chân phía trên đập tràn, với các công trình độc đáo thu hút khách du lịch. Tháp kinh luân là một công trình thuộc đập tràn, đặt cạnh đài quan sát lầu bát giác. Tháp tạo ấn tượng cho khách tham quan không chỉ bởi hoa văn độc đáo trên thân tháp mà còn bởi sự chuyển động của tháp từ dòng chảy làm sạch sông Tô Lịch đi qua đập (hình 1).



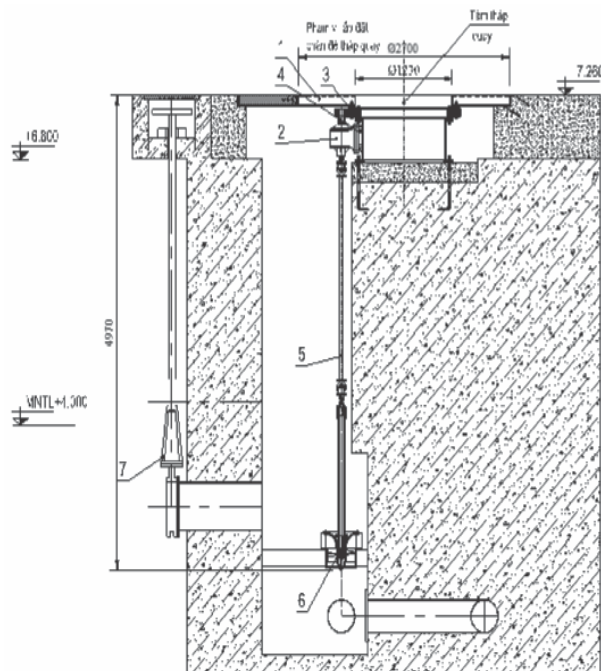
Hình 1. Vị trí tháp kinh luân bên cạnh đài quan sát trên đập sông Tô Lịch

Tháp kinh luân cùng các công trình khác thuộc đập dâng được đảm nhận bởi Công ty Cổ phần Xây dựng dịch vụ và Thương mại 68 phối hợp thực hiện với nhiều bên có liên quan, trong đó phần nhận, chuyển đổi và dẫn động từ năng lượng dòng nước chảy qua đập dâng thành chuyển động quay quanh tâm của tháp kinh luân được thực hiện bởi Viện Nghiên cứu Cơ khí (Narime).

2. GIẢI PHÁP THỰC HIỆN

Giải pháp cho hạng mục là tận dụng chênh lệch mực nước giữa thượng lưu và hạ lưu của đập sông Tô Lịch để làm quay tuốc bin nước, từ đó cung cấp chuyển động cơ khí quay quanh đường tâm cho tháp kinh luân. Do chênh áp giữa thượng lưu và hạ lưu là khá thấp, nên năng lượng tạo ra khá nhỏ. Trên cơ sở kết cấu hạng mục công trình bố trí trụ cố định giữa để quay có đường kính $D_{trụ} = 1$ m với vận tốc quay của bàn quay đỡ tháp kinh luân thấp (trong khoảng 0,25 v/ph), nên mô men quay cần thiết để tháp quay chuyển động là khá lớn. Kết cấu của thiết bị cung cấp chuyển động cho tháp quay được mô tả ở Hình 2, trong đó tuốc bin nước (6) nhận truyền động từ dòng nước chảy qua thân đập, chuyển thành chuyển động quay cơ khí, truyền động qua cụm trục tuốc bin và trục nối (5) tới hộp giảm tốc (3) có gắn bánh răng, truyền chuyển động quay cho bàn đế quay (1) gắn với ca ngoài của ổ bi bánh răng (2). Tháp kinh luân đặt bên trên bàn đế tháp quay (1). Ổ bi bánh răng (2), và hộp giảm tốc (3) được lắp đặt trên thân bệ đế tháp (4). Tuốc bin nước (6) trang bị cho hệ thống có dạng tuốc bin hướng tâm, là tuốc bin được thiết kế để hoạt động hiệu quả ở nơi có cột nước thấp. Hệ thống được trang bị thêm một van dao DN500 (7) để kiểm soát dòng chảy qua tuốc bin nước (6) trong trường hợp khi cần thiết. Ổ bi bánh răng ngoài (2) có ưu điểm độ tin cậy cao, chịu được tải trọng lớn, hệ số ma sát thấp, hiệu suất

truyền động bánh răng cao, có khả năng làm việc trong môi trường bôi trơn kém, dễ bảo trì. Nhược điểm là trọng lượng lớn làm kết cấu thiết bị tăng theo, giá thành cao.



Hình 2. Bố trí thiết bị truyền động tháp quay:
1 - Bàn đế quay; 2 - Ổ bi bánh răng ngoài; 3 - Hộp giảm tốc; 4 - Bộ đế tháp quay; 5 - Trục tước bin và trục nối; 6 - Tước bin tâm trục; 7 - Ván dao

3. CƠ SỞ THIẾT KẾ

Như các nội dung bên trên đã đề cập, mục tiêu của công trình là tận dụng chênh mực nước giữa thượng lưu và hạ lưu của đập dâng để quay tuốc bin nước. Do chênh áp của đập là rất thấp, chỉ vào tầm 0,7 m (xem Bảng 1 dưới) nên chọn tuốc bin tâm trục, phù hợp với điều kiện ở những nơi có cột nước thấp. Các thông số đầu vào của Bảng 1 được lấy từ hồ sơ mời thầu do nhà thầu chính, Công ty Cổ phần Xây dựng Dịch vụ và Thương mại 68, cung cấp [1].

Bảng 1. Các thông số thiết kế đầu vào [1]

TT	Nội dung	Giá trị	Ghi chú
1	Khối lượng tháp đặt trên đế tháp (max) $M_{\max}$	700 kg	
2	Vận tốc mép ngoài tháp quay $v_{\text{mép}}$	$5 \div 10$ cm/s	
3	Lưu lượng nước Q	0,5 m ³ /s	
4	Mức nước thượng lưu (trung bình) H_{TL}	4,00 m	
5	Mức nước hạ lưu (trung bình) H_{HL}	3,30 m	
6	Mức nước hạ lưu (max) H_{HLmax}	3,60 m	
6	Chiều quay của tháp	Chiều kim đồng hồ	
7	Đường kính trụ gá tháp $D_{\text{Trụ}}$	1 m	
8	Bán kính bàn giá tháp quay (max) R_{Nb}	1,350 m	

4. TÍNH TOÁN, CHẾ TẠO, LẮP ĐẶT

4.1. Tính toán chọn lựa thiết bị

Sơ bộ chọn lựa ổ bi bánh răng ngoài mã hiệu 011.40.1250 do vòng bi này nhỏ gọn nhưng cung cấp được chuyển động chính xác, tin cậy, khả năng chịu tải cao, thường được áp dụng cho các máy móc hạng nặng như cần cẩu hoặc gầu xúc. Ổ bi 011.40.1250 được chế tạo từ thép 50 Mn, có kích thước đường kính trong ID = 1110 mm, đường kính OD = 1390 mm, chiều cao H = 110 mm, momen ma sát không tải của ổ bi $M_s = 600 \text{ Nm}$ (hình 3).



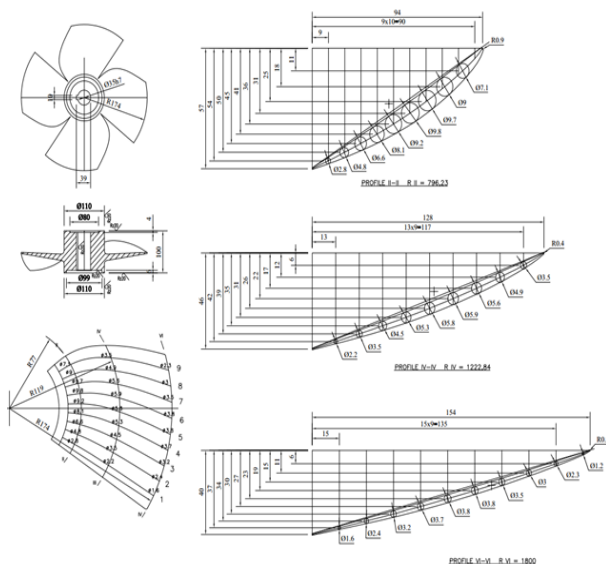
Hình 3. Ổ bi bánh răng ngoài 011.40.1250

Trên cơ sở khối lượng tổng thể của bàn đế quay (bao gồm tháp kinh luân, khối lượng tự trọng của bàn đế và các thiết bị khác đặt trên bàn đế quay) cùng vận tốc làm việc yêu cầu ($\sim 0,25$ v/ph), cùng các thông số đầu vào tại Bảng 1, nhóm tác giả thực hiện tính toán công suất cần thiết cho bàn đế quay, từ đó tính ra công suất yêu cầu đối với tuốc bin, cùng các kích thước cơ bản của tuốc bin. Nội dung tính toán thiết kế được trình bày tại Bảng 2 dưới đây. Các công thức trong bảng được tham khảo từ các tài liệu [2], [3] và [4].

Bảng 2. Phương pháp và kết quả tính toán

TT	Nội dung	Phương pháp xác định (công thức)	Giá trị	Ghi chú
1	Khối lượng tháp xoay	$G_{\text{tổng}} = G_{\text{tháp}} + G_{\text{mq}} + G_{\text{kh}}$	2000 kg	
2	Momen khởi động để quay	$M = M_1 + M_2$	1860 Nm	
3	Momen ma sát do tải trọng	$M_1 = f_a \cdot F_a \cdot R_\delta$	1260 Nm	
4	Tốc độ bàn quay n	$n = \frac{30 \cdot v_{\text{mb}}}{\pi \cdot R_{\text{mb}}}$	0,35 v/ph	[3]
5	Công suất yêu cầu của bàn quay P_{bq}	$P_{\text{bq}} = \frac{M \cdot n}{9500}$	0,067 kW	[4]
6	Công suất yêu cầu với tuốc bin P_{tb}	$= \frac{P_{\text{bq}}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}$	0,254 kW	[4]
7	Lưu lượng nước cấp qua tuốc bin Q_{tb}	$= \frac{P_{\text{tb}}}{\eta_{\text{tb}} \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H}$	0,215 m ³ /s	[2]
8	Vận tốc trung bình của dòng nước qua tuốc bin v_{tb}	$= \sqrt{k \cdot 2 \cdot g \cdot \Delta H}$	2,34 m/s	[2]
9	Đường kính bánh công tác $D_{\text{tb min}}$	$= \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{tb}}}{\pi \cdot v}}$	0,341 m	[2] chọn $D_{\text{tb}} = 0,350\text{m}$
10	Tốc độ quay của tuốc bin n_{tb}	$= \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{\text{tb}}}$	127,75 v/ph	[2]
11	Tỷ số truyền của hộp giảm tốc i	$= \frac{n_{\text{tb}}}{i_1 \cdot n}$	40,55	[4] chọn $i = 40$

Bánh công tác là chi tiết chính yếu, quan trọng trong hệ thống, có chức năng nhận và chuyển hóa năng lượng dòng nước sang chuyển động cơ khí quay. Hình 4 là thiết kế bánh công tác của nhóm thực hiện đề tài cho tuốc bin nhận nước của hệ thống truyền động cho tháp kinh luân. Nhóm thực hiện đề tài đã tính toán lưới cánh được tính và thiết kế theo phương pháp phân bố xoáy trên cung mỏng Lexokhin theo mô hình mẫu cánh ПЛ10/592 của Liên Xô (cũ). Cụ thể về phương pháp Lexokhin và mô hình mẫu cánh có thể xem tại [5] Lý thuyết cánh, của tác giả Trần Văn Đắc.



Hình 4. Thiết kế bánh công tác hệ thống truyền động tháp kinh luân của đề tài

4.2. Chế tạo, lắp đặt

Trong hệ thống truyền động tháp kinh luân, các chi tiết, thiết bị ổ bi bánh răng ngoài 011.40.1250, hộp giảm tốc i40, van dao DN500 là các thiết bị mua. Còn bàn để quay phần cảnh quan, trục tuốc bin và trục nối, tuốc bin, cùng các chi tiết khác do Viện Nghiên cứu Cơ khí chế tạo. Các chi tiết đều được chế tạo từ thép SUS304 có độ bền cao, chống ăn mòn và mài mòn tốt khi làm việc trong môi trường nước.

Hình 5 dưới là hình ảnh chế tạo lắp ráp kiểm tra bộ để quay với ổ bi bánh răng ngoài tại nơi chế tạo. Quá trình lắp đặt, chạy thử cơ cấu truyền động tháp quay tại công trường cũng do Viện Nghiên cứu Cơ khí triển khai thực hiện (hình 6).



Hình 5. Chế tạo, lắp ráp bộ để quay tại nhà máy



Hình 6. Lắp đặt chi tiết đặt sẵn tại công trường

5. KẾT LUẬN

Công trình và cảnh quan của đập sông Tô Lịch có một ý nghĩa đặc biệt quan trọng, không chỉ góp phần giảm ô nhiễm và cải thiện hệ sinh thái ven bờ sông mà còn mang ý nghĩa về văn hóa gắn liền với lịch sử Hà Nội. Tháp quay kinh luân thu hút khách tham quan bởi hình dáng và sự độc đáo mà còn mang ý nghĩa tâm linh gắn mang lại điều an lành. Chuyển động của tháp mang theo ý nghĩa về sự thân thiện với môi trường khi không dùng bất cứ năng lượng gây ô nhiễm nào mà dùng chính dòng nước làm sạch sông Tô Lịch để chuyển động. Giải pháp dùng dòng nước cũng có thể

ứng dụng tại các công trình có chuyển động quay tại khu vực sinh thái gần các nguồn nước, mà không cần dùng tới nguồn năng lượng khác, tạo nên cảnh quan thân thiện với môi trường sinh thái tự nhiên. ❖

Ngày nhận bài: **26/11/2025**

Ngày phản biện: **05/12/2025**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Công ty Cổ phần Xây dựng Dịch vụ và Thương mại 6, “*Hồ sơ mời thầu cung cấp hệ thống truyền động cho tháp kinh luân, đập tràn sông Tô Lịch*”, Hà Nội, Việt Nam, 2025.

- [2]. PGS,TS. Võ Sỹ Huỳnh, TS. Nguyễn Thị Xuân Thu, “*Tuốc bin nước*”. NXB. Khoa học Kỹ Thuật, Hà Nội, Việt Nam, 2005.
- [3]. Đinh Gia Tường, Nguyễn Xuân Lạc, Trần Doãn Tiến, “*Nguyên lý máy*”. NXB. Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Việt Nam, 1970.
- [4]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển, “*Tính toán, thiết kế hệ dẫn động cơ khí – Tập 1, 2*”. NXB. Giáo dục, Hà Nội, Việt Nam, 2006.
- [5]. Trần Văn Đắc, “*Lý thuyết cánh – Tập 1, 2*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, Việt Nam, 2011.

TIẾT KIEM ĐIỆN NĂNG TRONG SẢN XUẤT CÔNG NGHIỆP KHI ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

SAVING ELECTRICITY IN INDUSTRIAL PRODUCTION WHEN APPLYING TECHNOLOGY TO CONTROL THE SPEED OF ELECTRIC MOTORS

Phạm Trung Sơn

Bộ môn Điện khí hóa, Khoa Cơ điện, Trường Đại học Mỏ – Địa chất

Email: phamtrungson@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Điện năng có vai trò rất quan trọng đối với sự phát triển của nền kinh tế. Tuy nhiên, điện năng không phải là nguồn tài nguyên vô hạn. Theo xu hướng nhu cầu năng lượng điện toàn cầu đang tăng nhanh. Việt Nam cũng là một trong những quốc gia có nhu cầu sử dụng điện tăng nhanh do sự phát triển của nền kinh tế, dân số, đặc biệt là trong lĩnh vực công nghiệp và dịch vụ. Vì vậy, các doanh nghiệp công nghiệp cần đầu tư vào công nghệ tiết kiệm năng lượng và tối ưu hóa quá trình sản xuất để giảm chi phí và tiêu thụ điện năng. Bài báo tập trung vào phân tích, so sánh, đánh giá... lợi ích của việc áp dụng biến tần vào việc cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho các hệ thống truyền động điện tại các nhà máy công nghiệp. Việc lắp đặt điều khiển bằng biến tần sẽ làm tăng hiệu quả sử dụng năng lượng, tiết kiệm năng lượng điện tiêu thụ, cải thiện hệ số công suất và độ chính xác của quy trình, khởi động mềm và khả năng quá tốc đem lại lợi ích về kinh tế, kỹ thuật và an toàn.

Từ khóa: Tiết kiệm điện năng; Xi nghiệp công nghiệp; Biến tần; Hệ thống truyền động điện.

ABSTRACT

Electricity plays a very important role in the development of the economy. However, electricity is not an unlimited resource. According to the trend of global demand for electricity is increasing rapidly. Vietnam is also one of the countries with rapidly increasing demand for electricity due to economic and population development, especially in the industrial and service sectors. Therefore, industrial enterprises need to invest in energy-saving technology and optimize production processes to reduce costs and electricity consumption. The paper focuses on analyzing, comparing, evaluating... the benefits of applying frequency converters to improve performance and save energy for electric drive systems in industrial plants. The installation of inverter control will increase energy efficiency, save electricity consumption, improve power factors and process accuracy, soft start and overspeed capability, bringing economic, technical and safety benefits.

Keywords: Energy saving; Industrial enterprise; Inverter; Electric drive system.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm qua, nhiều phương pháp điều khiển cho hệ thống truyền động điện khác nhau đã được sử dụng nhằm tăng cường tính linh hoạt và tính nhất quán của quy trình sản xuất, như: điều khiển tốc độ của thiết bị, thay đổi tỷ số truyền động hoặc puli và sử dụng các bộ truyền động thủy lực. Trong nhiều trường hợp, hệ thống bơm, ép, quạt có dòng lưu lượng được điều chỉnh bằng van hoặc điều chỉnh góc lắp của cánh quạt trong khi tốc độ của chính động cơ truyền động là không đổi. Các phương pháp điều khiển thông thường, như: điều khiển động cơ bằng cách đóng và cắt ở hai cấp tốc độ là những cách không hiệu quả gây lãng phí một lượng lớn năng lượng. Một trong những lý do chính khiến bộ truyền động động cơ điện sử dụng biến tần trở nên phổ biến trong sử dụng là chúng có thể giúp tiết kiệm năng lượng trong vận hành bằng cách thay đổi tốc độ của động cơ điện của hệ thống truyền động và điều khiển công suất điện đưa vào máy. Hơn nữa, việc sử dụng bộ truyền động động cơ điện giúp giảm lượng khí thải carbon dioxide hàng triệu tấn mỗi năm [1].

Bộ điều khiển thay đổi tốc độ sử dụng biến tần là thiết bị điều chỉnh tốc độ và lực quay hoặc mô men xoắn đầu ra của thiết bị cơ khí. Hiện nay, các thiết bị truyền động cơ khí phổ biến được tích hợp công nghệ biến tần là máy bơm, quạt, máy nén và băng tải. Trong quá khứ, đã có nhiều loại thiết bị, phương tiện được sử dụng để điều khiển cần được cải tiến vì chúng hoạt động không hiệu quả; tuy nhiên, với sự phát triển nhanh của khoa học công nghệ hiện đại, các nhà sản xuất đang tích cực giới thiệu công nghệ mới, truyền động biến tần nhằm giảm tổn thất điện năng cho các hệ thống truyền động [2]. Điều khiển bằng biến tần làm tăng hiệu quả vận hành bằng cách cho phép động cơ hoạt động ở tốc độ lý tưởng cho mọi điều

kiện tải. Trong nhiều ứng dụng, điều khiển thay đổi tốc độ giúp giảm mức tiêu thụ điện năng của động cơ từ 30÷60%. Tiềm năng tiết kiệm năng lượng điện là rất lớn vì các hệ thống động cơ trong ngành công nghiệp sử dụng hơn 60% trong tổng số điện năng tiêu thụ [3]. Có hàng triệu động cơ được dùng trong các ngành công nghiệp trong nhiều ứng dụng khác nhau như các động cơ trong các hệ thống truyền động, máy bơm, băng tải, cáp treo, xưởng cưa và hệ thống thông gió... Biến tần có thể cải thiện hiệu quả quy trình, đặc biệt là khi liên quan đến kiểm soát dòng điện tải.

Hiện nay, bộ truyền động biến tần là bộ điều khiển tiết kiệm năng lượng hiệu quả nhất khi áp dụng cho máy móc cơ khí trong ngành công nghiệp. Bộ truyền động biến tần có giá cả phải chăng, tin cậy và linh hoạt trong vận hành, đồng thời tiết kiệm lượng lớn năng lượng điện, góp phần giảm đáng kể hóa đơn tiền điện.

Hầu như tất cả các quy trình vận hành của các máy móc công nghiệp đều cần điều chỉnh để hoạt động theo đúng chu trình công nghệ với hiệu suất tối ưu. Những điều chỉnh như vậy thường được thực hiện bằng bộ điều khiển thay đổi tốc độ. Chúng là một phần quan trọng của quá trình tự động hóa và giúp tối ưu hóa quy trình trong khi giảm chi phí đầu tư, mức tiêu thụ năng lượng, chi phí năng lượng và lượng khí thải nhà kính [1].

Thông thường, hầu hết các động cơ được thiết kế để hoạt động ở tốc độ không đổi và cung cấp công suất điện không đổi. Lợi ích của việc áp dụng bộ điều khiển thay đổi tốc độ là cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho các hệ thống truyền động điện tại các nhà máy công nghiệp [2]. Việc lắp đặt điều khiển thay đổi tốc độ làm tăng hiệu quả năng lượng, tiết kiệm năng lượng điện tiêu thụ, cải thiện hệ số công suất và độ chính xác của quy trình, khởi

động mềm và khả năng quá tốc. Chúng cũng loại bỏ cơ chế điều tiết và tổn thất ma sát liên quan đến công nghệ điều chỉnh tốc độ cơ học hoặc cơ điện và lãng phí năng lượng tổn kém. Những lợi ích khác của bộ truyền động thay đổi tốc độ mang lại bao gồm kéo dài tuổi thọ của thiết bị bằng cách điều chỉnh tốc độ động cơ để đáp ứng yêu cầu tải. Nhìn chung, tiết kiệm năng lượng góp phần tiết kiệm chi phí và giảm phát thải khí nhà kính ở một mức nhất định [1, 2].

2. ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ngày nay, trong sản xuất công nghiệp, công nghệ vận hành trong nhiều hệ thống truyền động sử dụng động cơ điện đòi hỏi nhiều cấp tốc độ chuyển động khác nhau. Trong khi đó, phương pháp điều khiển truyền thống sử dụng cho động cơ điện chủ yếu có hai trạng thái: dừng hoặc quay ở tốc độ cực đại. Trong hầu hết các chương trình điều khiển động cơ được thiết kế, động cơ được định cỡ để cung cấp công suất đầu ra cực đại cần thiết. Nếu tốc độ quay không đổi ở giá trị cực đại cho tải thiết kế cực đại, thì công suất đầu vào của động cơ vẫn không đổi ở giá trị cực đại. Tuy nhiên, nếu tải giảm, có thể tiết kiệm năng lượng đáng kể khi tốc độ quay của động cơ giảm xuống để phù hợp với yêu cầu tải [2, 4]. Trong vận hành thực tế, nhiều động cơ chỉ hoạt động ở tốc độ 100% trong thời gian ngắn, điều này thường dẫn đến nhiều hệ thống hoạt động kém hiệu quả trong thời gian dài. Do đó, có tổn thất năng lượng đáng kể trong thời gian vận hành. Để giảm tổn thất hệ thống, có thể thực hiện bằng cách lắp đặt hệ thống truyền động tốc độ thay đổi thông qua biến tần để phù hợp với tốc độ của động cơ tương ứng với tải. Truyền động tốc độ thay đổi đã trở nên rất phổ biến vì những ưu điểm của chúng so với các phương pháp điều khiển truyền thống. Bằng cách sử dụng truyền động thay đổi tốc độ, tốc độ của động cơ hoặc máy

phát điện có thể được kiểm soát và điều chỉnh ở bất kỳ tốc độ mong muốn nào. Bên cạnh việc điều chỉnh tốc độ của động cơ điện, điều khiển thay đổi tốc độ cũng có thể duy trì tốc độ động cơ điện ở mức không đổi khi tải thay đổi [2, 4, 5].

Có rất nhiều lý do khác nhau nhằm khuyến khích sử dụng điều khiển truyền động thay đổi tốc độ trong nền sản xuất công nghiệp. Nhìn chung, điều khiển thay đổi tốc độ được sử dụng để khớp tốc độ hoặc mô-men xoắn của bộ điều khiển với các yêu cầu của quy trình công nghệ sản xuất cũng như tiết kiệm năng lượng và cải thiện hiệu quả vận hành [2].

Bộ truyền động thay đổi tốc độ bằng cách thay đổi tần số là bộ điều khiển sử dụng các thiết bị điện tử công suất, vi xử lý hiện đại, giúp điều chỉnh tốc độ động cơ theo tốc độ yêu cầu của hệ thống truyền động điện [5]. Điện áp và tần số đầu ra được xác định bởi công suất đầu vào của động cơ. Hầu hết các động cơ đều có thể hưởng lợi từ biến tần nhờ được cung cấp các tần số đầu ra khác nhau, cho dù tốc độ của cơ cấu truyền động được người vận hành cài đặt thủ công hay tự động bởi hệ thống điều khiển.

Bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần là một lựa chọn thay thế hiệu quả và tiết kiệm nên được ưu tiên sử dụng cho tất cả các hệ thống truyền động điện cần thay đổi tốc độ. Bộ truyền động biến tần cho phép linh hoạt thay đổi tốc độ động cơ tùy thuộc vào điều kiện vận hành thực tế, thay vì hoạt động liên tục ở tốc độ tối đa. Tốc độ thay đổi cho phép nó phù hợp hơn với các yêu cầu tải thay đổi và vì công suất tiêu thụ tỷ lệ thuận với lập phương tốc độ của nó, nên việc giảm tốc độ có thể tiết kiệm rất nhiều năng lượng. Ví dụ, giảm tốc độ của quạt 20% có thể giảm nhu cầu năng lượng của quạt gần 50%. Việc lắp bộ truyền động biến tần thay đổi tốc độ trên động cơ quạt cho phép quạt

tự động thay đổi tốc độ phù hợp với công suất tải, giảm tốc độ để đáp ứng nhu cầu giảm công suất, do đó tiết kiệm năng lượng [2, 4].

Nhu cầu về kiểm soát tốc độ và mô-men xoắn là thực tế và cấp thiết. Các bộ truyền động điện tốc độ biến thiên hiện đại có thể được sử dụng để duy trì chính xác tốc độ của máy được truyền động trong phạm vi 0,1%, không phụ thuộc vào tải, so với khả năng điều chỉnh tốc độ có thể có với động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc cảm ứng tốc độ cố định thông thường, khi sử dụng biến tần tốc độ động cơ được điều chỉnh có thể thay đổi tới 3% từ không tải đến đầy tải.

Do có nhiều lợi thế, hầu hết biến tần có thể điều chỉnh ngay nay đều sử dụng điều chế độ rộng xung (PWM) để tạo ra điện áp, dòng điện và tần số đầu ra thay đổi.

3. CHI PHÍ LẮP ĐẶT BỘ ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ SỬ DỤNG BIẾN TẦN

Chi phí lắp đặt bộ biến tần điều khiển thay đổi tốc độ bằng biến đổi tần số là tương đối thấp. Chi phí dao động từ 5 triệu đồng cho động cơ 5kW và 300 triệu đồng cho động cơ có công suất trên 200kW. Chi phí tăng mạnh đối với các phiên bản có công suất lớn hơn. Giá biến tần mới nhất phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại biến tần, công suất, thương hiệu.

Bảng 1. Bảng so sánh giá bán các loại biến tần của các hãng công nghệ

Tên biến tần	Loại biến tần	Công suất	Giá (VNĐ)
Schneider Electric Altivar ATV326H7	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	12,000,000 – 35,000,000
Mitsubishi Electric M700	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	13,000,000 – 36,000,000
Fuji Electric G7S	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	12,000,000 – 35,000,000
ABB ACS880	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	13,000,000 – 36,000,000
Yaskawa GA800	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	14,000,000 – 66,000,000
Yaskawa L1000	Vector không cảm biến	1.5 – 315kW	24,000,000 – 500,000,000
Hyundai Elevator HYV-VT	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	11,000,000 – 34,000,000
Inovance IVS-H	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	10,000,000 – 33,000,000
Chint NTD	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	8,000,000 – 31,000,000
MacroTech MVT	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	9,000,000 – 22,000,000

Thời gian lắp đặt bộ truyền động biến tần mất 10÷70 giờ lao động, tùy thuộc vào quy mô và độ phức tạp của hệ thống; tuy nhiên, thời gian hoàn vốn dao động từ vài tháng đến dưới 3 năm đối với các mẫu dưới 180kW. Mỗi bộ truyền động biến tần có thể truyền động cho nhiều hơn một động cơ; do đó chi phí có thể được tính gộp chung lại. Ngoài ra, khoản tiết kiệm từ việc giảm chi phí cho công tác bảo trì và nâng cao tuổi thọ thiết bị góp phần đáng kể vào việc hoàn vốn nhanh chóng và tiết kiệm dài hạn. Do công nghệ hiện đại luôn phát triển, nhiều công ty sản xuất thiết bị điện đưa ra các ưu đãi tài chính để giảm chi phí lắp đặt bộ truyền động biến tần.

Chi phí dành cho một động cơ có thể điều chỉnh thay đổi tốc độ tùy thuộc vào các tính năng cụ thể và độ bền. Chi phí cho mỗi kW giảm đáng kể theo kích thước.

4. TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG THÔNG QUA ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ BẰNG THIẾT BỊ BIẾN TẦN

Sử dụng hệ thống điều khiển thay đổi tốc độ bằng biến tần là cách tốt nhất để giảm mức tiêu thụ năng lượng của động cơ điện. Mức tiêu thụ năng lượng của động cơ điện chiếm tới 75% tổng mức tiêu thụ năng lượng của nhà máy. Theo thống kê, khoảng hai phần ba động cơ vận hành trong công nghiệp được sử dụng làm quạt và máy bơm có tốc độ quay không đổi [3]. Một thay đổi nhỏ về tốc độ quay có thể tạo ra sự thay đổi đáng kể về mức tiêu thụ năng lượng [4]. Sử dụng hệ thống truyền động biến tần mang lại cơ hội tiết kiệm khoảng 15÷40% năng lượng và kéo dài tuổi thọ thiết bị bằng cách cho phép khởi động và dừng máy nhẹ nhàng [4].

Lượng năng lượng mà động cơ tiết kiệm được khi lắp đặt bộ truyền động biến tần có thể

được tính toán theo công thức thực nghiệm (1) hoặc (2) [6]:

$$\Delta W_{tk} = n \cdot P \cdot 0,746 \cdot T_{tbsd} \cdot k_{tlt} \quad (1)$$

$$\Delta W_{tk} = (1 - k_{tlt}^3) \cdot 100\% \quad (2)$$

Trong đó:

• k_{tlt} – Hệ số tỉ lệ phần trăm tiết kiệm năng lượng liên quan đến phần trăm nhất định của việc giảm tốc độ;

• T_{tbsd} – Số giờ sử dụng trung bình hàng năm;

• n – Số lượng động cơ;

• P – Công suất của động cơ, kW.

Chi phí tiết kiệm hàng năm do tiết kiệm được năng lượng điện có thể được tính bằng công thức [4]:

$$\Delta C_{tk} = \Delta W_{tk} \cdot c \text{ (đồng)} \quad (3)$$

Thời gian hoàn vốn là hàm của chi phí gia tăng khi đầu tư đưa hệ thống biến tần vào vận hành chia cho khoản tiết kiệm điện năng hàng năm khi sử dụng biến tần trong một năm cụ thể. Do đó, thời gian hoàn vốn có thể được biểu thị bằng toán học từ phương trình sau:

$$T_{thv} = \frac{V_{gt}}{\Delta C_{tk}} \text{ (năm)} \quad (4)$$

Trong đó: V_{gt} – Chi phí gia tăng khi đầu tư đưa hệ thống biến tần vào vận hành.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc thay thế các động cơ thông thường bằng các động cơ có thể điều chỉnh tốc độ trong các ứng dụng phù hợp sẽ tiết kiệm được 41% năng lượng được sử dụng tại các xí nghiệp công nghiệp. Mức tiêu thụ điện thực tế giảm nhiều hơn mức giảm tốc độ động cơ, do đó, khoản tiết kiệm có thể tích lũy nhanh chóng. Giảm 10% tốc độ động cơ sẽ dẫn đến giảm 27% mức tiêu thụ năng lượng điện [4].



5. KẾT LUẬN

Bộ truyền động thay đổi tốc độ sử dụng biến tần là phương tiện đáng tin cậy và tiết kiệm chi phí để kiểm soát tốc độ của động cơ điện. Việc lắp đặt bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần trên các hệ thống truyền động động cơ điện giúp cải thiện hiệu quả vận hành của hệ thống và tiết kiệm một lượng lớn năng lượng điện. Chúng ít đòi hỏi phải bảo trì, cung cấp khả năng kiểm soát hiệu quả năng lượng nhất, có dòng điện khởi động thấp nhất so với bất kỳ loại thiết bị khởi động nào, giảm ứng suất nhiệt và cơ học trên động cơ và dây đai. Ngoài ra, chúng bảo vệ động cơ trong khi vẫn duy trì quá trình hoạt động, giảm hỏng bơm do hiện tượng rỗ bơm và giảm bảo trì đường ống và van. Áp dụng bộ truyền động tốc độ thay đổi cho hệ thống điện xoay chiều cao áp và khí nén mang lại cơ hội tuyệt vời về giảm mức năng lượng tiêu thụ. Bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần là một tùy chọn để phù hợp với tải yêu cầu, do đó tiết kiệm năng lượng và cải thiện chi phí kinh tế của động cơ. ❖

Ngày nhận bài: 10/11/2025

Ngày phản biện: 20/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. <https://tietkiemnangluong.com.vn/tin-tuc/dien-hinh/t21480/tiet-kiem-dien-giam-phat-thai-khi-co2>
- [2]. <https://tietkiemnangluong.com.vn/tin-tuc/pho-bien-kien-thuc/t6261/su-dung-bien-tan--giai-phap-giam-ton-that-dien-nang-trong-san-xuat-nong-nghiep>
- [3]. <https://enertechvn.com/detail/tieu-chuan-tiet-kiem-nang-luong-cho-dong-co-dien-269.html>
- [4]. Phạm Trung Sơn, Nguyễn Đình Tiến, “Điều khiển bằng bộ biến tần cho các hệ thống truyền động nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng và tối ưu hóa các dây chuyền công nghệ trong các mỏ than hầm lò”. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, Số 1 (02-2025).
- [5]. Thân Ngọc Hoàn, Nguyễn Tiến Ban, Trương Mỹ, Nguyễn Hoàng Hải, “Giáo trình hệ thống tự động điều khiển truyền động điện”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2022.
- [6]. R. Saidur, S. Mekhilef, “Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries”. Energy 87 (2010) 2746-2758.

LILAMA 10 – Hơn 40 năm khẳng định vai trò chủ lực trên các công trình năng lượng quốc gia

Hơn bốn thập kỷ đồng hành cùng ngành năng lượng quốc gia, Công ty Cổ phần LILAMA 10 đã khẳng định vị thế là một trong những lực lượng nòng cốt của ngành cơ khí – lắp máy Việt Nam. Dấu chân của những “người lính áo xanh” LILAMA 10 in đậm trên hầu hết các công trình thủy điện trọng điểm quốc gia, từ công trình thế kỷ Hòa Bình đến Sơn La, Lai Châu, Ialy mở rộng và hàng loạt dự án năng lượng quy mô lớn trong nước, quốc tế. Đó không chỉ là hành trình lao động bền bỉ, mà còn là khát vọng trường tồn cùng dòng chảy phát triển của đất nước.

Dấu ấn khởi nguồn từ công trình thế kỷ

Năm 1983, Xí nghiệp Liên hợp Lắp máy số 10 – tiền thân của Công ty Cổ phần LILAMA 10 – được thành lập với một sứ mệnh đặc biệt: thi công lắp đặt toàn bộ 8 tổ máy của Nhà máy Thủy điện Hòa Bình. Đây là công trình thủy điện lớn nhất Việt Nam và Đông Nam Á thời điểm đó, có công suất lắp máy 1.920 MW, sản lượng điện bình quân hằng năm 8,6 tỷ kWh.

Trên dòng sông Đà dữ dội, hàng vạn kỹ sư, công nhân đã làm việc liên tục ba ca bốn kíp, đối mặt với muôn vàn khó khăn về điều kiện thi công, kỹ thuật và an toàn. Ngày 31/12/1988, tổ máy đầu tiên phát điện, mở ra một thời khắc lịch sử. Đến cuối năm 1994, Nhà máy Thủy điện Hòa Bình hoàn thành, trở thành biểu tượng của trí tuệ, bản lĩnh và tinh thần cống hiến vì “dòng điện ngày mai của Tổ quốc”. Trong thành công ấy, LILAMA 10 đã đặt những viên gạch nền móng đầu tiên cho hành trình phát triển bền bỉ suốt hơn 40 năm.

Khúc tráng ca trên những công trình năng lượng quốc gia

Từ Hòa Bình, LILAMA 10 tiếp tục hiện diện và giữ vai trò chủ lực tại hàng loạt dự án thủy điện lớn: Vĩnh Sơn, Yaly, Sê San, Huội Quảng, Bản Chát, Sơn La, Lai Châu... Ở mỗi công trình, đội ngũ kỹ sư, công nhân của LILAMA 10 đều để lại dấu ấn bằng chất lượng, tiến độ và tinh thần trách nhiệm cao nhất.

Tại Nhà máy Thủy điện Sơn La – công trình thủy điện lớn nhất Đông Nam Á với công suất 2.400 MW – LILAMA 10 đã hoàn thành lắp đặt cả 6 tổ máy sớm hơn ba năm so với Nghị quyết của Quốc hội. Đây là minh chứng rõ nét cho năng lực vượt trội, bản lĩnh thi công và khả năng làm chủ các dự án thủy điện quy mô đặc biệt lớn của doanh nghiệp cơ khí – lắp máy Việt Nam.

Tiếp đó, tại Dự án Thủy điện Lai Châu (3 tổ máy, tổng công suất 1.200 MW), LILAMA 10 đảm nhiệm các gói thầu gia công chế tạo kết cấu thép, lắp đặt thiết bị cơ khí, thiết bị điện và điều khiển tự động. Đây là công trình thủy điện lớn cuối cùng trên dòng chính sông Đà, đồng thời là dự án đa mục tiêu mang tầm quốc gia, được các kỹ sư Việt Nam tự chủ từ quy hoạch, thiết kế đến thi công và vận hành.

Khẳng định bản lĩnh tại Hòa Bình mở rộng

Năm 2025, LILAMA 10 tiếp tục khẳng định vai trò chủ lực tại Dự án Nhà máy Thủy điện Hòa Bình mở rộng – công trình trọng điểm quốc gia với quy mô 2 tổ máy, tổng công suất 480 MW. Doanh nghiệp được giao thực hiện nhiều hạng mục kỹ thuật then chốt như lắp đặt kết cấu thép, tuabin – máy phát, hạ đặt rotor, runner và các tổ hợp cơ khí quan trọng.



Trong điều kiện địa chất phức tạp, thiết bị siêu trường siêu trọng và yêu cầu an toàn tuyệt đối, LILAMA 10 đã thể hiện bản lĩnh của đơn vị thi công cơ khí hàng đầu. Sáng 19/8/2025, Tổ máy số 1 chính thức hòa lưới điện quốc gia sớm hơn kế hoạch hơn một tháng – một cột mốc mang ý nghĩa chiến lược trong bối cảnh an ninh năng lượng đang là vấn đề cấp thiết.

Tiếp đó, ngày 7/10/2025, LILAMA 10 hoàn thành lắp đặt rotor Tổ máy số 2, với trọng lượng hơn 600 tấn, mở đường cho giai đoạn chạy thử và vận hành trong tháng 12/2025. Những mốc kỹ thuật quan trọng này tiếp tục khẳng định năng lực làm chủ công nghệ và tổ chức thi công của doanh nghiệp Việt Nam.



LILAMA 10 tiếp tục khẳng định vai trò chủ lực tại Dự án Nhà máy Thủy điện Hòa Bình mở rộng – công trình trọng điểm quốc gia.

Chinh phục công nghệ mới trong các dự án năng lượng hiện đại

Tại Dự án Thủy điện Ialy mở rộng (360 MW), LILAMA 10 đảm nhiệm vai trò nhà thầu thi công chính, hoàn thành xuất sắc các hạng mục lắp đặt thiết bị cơ khí – thủy lực, kết cấu thép và tích hợp công nghệ hiện đại. Đặc biệt, phương án tổ hợp đồng thời rotor cho cả hai tổ máy đã giúp dự án phát điện sớm hơn 18 ngày, rút ngắn tiến độ khoảng ba tháng so với thông lệ.

Không dừng lại ở thị trường trong nước, LILAMA 10 còn ghi dấu ấn tại nhiều công trình

quốc tế như Nậm Theun 1 (Lào), Sendje (Guinea Xích đạo), Snowy 2.0 (Úc), dự án hydrogen xanh tại Đức... Sự hiện diện này cho thấy năng lực hội nhập, làm chủ công nghệ và vị thế ngày càng nâng cao của cơ khí – lắp máy Việt Nam trên trường quốc tế.

Bên cạnh thủy điện, LILAMA 10 đang khẳng định năng lực tại các dự án năng lượng hiện đại, tiêu biểu là Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và 4 – dự án điện khí LNG tiên phong tại Việt Nam với tổng công suất 1.500 MW, vốn đầu tư 1,4 tỷ USD. Việc ứng dụng công nghệ đơn trục tiên tiến hàng đầu thế giới đặt ra yêu cầu rất cao về trình độ kỹ thuật và tổ chức thi công.

Ngày 5/2/2025, Nhà máy Nhơn Trạch 3 hòa lưới điện quốc gia, đánh dấu bước tiến quan trọng của ngành điện khí Việt Nam và khẳng định uy tín, thương hiệu LILAMA 10. Song song đó, doanh nghiệp cũng là nhà thầu chủ lực tại Dự án Nhiệt điện Quảng Trạch 1 (1.403 MW), góp phần bảo đảm tiến độ cung cấp nguồn điện quan trọng cho hệ thống quốc gia.

Nội lực bền vững và khát vọng tương lai

Không chỉ thi công, LILAMA 10 chú trọng đầu tư chiều sâu vào năng lực chế tạo. Nhà máy kết cấu thép tại Hải Dương với công suất 12.000 tấn/năm, dự kiến nâng lên 15.000 tấn/năm, được trang bị dây chuyền hiện đại, đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của thị trường trong nước và quốc tế.

Đằng sau những công trình vĩ đại là lớp lớp cán bộ, kỹ sư, công nhân tận tụy, sáng tạo, nối dài truyền thống “Đoàn kết – Sáng tạo – Bản lĩnh – Khát vọng”. Với phương châm “An toàn – Chất lượng – Tiến độ”, LILAMA 10 đang hướng tới giai đoạn phát triển mới, tiếp tục giữ vững vị thế dẫn đầu trong lĩnh vực lắp máy – chế tạo và mở rộng thương hiệu trên trường quốc tế. ❖

PV