

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Đặt vấn đề.

5. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.

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

7. Kết luận.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Điện thoại:** (024) 37 920 650 - 0904 177 637 / 0982 254 665

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

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

**TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM**, Số 307, tháng 9 năm 2023  
cokhivietnam.vn / tapchicokhi.com.vn

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

**HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP**

TS. **ĐỖ HỮU HẢO** (Chủ tịch)  
GS, TSKH. **BÀNH TIẾN LONG** (P. Chủ tịch)  
KS. **TẠ QUANG MAI** (P. Chủ tịch)  
TSKH. **PHAN XUÂN DŨNG**  
PGS, TS. **HÀ MINH HÙNG**  
PGS, TS. **TRƯƠNG VIỆT ANH**  
GS, TS. **ĐINH VĂN CHIẾN**  
GS, TSKH. **PHẠM VĂN LANG**  
TS. **LƯƠNG VĂN TIẾN**  
GS, TS. **CHU VĂN ĐẠT**  
PGS, TS. **TRẦN VĂN HƯNG**  
PGS, TS. **ĐÀO QUANG KẾ**  
PGS, TS. **NGUYỄN VĂN BÀ Y**  
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**  
PGS, 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 SON**  
TS. **HỒ TRẦN ANH NGỌC**

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

\*Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

- In tại Công ty Cổ phần In Khoa học Công nghệ Hà Nội
- Khuôn khổ 20,5cm x 28,5cm
- 48 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 50.000 đồng/quyển Tạp chí

**TẠP CHÍ**



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

# CƠ KHÍ

## VIỆT NAM

VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM

• <http://cokhivietnam.vn> / [tapchicokhi.com.vn](http://tapchicokhi.com.vn)



- ❖ Xây dựng mô hình toán pade trong điều khiển tối ưu nung thép tấm
- ❖ Năng lượng phát hỏa của súng 7,62MM SBT-M2
- ❖ Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt khi phay ướt hợp kim nhôm AA7075

Số 307, tháng 9 năm 2023

Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 20 tháng 9 năm 2023

### TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

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

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

**Email:** [tckcvietnam@gmail.com](mailto:tckcvietnam@gmail.com)

**Website:** [cokhivietnam.vn](http://cokhivietnam.vn) / [tapchicokhi.com.vn](http://tapchicokhi.com.vn)

\*\*\*

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

### Văn phòng đại diện:

**1. Tại TP. Hồ Chí Minh:**

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

**2. Tại tỉnh Quảng Ninh:**

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

**3. Tại Thái Nguyên:**

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

- PGS, TS. **Nguyễn Hữu Lộc**

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

### Phóng viên thường trú:

**1. Tại Hải Phòng:**

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

**NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (5 – 44)**

1. <b>Nguyễn Thị Bích, Dương Ngọc Lan:</b> Xây dựng mô hình toán Pade trong điều khiển tối ưu nung thép tấm.....	5
2. ThS. <b>Vũ Đức Dũng</b> , ThS. <b>Phạm Đức Khôi</b> , KS. <b>Đoàn Văn Sang:</b> Năng lượng phát hỏa của súng 7,62MM SBT-M2.....	10
3. <b>Lê Như Trang:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt khi phay ướt hợp kim nhôm AA7075.....	14
4. <b>Đỗ Văn Trấn, Bùi Ánh Hưng:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước kênh dẫn khí đến đặc tính và hoạt động của pin nhiên liệu kiểu màng trao đổi.....	22
5. <b>Nguyễn Tùng Lâm, Bùi Ánh Hưng:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của tăng áp đến đặc tính cháy của động cơ cháy bằng nén với nhiên liệu xăng – Bio-ethanol E20.....	27
6. <b>Lê Như Trang:</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt khi phay cao tốc thép P20 trên máy phay CNC SK-V85.....	33
7. <b>Đào Văn Đoàn:</b> Xây dựng mô hình thuật phóng bắn đinh leo tường.....	41

**DANH SÁCH**  
**NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẦN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO**  
**KHOA HỌC ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI**  
**TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 307, THÁNG 9 NĂM 2023**

<b>TT</b>	<b>HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN</b>	<b>ĐƠN VỊ CÔNG TÁC</b>
1	<b>TS. Vũ Trung Tuyển</b>	Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương
2	<b>TS. Nguyễn Duy Phồn</b>	Học viện Kỹ thuật Quân sự
3	<b>TS. Nguyễn Văn Mùi</b>	Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp
4	<b>TS. Trương Minh Đức</b>	
5	<b>TS. Nguyễn Tường Vi</b>	
6	<b>TS. Hoàng Minh Thuận</b>	Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng

# XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN PADE TRONG ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU NUNG THÉP TẤM

BUILDING A PADE MATH MODEL IN OPTIMIZED CONTROL OF STEEL PLATE FILTERING

Nguyễn Thị Bích, Dương Ngọc Lan\*

Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Bà Rịa – Vũng Tàu

## TÓM TẮT

Các tác giả nghiên cứu mô hình xấp xỉ Pade để giải bài toán điều khiển tối ưu quá trình nung thép tấm cho hệ thống truyền nhiệt trong lò gia nhiệt để phiê có nhiệt độ chính xác nhất. Nói cách khác phải tìm một tín hiệu điều khiển tối ưu sao cho khoảng thời gian  $T$  cho trước sai số phân bố trường nhiệt độ vật nung với phân bố nhiệt độ yêu cầu nhỏ nhất.

**Từ khoá:** Nung thép tấm; Mô hình toán Pade; Điều khiển tối ưu; Phương pháp xấp xỉ; Tối ưu nung thép tấm.

## ABSTRACT

The authors research the Pade approximation model to solve the problem of optimal control of the steel plate heating process for the heat transfer system in the multi-heating furnace so that the workpiece has the most accurate temperature. In other words, we must find an optimal control signal so that the given time interval  $T$  gives the smallest error in the distribution of the temperature field of the heated object with the required temperature distribution.

**Keywords:** Steel plate heating; Pade mathematical model; Optimal control; Approximation method; Optimal steel plate heating.

## 1. MÔ HÌNH TOÁN PADE


Giả sử cho hàm  $f(x)$  khai triển dưới dạng chuỗi lũy thừa:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots \quad (1)$$

Ta chuyển về dạng khai triển Pade như sau [1].

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots = \frac{P_m(x)}{Q_n(x)} = \frac{p_mx^m + p_{m-1}x^{m-1} + \dots + p_1x + p_0}{q_nx^n + p_{n-1}x^{n-1} + \dots + q_1x + 1} \quad (2)$$

Việc xấp xỉ Pade phải thỏa mãn sao cho nếu phân tích về phải của (2) theo chuỗi Taylor tại lân cận điểm không thì  $m+n$  phần tử đầu tiên của nó phải trùng với  $m+n$  phần tử về trái:  $a_0, a_1, \dots, [1]$ .

Để việc xấp xỉ Pade đạt độ chính xác cao, thường chọn  $m = n$  hoặc  $m = n+1$  [2]. Sau khi phân tích như (2), ta cần xác định  $(m+n+1)$  ẩn số:  $p_0, p_1, \dots, p_m; q_0, q_1, \dots, q_n$ . Từ phương trình (2), ta đưa ra hệ phương trình để tìm các ẩn số trên như sau: 

$$\begin{cases} a_0 - p_0 = 0 \\ q_1 a_0 + a_1 - p_1 = 0 \\ q_2 a_0 + q_1 a_1 + a_2 - p_2 = 0 \\ q_3 a_0 + q_2 a_1 + q_1 a_2 + a_3 - p_3 = 0 \\ \dots \\ q_n a_{m-n} + q_{n-1} a_{m-n+1} + \dots + a_m - q_n = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} q_n a_{m-n+1} + q_{n-1} a_{m-n+2} + \dots + q_1 a_m + a_{m+1} = 0 \\ q_n a_{m-n+2} + q_{n-1} a_{m-n+3} + \dots + q_1 a_{m+1} + a_{m+2} = 0 \\ \dots \\ q_n a_m + q_{n-1} a_{m+1} + \dots + q_1 a_{m+n-1} + a_{m+n} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Sau khi giải hệ (4), ta được:  $q_0, q_1, \dots, q_n$ , sau đó thay vào hệ (3), ta tìm được  $p_0, p_1, \dots, p_m$ . Một đối tượng có thể dạng  $e^{-\rho s}$  được khai triển thành chuỗi lũy thừa:

$$e^{-\rho s} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-\rho s)^k}{k!} \quad (5)$$

Như vậy so với vế trái của (2), ta có:

$$a_0 = 1; a_1 = -\rho; a_2 = \frac{\rho^2}{2}; \dots a_k = \frac{(-\rho)^k}{k!} \quad (6)$$

Thay các hệ số  $a_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) từ (5) và (6) vào hệ phương trình (3) và (4). Giải các hệ phương trình đó, ta được kết quả của khai triển Pade đối với khâu trễ, trong trường hợp chọn  $m = n$  như sau:

$$e^{-\rho s} = \frac{\sum_{k=0}^n H(k)(-\rho s)^k}{\sum_{k=0}^n H(k)(\rho s)^k} \quad (7)$$

Trong đó:

$$H(k+1) = \frac{n-k}{(2n-k)(k+1)} H(k) \quad (8)$$

Với:  $H(0) = 1$ ;  $n$  là số bậc cần thay thế.

- Với  $n = 1$ , ta có xấp xỉ Pade bậc 1:

$$e^{-\rho s} \approx \frac{1 - \frac{\rho s}{2}}{1 + \frac{\rho s}{2}} \quad (9)$$

- Với  $n = 2$ , ta có xấp xỉ Pade bậc 2:

$$e^{-\rho s} \approx \frac{1 - \frac{\rho s}{2} + \frac{\rho^2 s^2}{12}}{1 + \frac{\rho s}{2} + \frac{\rho^2 s^2}{12}} \quad (10)$$

- Với  $n = 3, 4, \dots$ , ta có xấp xỉ Pade với bậc cao hơn.

Xét một đối tượng động học có trễ:

$$\gamma \frac{du(t)}{dt} + u(t) = kw(t - \rho) \quad (11)$$

Với  $\gamma$  là hằng số thời gian,  $\rho$  là thời gian trễ của đối tượng,  $k$  là hệ số khuếch đại.

Chúng tôi đã tiến hành khảo sát bằng mô phỏng nhờ Matlab Simulink cho các dạng xấp xỉ này. Trong quá trình mô phỏng, ta thay đổi tỷ số  $\gamma/\rho$  bằng cách giữ  $\gamma$  cố định và cho  $\rho$  thay đổi, cuối cùng rút ra được các kết luận sau:

- Nếu  $\gamma/\rho \geq 10$  nên dùng khai triển theo chuỗi lũy thừa.

- Nếu  $6 \leq \gamma/\rho < 10$  nên dùng khai triển Pade với  $n = 1$ .

- Nếu  $2 \leq \gamma/\rho < 6$  nên dùng khai triển Pade với  $n = 2$ .



**2. TÌM QUAN HỆ GIỮA Q(X,T) VÀ TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN W(T)**

Ta áp dụng phép biến đổi Laplace với tham số thời gian t. Khi áp dụng phép biến đổi Laplace với tham số thời gian t thì phương trình vi phân đạo hàm riêng đã được đưa về phương trình vi phân thường đối với biến x. Biến đổi Laplace, ta được:

$$a \frac{\partial^2 Q(x, s)}{\partial x^2} = sQ(x, s) \quad (12)$$

Trong đó:  $Q(x, s) = L^{-1} \{q(x, t)\}$ .

Sau khi biến đổi các điều kiện đầu và điều kiện biên, ta được:

$$\lambda \frac{\partial Q(x, s)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha [Q(0, s) - U(s)] \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q(x, s)}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = 0 \quad (14)$$

Từ phương trình (14), giả sử đối tượng có trễ thỏa mãn điều kiện:  $6 \leq \gamma/\rho < 10$ .

Để giải bài toán này, tác giả [4] đã xấp xỉ đối tượng có trễ bằng một khâu quán tính bậc nhất theo xấp xỉ Taylor. Bài báo này đưa ra một phương pháp xấp xỉ với độ chính xác cao hơn. Cụ thể, coi khâu quán tính bậc nhất có trễ được thay thế gần đúng bằng khâu xấp xỉ Pade bậc 1, biến đổi Laplace phương trình (14), ta được:

$$(\gamma s + 1)U(s) = kW(s).e^{-\rho s} \approx k.W(s).\frac{1 - \frac{\rho}{2}s}{1 + \frac{\rho}{2}s} \quad (15)$$

Trong đó:

$$U(s) = L^{-1} \{u(t)\}; \quad W(s) = L^{-1} \{w(t)\}$$

Sau khi biến đổi, ta được hàm:

$$Q(x, s) = \frac{W(s).k.\left(1 - \frac{\rho s}{2}\right).ch\left((\delta - x)\sqrt{\frac{s}{a}}\right)}{(\gamma s + 1).\left(1 + \frac{\rho s}{2}\right).\left[\lambda \frac{\sqrt{s}}{\alpha} .sh\left(\sqrt{\frac{s}{a}}.\delta\right) + ch\left(\sqrt{\frac{s}{a}}.\delta\right)\right]} \quad (16)$$

Đặt:

$$G(x, s) = \frac{k\left(1 - \frac{\rho s}{2}\right).ch\left((\delta - x)\sqrt{\frac{s}{a}}\right)}{(\gamma s + 1).\left(1 + \frac{\rho s}{2}\right).\left[\lambda \frac{\sqrt{s}}{\alpha} .sh\left(\sqrt{\frac{s}{a}}.\delta\right) + ch\left(\sqrt{\frac{s}{a}}.\delta\right)\right]} \quad (17)$$

Ta được:  $Q(x, s) = G(x, s).W(s)$  (18)

Từ (17), (18) theo lý thuyết về tích chập, ta có:

$$q(x, t) = g(x, t) * w(t) \quad (19)$$

Ta có thể viết:


$$q(x, t) = \int_0^t g(x, \tau)w(t - \tau)d\tau \quad (22)$$

Hoặc:

$$q(x, t) = \int_0^t g(x, t - \tau)w(\tau)d\tau \quad (23)$$

Trong đó:

$$g(x, t) = L^{-1} \{G(x, s)\}. \quad (24)$$

Vi vậy, nếu biết được hàm g(x,t), ta sẽ tính được phân bố nhiệt q(x,t) từ hàm điều khiển w(t). Muốn tìm được q(x,t) trong biểu thức (23), ta cần tìm hàm (24). Dùng phép biến đổi ngược hàm G(x,s), ta có kết quả: 

$$g(x,t) = \frac{k k_0^2 (2 + \rho k_0^2) \text{Cox} \left( k_0 \frac{\delta - x}{\sqrt{a}} \right)}{(2 - \rho k_0^2) \left[ \text{Cox} \left( k_0 \frac{\delta}{\sqrt{a}} \right) - \frac{\lambda k_0}{\alpha \sqrt{a}} \text{Sri} \left( k_0 \frac{\delta}{\sqrt{a}} \right) \right]} e^{-k_0^2 t} + \frac{2 k k_0^2 \text{Cox} \left( k_0 \frac{\delta - x}{\sqrt{a}} \right)}{(1 - \gamma k_0^2) \left[ \text{Cox} \left( k_0 \frac{\delta}{\sqrt{a}} \right) - \frac{\lambda k_0}{\alpha \sqrt{a}} \text{Sri} \left( k_0 \frac{\delta}{\sqrt{a}} \right) \right]} e^{-k_0^2 t} + \sum_{i=2}^{\infty} \frac{k \alpha (2 + \rho \beta_i^2) \text{Cox} \left( \beta_i \frac{\delta - x}{\sqrt{a}} \right)}{\lambda (1 - \gamma \beta_i^2) (1 - \frac{\rho}{2} \beta_i^2) \left[ \frac{(\lambda + \alpha \beta_i^2)}{\lambda \beta_i \sqrt{a}} \text{Sri} \left( \frac{\beta_i \delta}{\sqrt{a}} \right) + \frac{\delta}{a} \text{Cox} \left( \frac{\beta_i \delta}{\sqrt{a}} \right) \right]} e^{-\beta_i^2 t} \quad (25)$$

Trong đó:  $\beta_i$  được tính từ công thức:

$$\beta_i = \frac{\xi_i \sqrt{a}}{\delta} \quad (26)$$

•  $\xi_i$  là nghiệm của phương trình siêu việt:

$$\xi_i \cdot \text{tg} \xi_i = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} = B_i \quad (27)$$

•  $B_i$  là hệ số BIO của vật liệu

$$k_0 = 1 / \sqrt{\gamma}; k_1 = \sqrt{2} / \sqrt{\rho} \quad (28)$$

Trong biểu thức (25):

- $\alpha$  là hệ số truyền nhiệt từ không gian lò vào vật (w/m<sup>2</sup>.độ).
- $\lambda$  là hệ số dẫn nhiệt của vật (w/m.độ);  $\delta$  là bề dày tấm (m).
- $a$  là hệ số dẫn nhiệt độ (m<sup>2</sup>/s);  $\rho$  là thời gian trễ của lò (s).
- $\gamma$  là hằng số thời gian của lò (s);  $k$  là hệ số truyền tĩnh của lò.

### 3. MÔ PHỎNG VỚI PHÔI THÉP TẮM

Các thông số vật lý của đối tượng: Hệ số truyền nhiệt:  $\alpha = 335$  (w/m<sup>2</sup> độ); Hệ số dẫn nhiệt:  $\lambda = 55.8$  (w/m độ); Hệ số dẫn nhiệt độ:  $a = 1.03 \times 10^{-5}$  (m<sup>2</sup>/s); Bề dày tấm:  $\delta = 0.2$  (m);

Các thông số của lò nhiệt: Hằng số thời gian:  $\gamma = 1300$  (s); Thời gian trễ:  $\rho = 140$  (s); Hệ số truyền tĩnh:  $k = 6$ ; Phân bố nhiệt độ yêu cầu  $q^*(x) = 1000^\circ\text{C}$ ; Thời gian nung cho phép:  $T = 7200$  (s); Giới hạn nhiệt độ lò:  $u(t) \leq 2500^\circ\text{C}$ ;

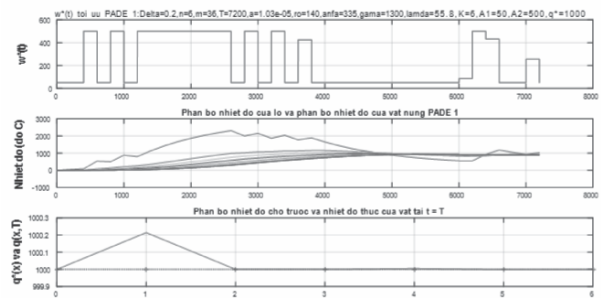
Giới hạn bề mặt phơi nung:  $q(0,t) \leq 1200^\circ\text{C}$ .

Hệ số BIO của phơi nung là:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} = \frac{335 \cdot 0,2}{55.8} \approx 1,2 \quad (29)$$

Đây chính là vật dày vì có hệ số  $Bi > 0,5$ . Có  $6 \leq \gamma/\rho < 10$ .

Để tính toán chế độ nung tối ưu, ta chọn số lớp không gian là  $n = 6$ , số khoảng thời gian  $m = 36$ . Sau khi chạy chương trình, ta được kết quả như hình 1.



Hình 1. Chế độ nung tối ưu với phơi thép tấm

Trong hình 1,  $w^*(t)$  là tín hiệu điều khiển tối ưu (công suất tối ưu);  $u(t)$  là nhiệt độ lò;  $q(x,t)$  là trường nhiệt độ trong phơi nung (trong đó đồ thị biểu diễn nhiệt độ của bề mặt phơi, nhiệt độ các lớp bên trong của phơi và nhiệt độ lớp dưới cùng).

Từ hình 1 cho thấy, tại thời điểm  $t = T$ , phân bố nhiệt độ các lớp trong phơi nung  $q(x,T)$  đều xấp xỉ  $1000^\circ\text{C}$ . Sai lệch lớn nhất so với nhiệt độ đặt khoảng  $0.2^\circ\text{C}$ , như vậy lời giải tối ưu đã được kiểm chứng.

### 4. KẾT LUẬN

Đã đưa ra một phương pháp xấp xỉ với độ chính xác cao hơn, cụ thể đã thay thế một



đối tượng có trễ bằng mô hình xấp xỉ Pade.

Đã tìm được quan hệ giữa công suất cung cấp cho lò  $w(t)$  và sự phân bố trường nhiệt độ trong vật nung  $q(x,t)$ .

Đưa ra lời giải tối ưu cho đối tượng có tham số phân bố, có trễ bằng phương pháp số. ❖

Ngày nhận bài: **25/8/2023**

Ngày phản biện: **11/9/2023**

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. E. Celik and M. Bayram, *On the numerical solution of differential algebraic equation by Pade series*, Applied mathematics and computation, 137, pp. 151-160, 2003.
- [2]. J. H. Mathews and K. K. Fink, *Numerical Methods Using Matlab, 4<sup>th</sup> Edition*, Upper saddle River, New Jersey, 2004.
- [3]. Y. Sakawa, *Solution of an optimal control problem in a distributed parameter system*, Trans. IEEE, 1964, AC-9, pp. 420-426.
- [4]. N.H.Cong, N.H.Nam, *Optimal control for a distributed parameter system with time delay based on the numerical method*, 10<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, IEEE Conference, pp.1612-1615, 2008.

## NĂNG LƯỢNG PHÁT HỎA CỦA SÚNG 7,62MM SBT-M2

ENERGY OF FIRING MECHANISM OF 7,62MM SBT-M2 GUN

ThS. Vũ Đức Dũng<sup>1</sup>, ThS. Phạm Đức Khôi<sup>1</sup>, KS. Đoàn Văn Sang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

<sup>2</sup>Học viên Hệ 2, Học viện Kỹ thuật Quân sự

### TÓM TẮT

Súng 7,62mm SBT-M2 được nghiên cứu trên cơ sở mẫu S-5000. Trong đó, cơ cấu phát hỏa của súng là kiểu búa chuyển động thẳng có kim hỏa gắn liền với búa và sử dụng năng lượng nén của lò xo kim hỏa để phát hỏa hạt lửa. Bài báo trình bày nguyên lý hoạt động và tính toán năng lượng phát hỏa cơ cấu phát hỏa của súng SBT-M2, đây là bài toán rất quan trọng trong thiết kế cơ cấu của súng giúp súng hoạt động tin cậy trong quá trình sử dụng.

**Từ khóa:** Súng 7,62mm SBT-M2; Cơ cấu phát hỏa SBT-M2.

### ABSTRACT

The 7.62 mm SBT-M2 gun is designed based on the S-5000 model. The gun's firing mechanism is a straight-action hammer with a firing pin attached to the hammer. The compression energy of the firing pin spring is employed to ignite the bullet's primer. This paper presents the operating principle and investigates the firing energy of the SBT-M2 gun firing mechanism. This is an important problem in designing the gun's structure to ensure the reliability of gun's operation.

**Keywords:** 7.62mm SBT-M2 gun; SBT-M2 firing mechanism.

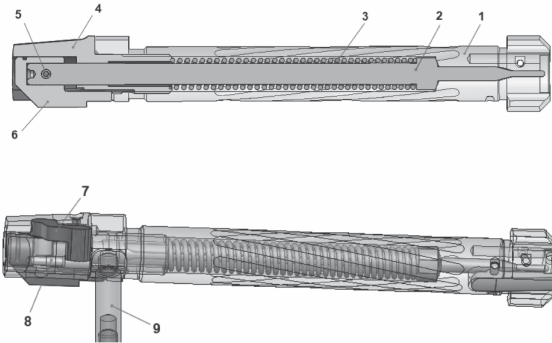
### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Súng 7,62mm SBT-M2 được nghiên cứu trên cơ sở mẫu S-5000, là loại súng bắn phát một sử dụng đạn 7,62x51mm, dùng để trang bị cho cá nhân để tiêu diệt sinh lực địch ngoài tầm quan sát. Đây là loại súng bắn tia hiện đại, có độ chính xác cao, được đánh giá là một trong những súng bắn tia tốt nhất trên thế giới. Súng sử dụng cơ cấu phát hỏa dạng búa chuyển động thẳng có kim hỏa gắn liền với búa, kim hỏa được giữ lại ở phía sau bằng lẫy

cơ cấu cò và nén lò xo kim hỏa, khi giải phóng kim hỏa lao lên đập vào hạt lửa và phát hỏa. Để súng hoạt động tin cậy, yêu cầu trong thiết kế chúng ta cần tính toán năng lượng phát hỏa của súng đảm bảo cho cơ cấu súng phát hỏa tin cậy 100%.

### 2. KẾT CẤU CƠ CẤU PHÁT HỎA

Cơ cấu phát hỏa của súng 7,62mm SBT-M2 gồm các chi tiết được minh họa trên hình 1:

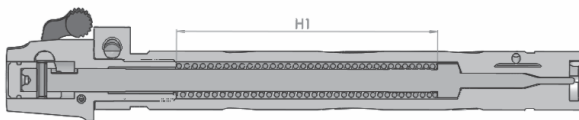


Hình 1. Các chi tiết cơ cấu phát hỏa

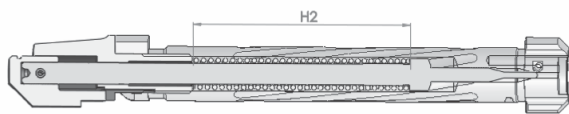
1. Thân khóa nòng; 2. Kim hỏa; 3. Lò xo kim hỏa;
4. Đuôi khóa nòng;
5. Chốt đuôi kim hỏa; 6. Đuôi kim hỏa; 7. Lẫy an toàn;
8. Trục lẫy an toàn; 9. Tay đóng mở.

Ở trạng thái bình thường, kim hỏa ở vị trí trên cùng lò xo kim hỏa được nén một khoảng ban đầu  $H_1$ , một đầu tỳ vào đuôi khóa nòng (4), một đầu ép vào vai bậc trên kim hỏa (2).

Khi lắp đạn xoay tay đóng mở khóa nòng và kéo khóa nòng về sau hết cỡ, đẩy khóa nòng lên tống đạn vào buồng đạn và đóng khóa nòng, khi đó đuôi kim hỏa được giữ lại phía sau bởi lẫy cò. Kim hỏa ở trạng thái giương, lò xo kim hỏa được nén ở trạng thái  $H_2$ , khi kim hỏa được giải phóng dưới tác dụng của năng lượng lò xo kim hỏa đẩy kim hỏa lao lên đập vào hạt lửa phát hỏa.



Hình 2a. Kim hỏa ở vị trí phát hỏa



Hình 2b. Kim hỏa ở vị trí giương

### 3. TÍNH TOÁN NĂNG LƯỢNG PHÁT HỎA CỦA SÚNG SBT-M2

#### 3.1. Cơ sở lý thuyết tính toán năng lượng phát hỏa

Theo [1], năng lượng  $E_k$  cần thiết để phát hỏa chắc chắn (100%) phụ thuộc vào tốc độ thực tế của kim hỏa và được biểu thị bằng công thức thực nghiệm sau:

$$E_k = \frac{A}{V_K^n} \quad (1)$$

Trong đó: A, n là hằng số đối với mỗi hạt lửa.

Với cơ cấu phát hỏa kiểu búa chuyển động thẳng có kim hỏa gắn liền với búa, công của lò xo dịch chuyển sẽ biến thành động năng cần thiết  $E_k$  cho kim hỏa để phát hỏa tin cậy.

$$E_k = A = \frac{\Pi_{\lambda 1} + \Pi_{\lambda 2}}{2} \lambda \quad (2)$$

Trong đó:  $\Pi_{\lambda 1}$ ,  $\Pi_{\lambda 2}$  là lực nén đầu và cuối trong hành trình làm việc của lò xo;  $\lambda$  là khoảng dịch chuyển của lò xo.

Theo [2], khi xét đến tổn hao năng lượng do ma sát, người ta đưa vào hiệu suất  $\eta$  ( $\eta < 1$ ), lò xo phát hỏa cần tạo ra năng lượng là:

$$A_i = \frac{E_k}{\eta} \quad (3)$$

#### 3.2. Tính toán năng lượng phát hỏa súng 7,62mm SBT-M2

Để tính toán năng lượng phát hỏa của súng 7,62mm SBT-M2, ta đưa ra phương pháp tính như sau: Bỏ qua công của lực ma sát giữa kim hỏa và lò xo kim hỏa, kim hỏa và lỗ kim hỏa, ta coi công của lò xo kim hỏa trong hành

trình từ vị trí gương kim hỏa đến vị trí phát hỏa biến thành động năng của kim hỏa.

- Xác định lực nén sơ bộ của lò xo kim hỏa:

$$\Pi_{\lambda_1} = C.(H_0 - H_1) \quad (4)$$

- Xác định lực nén của lò xo kim hỏa ở trạng thái gương:

$$\Pi_{\lambda_2} = C.(H_0 - H_2) \quad (5)$$

- Hành trình  $\lambda$  là khoảng từ  $H_2$  đến  $H_1$ .

Thay thế công thức (3), (4), và (5) vào (2), ta được năng lượng phát hỏa của súng SBT-M2 như sau:

$$E_K = \frac{C(2H_0 - H_1 - H_2)}{2} \lambda \eta \quad (6)$$

Thế năng của lò xo kim hỏa được chuyển thành động năng của kim hỏa, ta có:

$$E_K = \frac{m_{kh} v_{kh}^2}{2} \quad (7)$$

Trong đó:  $m_{kh}$  – Khối lượng kim hỏa;  
 $v_{kh}$  – Vận tốc kim hỏa.

Thay (7) vào (6) và biến đổi, ta được vận tốc của kim hỏa:

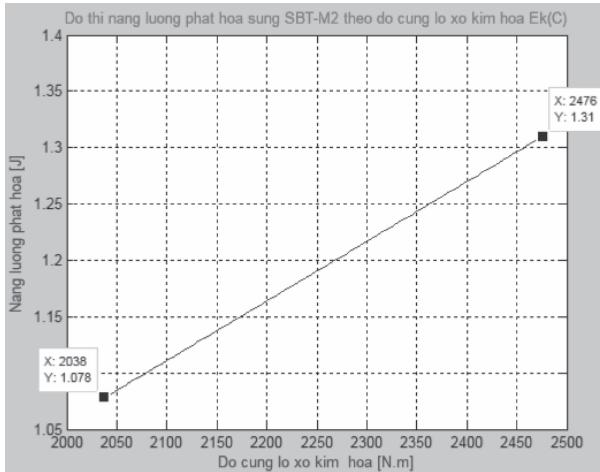
$$v_{kh} = \sqrt{\frac{C(2H_0 - H_1 - H_2)}{m_{kh}} \lambda \eta} \quad (8)$$

Để tính năng lượng phát hỏa  $E_K$  và vận tốc kim hỏa của súng SBT-M2, ta khảo sát tính toán các thông số trong bảng 1.

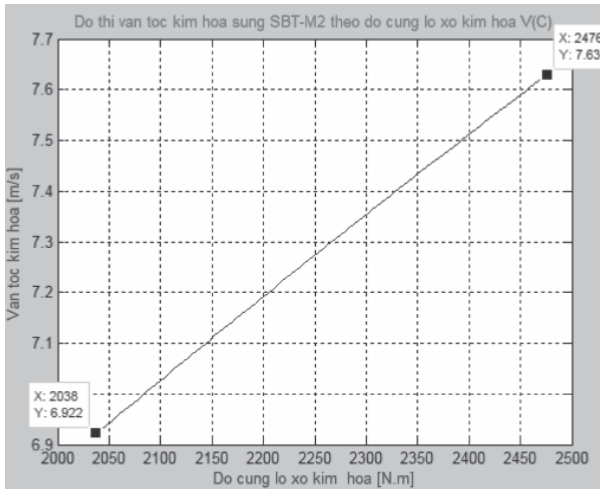
Bảng 1

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng kim hỏa	$m_{kh}$	kg	$45 \times 10^{-3}$
2	Độ cứng lò xo kim hỏa	C	N.m	$2.038 \div 2.476$
3	Chiều dài ban đầu lò xo kim hỏa	$H_0$	m	$135,5 \times 10^{-3}$
4	Chiều dài lò xo kim hỏa khi nén sơ bộ	$H_1$	m	$83 \times 10^{-3}$
5	Chiều dài lò xo kim hỏa khi phát hỏa	$H_2$	m	$73 \times 10^{-3}$
6	Hiệu suất của cơ cấu	$\eta$	%	92
7	Hành trình của kim hỏa	$\lambda$	m	$0 \div 10 \times 10^{-3}$

Thay các giá trị vào (6), ta có kết quả tính toán năng lượng phát hỏa và vận tốc kim hỏa của súng. Kết quả tính toán xem hình 3, hình 4.



Hình 3. Đồ thị Biến thiên năng lượng phát hỏa lớn nhất  $E_k$  theo độ cứng lò xo



Hình 4. Đồ thị Biến thiên vận tốc lớn nhất của kim hỏa  $V_{max}$  theo độ cứng lò xo

Nhận xét: Từ kết quả tính toán năng lượng phát hỏa (hình 3) và vận tốc lớn nhất của kim hỏa (hình 4) ta thấy rằng, năng lượng phát hỏa  $E_k$  của súng 7,62mm SBT-M2 đạt từ 1,078 J đến 1,31 J, vận tốc lớn nhất tại thời điểm kim hỏa chạm hạt lửa tương ứng là 6,92 m/s đến 7,63 m/s. Với năng lượng nhỏ nhất  $E_k = 1,078$

J lớn hơn năng lượng phát hỏa yêu cầu của hạt lửa K53-SK sử dụng cho đạn 7,62x51mm là  $E_{KD1} = 1,054$  J (khối lượng quả thử  $m = 307g$ ; độ cao thử  $h = 35cm$ ; Năng lượng phát hỏa  $E_{KD1} = 1,054$  J, vận tốc lớn nhất của quả thử là 6,87m/s). Với năng lượng này đảm bảo cơ cấu phát hỏa của súng 7,62mm SBT-M2 hoạt động tin cậy, hạt lửa phát hỏa 100%.

#### 4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu giải bài toán năng lượng phát hỏa của Súng 7,62mm SBT-M2, đã giải quyết được bài toán quan trọng trong thiết kế cơ cấu phát hỏa cho súng. Qua đó giúp ta chủ động hiệu chỉnh các thông số thiết kế, chỉ tiêu yêu cầu kỹ thuật của chi tiết cơ cấu phát hỏa của súng để súng hoạt động ổn định, tin cậy. Kết quả nghiên cứu này đã áp dụng trong thiết kế súng 7,62mm SBT-M2 tại Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, sản phẩm đã bắn thử nghiệm thu được độ tin cậy phát hỏa và nghiệm thu tổng hợp các tính năng của súng đạt yêu cầu. ❖

Ngày nhận bài: 03/9/2023

Ngày phản biện: 16/9/2023

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bộ môn súng pháo; *Nguyên lý thiết kế súng tự động tập II*, Trường Đại học Kỹ thuật Quân sự, 1975.
- [2]. Phạm Huy Chương; *Cơ sở kết cấu và tính toán thiết kế máy tự động*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 1998.

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY ƯỚT HỢP KIM NHÔM AA7075

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS IN WET MILLING OF AA7075 ALUMINIUM ALLOY

Lê Như Trang

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

### TÓM TẮT

*Bài báo này nghiên cứu mối quan hệ và đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt chi tiết khi phay hợp kim nhôm AA7075. Xây dựng phương trình hồi quy độ nhám bề mặt khi gia công không sử dụng dung dịch trơn nguội. Nghiên cứu thực nghiệm so sánh độ nhám bề mặt khi gia công có sử dụng dung dịch trơn nguội theo thời gian và đưa ra các biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt. Đánh giá hiệu quả của việc gia công có sử dụng dung dịch làm mát. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để các nhà công nghệ lựa chọn điều kiện gia công cho phù hợp kinh tế mà vẫn đảm bảo được năng suất và chất lượng chi tiết gia công.*

**Từ khóa:** Gia công ướt; Hợp kim nhôm AA7075; Độ nhám bề mặt.

### ABSTRACT

*This paper studied the relationship and evaluation of the influence of cutting parameters on the surface roughness in the milling of the aluminum alloy AA7075. The regression equation of the surface roughness was built in the wet machining process. An experimental study comparing the surface roughness during the wet machining and the influence of the technological parameters on surface roughness were given. The effects of machining using coolant were also evaluated. The research results are useful for the technology providers to decide the appropriate economically processing conditions for ensuring the productivity and quality of the machining details.*

**Keywords:** AA7075 aluminum alloy; Surface roughness; Wet machining.



## 1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, với sự phát triển của nền công nghiệp, gia công trên máy CNC đang là xu hướng mà các nhà công nghệ, các xí nghiệp, các khu công nghiệp lựa chọn bởi sự linh hoạt trong việc lập trình và gia công, cho năng suất và chất lượng cao, tiết kiệm thời gian và chi phí gia công. Độ nhám bề mặt là yếu tố không thể thiếu khi đánh giá khả năng làm việc của chi tiết máy, nó quyết định đến độ bền và tuổi thọ làm việc của chi tiết máy.

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công đã được các nghiên cứu đề cập đến như nghiên cứu của tác giả H.R.Siller [1] đã nghiên cứu hình thái mài mòn của dụng cụ cắt đến chất lượng bề mặt chi tiết khi phay thép hợp kim AISI D3. Kết quả của nghiên cứu cũng làm cơ sở để tối ưu hóa quá trình gia công thép cứng. Nghiên cứu của Dea Kyun Beak [2] đã sử dụng mô hình độ nhám bề mặt để tối ưu hóa bước tiến dao khi phay. Kết quả nghiên cứu cho thấy từ việc dự đoán giá trị độ nhám bề mặt và tối ưu hóa bước tiến dao để cho tốc độ dịch chuyển kim loại khi cắt là lớn nhất. Joshua [3] cùng các cộng sự đã thực nghiệm dự đoán các thông số về độ nhám bề mặt khi phay tinh hợp kim nhôm A6061 có sử dụng dung dịch làm trơn nguội. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy bước tiến dao có ảnh hưởng đáng kể nhất đến độ nhám bề mặt, sau đó là tốc độ trục chính và chiều sâu cắt có ảnh hưởng ít nhất. Khi sử dụng dung dịch trơn nguội, độ nhám bề mặt giảm xuống còn 20% làm cho chất lượng bề mặt tốt hơn. Sidda Reddy và các cộng sự [4] đã sử dụng thuật toán di truyền để tối ưu hóa các thông số cắt khi phay tinh mặt phẳng. Tác giả sử dụng phương pháp dự đoán để tối ưu hóa độ nhám bề mặt khi phay thép làm khuôn P20. Các tham số được xét đến trong nghiên cứu là bán kính mũi dao,

tốc độ cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt. Sau khi thực hiện tối ưu, độ nhám bề mặt giảm so với ban đầu là 44,22%. Cui [5] khi nghiên cứu về phay cao tốc thép có độ cứng cao AISI H1, nghiên cứu xác định độ nhám bề mặt khi phay thuận, phay nghịch và phay đối xứng cho thấy tốc cắt nhỏ hơn 1500 m/phút chất lượng bề mặt giảm khi tốc độ cắt tăng. Khi tốc độ cắt lớn hơn 1500 m/phút thì độ nhám bề mặt tăng khi tăng tốc độ cắt. Chất lượng bề mặt gia công là khác nhau khi (phay thuận, phay nghịch, phay đối xứng) là gần như nhau trong phạm vi tốc độ cắt 1500 m/phút đến 2000 m/phút. Khi tốc độ cắt tăng thì mài mòn dụng cụ cắt cũng tăng làm chất lượng bề mặt chi tiết giảm. Về độ nhám bề mặt cũng được các nghiên cứu khác đề cập đến [6], [7], [8], [9]. Các nghiên cứu trên xét đến ảnh hưởng của các yếu tố đến độ nhám bề mặt gia công.

Nghiên cứu về độ nhám bề mặt đo được khi gia công khô so với gia công ướt cũng được tác giả [10] đề cập đến. Kết quả cho thấy rằng khi tiện tinh thép 1045 khi có dầu tổng hợp và gia công khô thì độ nhám khi gia công khô nhỏ hơn. Một số nghiên cứu khác so sánh giữa các yếu tố về gia công khô, gia công ướt và gia công có sử dụng dầu bôi trơn như các nghiên cứu sau [11], [12], [13], [14], [15].

Tuy nhiên, việc khảo sát các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt gia công khi phay hợp kim nhôm AA7075 bằng dao phay ngón chưa được đề cập đến nhiều. Nghiên cứu này thực nghiệm làm rõ các ảnh hưởng của thông số công nghệ trong các điều kiện cắt có sử dụng dung dịch làm mát đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Từ kết quả nghiên cứu giúp cho nhà công nghệ cũng như các nhà máy, xí nghiệp điều chỉnh các điều kiện cắt để đạt hiệu quả và kinh tế cao nhất khi gia công hợp kim nhôm AA7075.

2. ĐIỀU KIỆN THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết bị và vật liệu thực nghiệm

a. Máy phay

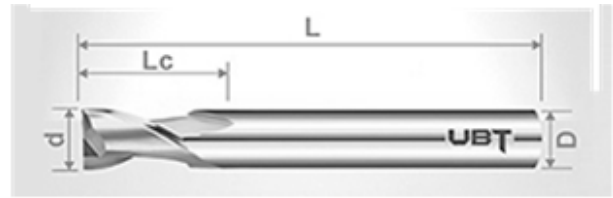
Nghiên cứu sử dụng máy phay CNC HS Super MC500 như trên Hình 1 với các thông số chính: tốc độ quay trục chính  $100 \div 30000$  (vòng/phút); công suất trục chính 15 KW; tốc độ dịch chuyển của bàn máy cắt gọt:  $1 \div 30000$  (mm/phút); tốc độ chạy không lớn nhất: 48000 (mm/phút). Hành trình dịch chuyển của bàn máy:  $X \times Y \times Z = 500 \times 400 \times 300$  (mm).

b. Dụng cụ cắt

Thực nghiệm dùng dao phay ngón HSSCo8 có phủ TiN, kích thước dao  $6 \times 6 \times 15 \times 60$  mm, dao có 02 me cắt. Dao có độ cứng đạt được của dụng cụ đặt đến 60 HRC và khi phủ TiN cho độ bền cao, chống mài mòn và có thể làm việc ở nhiệt độ cao, rút ngắn thời gian gia công vật liệu.



Hình 1. Máy phay MC500



Kích thước (mm)			
d	D	L <sub>c</sub>	L
φ6	6	15	60

Hình 2. Thông số hình học của dụng cụ cắt

c. Vật liệu gia công [16]

Hợp kim nhôm A7075 là dòng hợp kim biến dạng hóa bền và là hợp kim nhôm có độ bền cao nhất. Nó thường được sử dụng chủ yếu trong ngành công nghiệp hàng không vũ trụ và thỏi đúc, cơ khí chính xác, v.v... Thành phần hóa học của nhôm A7075 trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AA7075 (%) [17]

Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,2	Còn lại

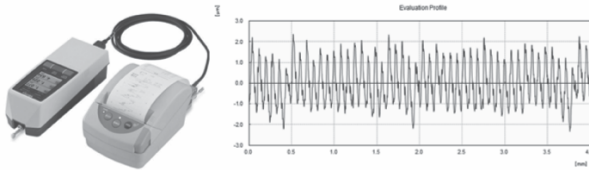
Đặc tính kỹ thuật của hợp kim nhôm A7075 được thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính vật lý của hợp kim nhôm A7075

Đặc tính vật lý	Giá trị	Đặc tính vật lý	Giá trị
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	483	Mô-đun đàn hồi (Gpa)	70-80
Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	130	Điện trở (Ω.m)	3,99e-006
Nhiệt dung riêng (J/g-°C)	0,896	Ứng suất uốn (Mpa)	95
Tỷ trọng (kg/m³)	2,7	Ứng suất kéo (Mpa)	150
Độ cứng (HB)	60	Hệ số Poisson	0,33

**d. Thiết bị đo nhám bề mặt**

Thiết bị đo nhám bề mặt MITSUTOYO – Surftest SJ – 210 của Nhật tại Phòng Kỹ thuật Đo lường, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.



Hình 3. Thiết bị đo độ nhám bề mặt và kết quả đo

Bảng 3. Tham số cắt dùng cho thực nghiệm

TT	Tham số	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	V (Vận tốc cắt)	m/phút	188	282	376
2	S (Bước tiến)	mm/phút	800	1200	1600
3	t (Chiều sâu cắt)	mm	0,5	1,0	1,5

**3.2. Xây dựng mô hình toán học của độ nhám bề mặt khi gia công ướt hợp kim nhôm AA7075**

Mô hình toán học độ nhám bề mặt chi tiết gia công phụ thuộc vào thông số công nghệ (t, S, V) khi phay hợp kim nhôm A7075 được miêu tả bằng phương trình phi tuyến sau:

$$R_a = a.t^b .S^c .V^d \tag{1}$$

Trong đó:  $R_a$  là độ nhám bề mặt ( $\mu\text{m}$ ); a, b, c, d là hệ số được xác định trong quá trình thực nghiệm. Bằng phần mềm Excel với công cụ Regression các kết quả phân tích phương sai cho trên. Phân tích phương sai cho thấy F lý

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Thiết kế thực nghiệm đo độ nhám bề mặt**

Thực nghiệm đo độ nhám bề mặt được thực hiện với các thông số công nghệ cho trên bảng 2. Các thông số này gồm ba mức khác nhau ứng các biến mã hóa và kết quả đo nhám bề mặt cho trên Bảng 4.

thuyết bằng 0,00012 là nhỏ hơn 0,5. Như vậy, phương trình hồi quy thu được phù hợp với thực tế (Bảng 6). Phương trình phụ thuộc của  $R_a$  tới các thông số công nghệ sẽ là:

$$R_a U_1 = 0,634.t^{0,0375} .S^{0,102} .V^{-0,059} \tag{5}$$

$$R_a U_2 = 0,055.t^{0,150} .S^{0,445} .V^{-0,295} \tag{6}$$

$$R_a U_3 = 0,694.t^{0,037} .S^{0,110} .V^{-0,076} \tag{7}$$

Tương tự, Bảng 6 cũng thể hiện kết quả phân tích hồi quy của  $R_a$  đến (t, S, V), phân tích này cho thấy giá trị R Square là 0,933 và so sánh chuẩn Fisher giữa tính toán là 36,92 lớn hơn giá trị lý thuyết (4,35), như vậy cho thấy một trong các hệ số từng phần là khác 0 và mức ý nghĩa của thống kê là cao.

Bảng 4. Bảng mã hóa và kết quả đo nhám bề mặt

TT	Biến mã hóa			Chế độ cắt			R <sub>a</sub> (μm)
	X1	X2	X3	V (m/phút)	S (mm/phút)	t (mm)	
1	-1	-1	-1	188	800	0,5	0,186
2	1	-1	-1	188	800	1,5	0,253
3	-1	1	-1	188	1600	0,5	0,280
4	1	1	-1	188	1600	1,5	0,333
5	-1	-1	1	376	800	0,5	0,165
6	1	-1	1	376	800	1,5	0,195
7	-1	1	1	376	1600	0,5	0,229
8	1	1	1	376	1600	1,5	0,242
9	0	0	0	282	1200	1,0	0,226
10	0	0	0	282	1200	1,0	0,227
11	0	0	0	282	1200	1,0	0,238

Bảng 5. Hệ số phân tích hồi quy của R<sub>a</sub> khi gia công khô

Predictor	Hệ số	Standard error	t statistic	p value	Lower 95%	Upper 95%
Constant	-2,715	0,513	-5,292	0,001	-3,929	-1,502
x <sub>1</sub>	0,156	0,036	4,353	0,003	0,071	0,241
x <sub>2</sub>	0,440	0,057	7,698	0,000	0,305	0,575
x <sub>3</sub>	-0,329	0,057	-5,748	0,001	-0,464	-0,193

Phương trình (5) cho ta đồ thị mối quan hệ giữa R<sub>a</sub> với các thông số công nghệ công nghệ (t, S, V) như hình 4. Khi cố định một thông số công nghệ cho thấy sự biến thiên của R<sub>a</sub> với các thông số công nghệ. Khi R<sub>a</sub> tăng khi chiều sâu cắt tăng và lượng ăn dao tăng (hình a – khi V không đổi). Khi cố định lượng chạy dao S thì R<sub>a</sub> tăng cùng với sự tăng của t và giảm cùng với sự gia tăng của V (hình 4-b). Trên hình 4-c tăng cũng theo quy luật trên. Như vậy, sự tăng giảm các thông số công nghệ đều ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt gia công. Để đảm bảo độ nhám bề mặt gia công thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật, người công nghệ phải điều chỉnh các thông số cắt phù hợp.

Bảng 6. Phân tích ANOVA độ nhám bề mặt khi gia công ướt

Source	DOF	SS	MS	F	P	R-sq(adj)
Regression	3	0,35076	0,11692	36,92437	0,00012	
Error	7	0,02217	0,00317			
Total	10	0,37292				
R <sup>2</sup>						0,9333





lượt là 19,25% và 19,03%. Sai lệch nhỏ nhất lần lượt là 0,06% và 0,03% ở các thí nghiệm 3 và 11. Như vậy, sai lệch giữa trường hợp có sử dụng dung dịch, không sử dụng dung dịch là không đáng kể, do vậy để tiết kiệm chi phí gia công và bảo vệ môi trường, sức khỏe người lao động sử dụng gia công khô hoàn toàn hợp lý.

Bảng 7. Sai lệch độ nhám bề mặt khi gia công khô và gia công ướt

SỐ TN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$R_a$ gia công khô	0,186	0,235	0,280	0,333	0,165	0,195	0,229	0,242	0,226	0,227	0,238
$R_a$ gia công ướt	0,230	0,263	0,280	0,342	0,203	0,211	0,237	0,254	0,239	0,237	0,239
% sai lệch	19,25	3,81	0,06	2,54	19,03	7,73	3,15	4,89	5,31	4,47	0,30

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm gia công hợp kim nhôm A7075 khi có sử dụng dung dịch trơn nguội bằng dao phay ngón. Xây dựng được phương trình hồi quy ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công. Từ phương trình hồi quy cho thấy, khi tăng chiều sâu cắt và lượng chạy dao thì độ nhám bề mặt tăng và mức độ tăng của lượng chạy dao ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt. Khi tăng vận tốc cắt thì độ nhám bề mặt giảm.

Nghiên cứu cũng so sánh độ nhám bề mặt khi phay hợp kim nhôm A7075 ở cùng điều kiện công nghệ khi có sử dụng theo thời gian. Kết quả cho thấy rằng, độ nhám bề mặt chi tiết sau gia công có sự thay đổi không đáng kể. Như vậy, việc có sử dụng dung dịch làm mát khi gia công sẽ làm giảm chi phí, tiết kiệm thời gian và năng suất gia công. ❖

Ngày nhận bài: **22/5/2023**

Ngày phản biện: **12/6/2023**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. R. Siller, C. Vila, C. A. Rodríguez, and J. V. Abellán; “Study of face milling of hardened AISI D3 steel with a special design of carbide tools”. Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 40, no. 1-2, pp. 12-25, 2009.
- [2]. D. K. Baek, T. J. Ko, and H. S. Kim; “Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model”. Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 41, no. 3, pp. 451-462, 2001.
- [3]. O. S. Joshua, M. O. David, and I. O. Sikiru; “Experimental Investigation of Cutting Parameters on Surface Roughness Prediction during End Milling of Aluminium 6061 under MQL (Minimum Quantity Lubrication)”. J. Mech. Eng. Autom., vol. 5, no. 1, pp. 1-13, 2015.
- [4]. B. Sidda Reddy, J. Suresh Kumar, and K. Vijaya Kumar Reddy; “Optimization of surface roughness in CNC end milling using response surface methodology and genetic algorithm”. Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 3, no. 8, pp. 102-109, Aug. 2012.
- [5]. X. Cui, J. Zhao, and X. Tian; “Cutting forces, chip formation, and tool wear in high-speed



- face milling of AISI H13 steel with CBN tools*". Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 64, no. 9-12, pp. 1737-1749, 2013.
- [6]. K. Tug; "Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks". Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 45, pp. 467-479, 2005.
- [7]. T. Ding, S. Zhang, Y. Wang, and X. Zhu; "Empirical models and optimal cutting parameters for cutting forces and surface roughness in hard milling of AISI H13 steel". Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 51, no. 1-4, pp. 45-55, 2010.
- [8]. C. Felho, B. Karpuschewski, and J. Kunderák; "Surface roughness modelling in face milling". Procedia CIRP, vol. 31, pp. 136-141, 2015.
- [9]. M. Kuttolamadom, S. Hamzehlouia, and L. Mears; "Effect of Machining Feed on Surface Roughness in Cutting 6061 Aluminum". SAE Int. J. Mater. Manuf, vol. 3, no. 1, pp. 108-119, 2010.
- [10]. A. E. Diniz and R. Micaroni; "Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting". Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 42, pp. 899-904, 2002.
- [11]. B. Davoodi and A. H. Tazehkandi; "Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to remove cutting fluid". J. Clean. Prod., vol. 68, pp. 234-242, 2014.
- [12]. T. Leppert; "International Journal of Machine Tools & Manufacture Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel". Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 51, no. 2, pp. 120-126, 2011.
- [13]. N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, and M. Ahmed; "Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel". vol. 172, pp. 299-304, 2006.
- [14]. A. S. Varadarajan, P. K. Philip, and B. Ramamoorthy; "Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning". Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 42, pp. 193-200, 2002.
- [15]. S. Masoudi, M. Javad, E. Farshid, J. Seyed, and A. Mirsoleimani; "Comparison the Effect of MQL, Wet and Dry Turning on Surface Topography, Cylindricity Tolerance and Sustainability". Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol., no. 0123456789, 2019.
- [16]. Lê Công Dưỡng (1996); *Vật liệu học*. NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [17]. M. S. Swan; "Incorporation of a general strain to failure fracture criterion into a stress – based plasticity model through a time to failure to failure by". Thesis Mech. Eng. – Univ. Utah, USA., no. May, 2012.

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KÍCH THƯỚC KÊNH DẪN KHÍ ĐẾN ĐẶC TÍNH VÀ HOẠT ĐỘNG CỦA PIN NHIÊN LIỆU KIỂU MÀNG TRAO ĐỔI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AIR CHANNELS SIZE ON CHARACTERISTICS AND OPERATION OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL

Đỗ Văn Trấn<sup>1</sup>, Bùi Ánh Hưng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

## TÓM TẮT

*Bài báo này trình bày kết quả đánh giá ảnh hưởng của kích thước kênh dẫn khí đến các đặc tính và hoạt động của pin nhiên liệu kiểu màng trao đổi (PEMFC). Kết quả tính toán chỉ ra rằng, khi tăng kích thước kênh dẫn khí có thể làm gia tăng thông lượng mật độ dòng và tăng mật độ công suất của pin. Ngoài ra, kích thước kênh dẫn khí có ảnh hưởng đến phần trăm khối lượng  $H_2$  trên màng và quá thế trên lớp xúc tác. Khi tăng kích thước kênh dẫn khí, phần trăm khối lượng  $H_2$  trên màng có xu hướng tăng. Tuy nhiên, quá thế trên lớp xúc tác có xu hướng giảm khi tăng kích thước kênh dẫn khí.*

**Từ khóa:** PEMFC; Kích thước kênh dẫn khí; Mô hình pin nhiên liệu.

## ABSTRACT

*This paper presents the results of evaluating the influence of air channel size on the characteristics and operation of the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). The calculation results show that increasing the size of the air channel can increase the current flux density and power density of the PEMFC. In addition, the size of the gas channel affects the mass percent of  $H_2$  on the membrane and overvoltage on the catalyst layer. When the gas channel's size increases, the percentage of  $H_2$  mass on the membrane increases. However, the overvoltage on the catalyst layer tends to decrease when the air channel is increased.*

**Keywords:** PEMFC; Gas channel dimension; Fuel cell model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

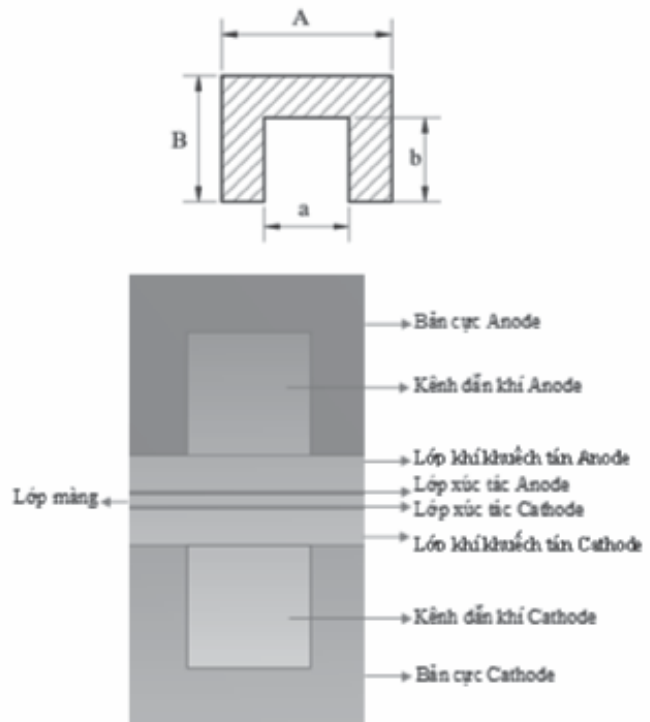
Ngành công nghiệp ô tô đã trải qua áp lực rất lớn để giảm lượng khí thải ra môi trường [1]. Ô tô đã tiêu thụ tới 40% tổng số nhiên liệu hóa thạch được sử dụng trong ngành công nghiệp vận chuyển [2] và chúng thải ra môi trường rất nhiều khí thải gây ô nhiễm môi trường. Với yêu cầu ngày càng khắt khe về phát thải, nhiên liệu hóa thạch đang dần được thay thế bằng nguồn năng lượng sạch và có thể tái tạo. Trong đó, H<sub>2</sub> là nguồn năng lượng trong tương lai có thể thay thế cho nhiên liệu hóa thạch [3]. Ngành công nghiệp ô tô của hầu hết các quốc gia đang dần sử dụng năng lượng tái tạo thay vì nhiên liệu hóa thạch để chuyển sang các phương tiện thân thiện với môi trường, dẫn đến sự gia tăng mạnh mẽ các kỹ thuật mới để sử dụng năng lượng tái tạo. Phương tiện giao thông sử dụng PEMFC đang được quan tâm nhiều của nhà khoa học. Lý do chính mà PEMFC được quan tâm nhiều là chúng có nhiều ưu điểm như hiệu suất năng lượng cao, không phát thải và tiếng ồn thấp. Trong tương lai, PEMFC trở thành nguồn năng lượng đầy hứa hẹn để ứng dụng trên ô tô trong những thế hệ tiếp theo [4]. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng PEMFC trên phương tiện là rất cần thiết để có thể cạnh tranh cùng với phương tiện sử dụng động cơ đốt trong. Trong nghiên cứu này, tác giả đi xây dựng mô hình tính toán cho PEMFC với mục tiêu đánh giá được ảnh hưởng kích thước kênh dẫn khí đến đặc tính và hiệu quả hoạt động của chúng.

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH TÍNH

Bảng 1. Thông số của PEMFC.

Tham số	Giá trị
Chiều sâu kênh dẫn khí	15 mm
Nhiệt độ hoạt động pin	353K
Mật độ dòng tham chiếu anode	5000 A/m <sup>2</sup>
Mật độ dòng tham chiếu cathode	20 A/m <sup>2</sup>
Điện áp mở mạch	0,96 V
Lượng H <sub>2</sub> cấp tại anode	0,1125 mg/s
Không khí cấp tại cathode	0,75 mg/s

Mô hình tính toán được thiết lập dựa trên các thông số cơ bản của pin nhiên liệu được cho ở Bảng 1. Trong nghiên cứu này, kết cấu bản cực anode và cathode là giống nhau và có kết cấu được chỉ ra ở Hình 1.



Hình 1. Mô hình và kích thước bản cực của PEMFC.

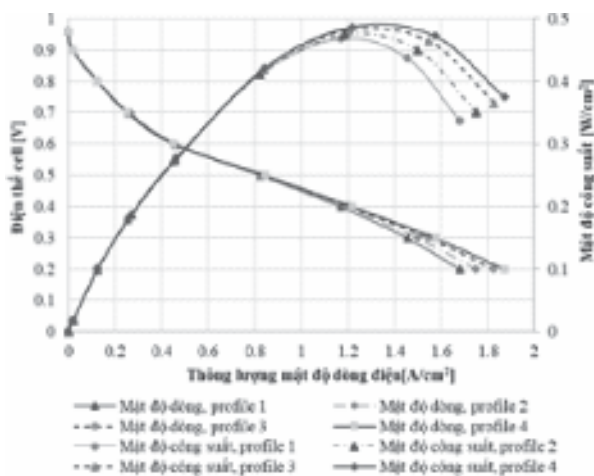
Bảng 2. Kích thước kênh dẫn khí [mm]

	A	a	b	B
Profile 1	2	0,5	0,5	1,5
Profile 2	2	0,75	0,75	1,5
Profile 3	2	1	1	1,5
Profile 4	2	1,25	1,25	1,5

Các chế độ tính toán: Mô hình tính toán được tính ở 4 profile khác nhau với kích thước được cho như Bảng 2. Các thông số chính của pin được khảo sát gồm: Dự đoán sự thay đổi đường cong phân cực, mật độ công suất của PEMFC, quá thế trên lớp xúc tác và hàm lượng H<sub>2</sub> phân bố trên màng.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đường cong phân cực và mật độ công suất của PEMFC

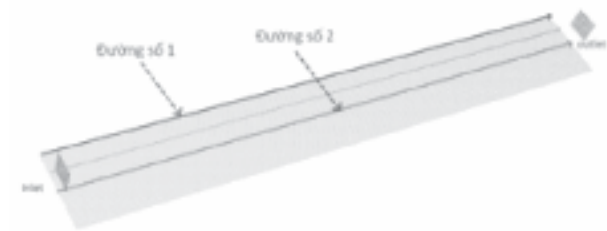


Hình 2. Đường cong phân cực và mật độ công suất của PEMFC.

Hình 2 thể hiện kết quả tính toán đường cong phân cực và mật độ công suất của PEMFC khi thay đổi kích thước kênh dẫn khí. Với cùng một lượng H<sub>2</sub> và O<sub>2</sub> cấp cho bản cực anode và cathode, khi tăng kích thước kênh dẫn thì thông lượng mật độ dòng tăng (đường cong phân cực có xu hướng nâng lên được thể hiện trong Hình 2). Tại mức điện áp  $E_{cell} > 0,5V$  thì sự gia tăng này là không đáng kể. Tuy nhiên, khi PEMFC làm việc ở mức điện áp  $E_{cell} < 0,5V$  thì thông lượng mật độ dòng có sự khác biệt lớn tại 4 giá trị khảo sát.

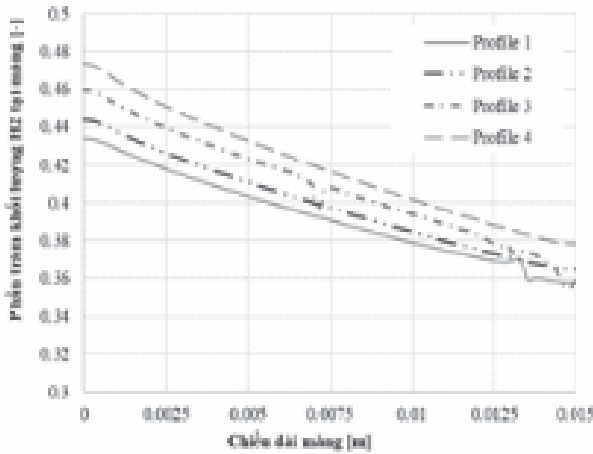
Thêm nữa, kết quả tính toán trên Hình 2 chỉ ra rằng khi tăng kích thước kênh dẫn khí, mật độ công suất của PEMFC tăng. Mật độ công suất phụ thuộc nhiều vào thông lượng mật độ dòng và mức điện áp hoạt động. Trên Hình 2 chỉ ra được tại giá trị thông lượng mật độ dòng từ 1,2-1,6A/cm<sup>2</sup> thì phát huy mật độ công suất lớn nhất. Tại vùng có thông lượng mật độ dòng nhỏ hơn 0,8A/cm<sup>2</sup>, mật độ công suất ít thay đổi khi thay đổi kích thước kênh dẫn khí.

#### 3.2. Sự phân bố nồng độ H<sub>2</sub> trên màng trao đổi

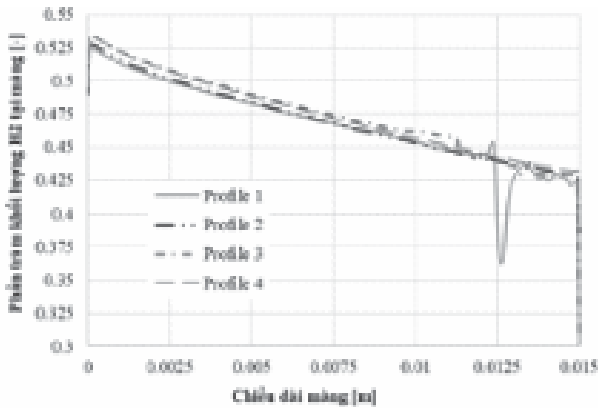


Hình 3. Vị trí khảo sát sự thay đổi hydro và quá thế.

Lượng H<sub>2</sub> suy giảm nhanh, hoặc thiếu cục bộ tại một vị trí bất kỳ có thể gây ra suy giảm hiệu suất phản ứng của PEMFC. Vì vậy, việc khảo sát sự thay đổi lượng H<sub>2</sub> trên màng là cần thiết.



Hình 4. Sự phân bố  $H_2$  màng tại vị trí xét đường số 1.

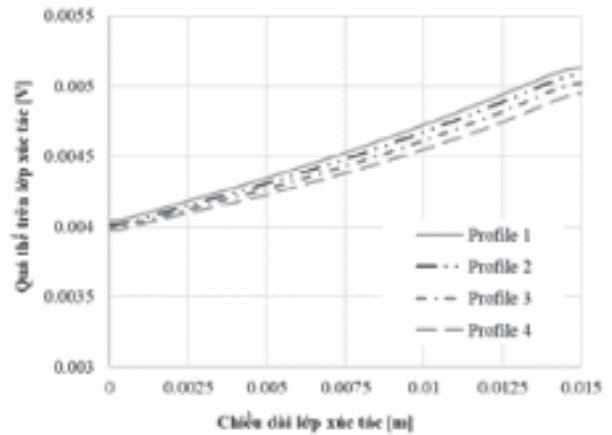


Hình 5. Sự phân bố  $H_2$  màng tại vị trí xét đường số 2.

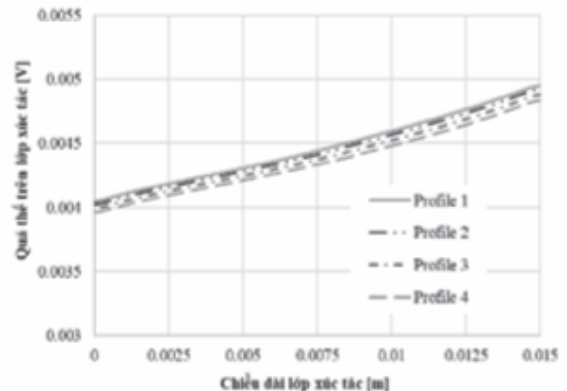
Kết quả tính toán trên Hình 4 và 5 chỉ ra được phần trăm khối lượng  $H_2$  trên màng có xu hướng giảm từ đầu vào cho đến đầu ra của kênh dẫn khí, điều này đúng với cả 4 trường hợp kích thước kênh dẫn khí. Thêm nữa, phần trăm khối lượng  $H_2$  trên màng có xu hướng tăng khi tăng dần kích thước kênh dẫn từ profile 1 đến profile 4, tại vị trí xét là đường số 2 thì sự thay đổi này nhỏ hơn so với vị trí xét là đường số 1. Tại profile 1 có xuất hiện vị trí mà tại đó lượng  $H_2$  suy giảm nhanh. Tại điểm này, lượng  $H_2$  suy giảm nhiều nhất tại vị trí xét là đường số 2. Tại hai vị trí xét là đường 1 và 2 đã chỉ ra được lượng  $H_2$  tập trung ở đường số 2 chiếm tỷ

lệ lớn và có xu hướng giảm dần tại các vị trí xét là đường số 1.

### 3.3. Sự thay đổi quá thế trên lớp xúc tác



Hình 6. Quá thế trên lớp xúc tác tại vị trí xét đường số 1.



Hình 7. Quá thế trên lớp xúc tác tại vị trí xét đường số 2.

Quá thế gây nên các tổn thất năng lượng cho PEMFC, do đó cần phải xem xét sự thay đổi quá thế khi PEMFC hoạt động. Kết quả tính toán trên Hình 6 và 7 chỉ ra được quá thế trên lớp xúc tác có xu hướng tăng từ đầu vào đến đầu ra khỏi kênh dẫn khí. Khi tăng kích thước kênh dẫn khí, quá thế trên lớp xúc tác có xu hướng giảm. Tuy nhiên, tại vị trí đầu vào kênh dẫn khí thì quá thế có giảm ít khi tăng dần kích

thước kênh dẫn khí, và quá thể có xu hướng giảm nhiều tại vị trí đầu ra kênh dẫn khí. Thêm nữa, tại vị trí xét đường 2, quá thể có giá trị nhỏ hơn so với vị trí xét là đường số 1.

#### 4. KẾT LUẬN

Khi tăng kích thước kênh dẫn khí làm gia tăng thông lượng mật độ dòng và mật độ công suất của pin. Tại vùng làm việc  $E_{\text{cell}} > 0,5\text{V}$ , kích thước kênh dẫn khí ít ảnh hưởng tới thông lượng mật độ dòng. Tuy nhiên, tại  $E_{\text{cell}} < 0,5\text{V}$ , kích thước kênh dẫn khí ảnh hưởng đáng kể đến thông lượng mật độ dòng.

Phần trăm khối lượng  $\text{H}_2$  trên màng tăng khi tăng kích thước kênh dẫn khí. Tại kích thước kênh dẫn khí nhỏ nhất xuất hiện những điểm mà tại đó phần trăm khối lượng  $\text{H}_2$  suy giảm nhanh, và gây ra thiếu  $\text{H}_2$  cục bộ. Ngoài ra, tăng kích thước kênh dẫn khí, quá thể trên lớp xúc tác giảm. Quá thể lớp xúc tác tại đường số 2 nhỏ nhất và tăng dần ra vị trí mép kênh dẫn. ❖

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2023-CK-004. Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Giao thông Vận tải đã tài trợ kinh phí nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **10/8/2023**

Ngày phản biện: **04/9/2023**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Berggren C, Magnusson T. *Reducing automotive emissions-The potentials of combustion engine technologies and the power of policy*. Energy Pol Feb. 2012;41:636e43.
- [2]. Sulaiman N, Hannan MA, Mohamed A, Majlan EH, Wan Daud WR. *A review on energy management system for fuel cell hybrid electric vehicle: issues and challenges*. Renew Sustain Energy Rev 2015;52:802e14.
- [3]. Durbin DJ, Malardier-Jugroot C. *Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications*. Int J Hydrogen Energy 2013;38(34):14595e617.
- [4]. D. Wu, C. Peng, C. Yin, H. Tang, *Review of system integration and control of proton exchange membrane fuel cells*, Electrochem Energy Rev, 3 (2020), pp. 466-505.
- [5]. Chen E, *Thermodynamics and Electrochemical Kinetics*, In: Hoogers G, editor, Fuel Cell Technology Handbook, Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.



# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TĂNG ÁP ĐẾN ĐẶC TÍNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ CHÁY BẰNG NÉN VỚI NHIÊN LIỆU XĂNG – BIO-ETHANOL E20

INVESTIGATION OF INTAKE PRESSURE IMPACT ON COMBUSTION PROCESS  
IN GASOLINE PARTIALLY PREMIXED COMBUSTION  
FOR GASOLINE– BIO-ETHANOL E20 FUELLED

Nguyễn Tùng Lâm<sup>1,\*</sup>, Bùi Ánh Hưng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

## TÓM TẮT

Hỗn hợp nhiên liệu xăng – bio-ethanol đã trở thành một sự lựa chọn hấp dẫn để làm nhiên liệu cho động cơ ô tô, đặc biệt là trong mô hình cháy hiện đại cháy bằng nén với nhiên liệu xăng (GCI – Gasoline Compression Ignition). Sự kết hợp của ethanol và xăng mang lại nhiều ưu điểm nổi bật: ethanol có khả năng chống tự cháy cao hơn, khả năng hóa hơi tốt hơn và hàm lượng ô-xy trong nhiên liệu cao hơn so với xăng thông thường. Bài báo này trình bày về ảnh hưởng của tăng áp khí nạp đến đặc tính cháy và đặc tính phát thải của động cơ cháy bằng nén hỗn hợp hình thành trước một phần. Kết quả của các thử nghiệm cho thấy rằng, việc điều chỉnh mức độ tăng áp suất nạp và chiến lược phun nhiên liệu một cách hợp lý có thể giảm mức phát thải của động cơ sử dụng mô hình cháy bằng nén.

**Từ khóa:** Cháy bằng nén nhiên liệu xăng; Chiến lược phun kép; Ethanol sinh học; Tăng áp khí nạp.

## ABSTRACT

The gasoline-bio-ethanol blend has become an appealing choice for fueling automotive engines, particularly in the Gasoline Compression Ignition (GCI) systems. The combination of ethanol and gasoline offers several significant advantages: ethanol possesses a higher resistance to auto-ignition, better vaporization characteristics, and a higher oxygen content in the fuel compared to regular gasoline. This article presents a study on the impact of intake pressure on the combustion characteristics and emissions of partially premixed compression ignition engines. The results of the experiments indicate that adjusting the level of boost pressure and the fuel injection strategy appropriately can reduce emissions levels in engines using the partially premixed compression ignition combustion model.

**Keywords:** Gasoline Compression Ignition; Split Injection Strategy; Bio-ethanol; Turbocharging Intake Air. 

## 1. GIỚI THIỆU

Động cơ Diesel làm việc với hỗn hợp nghèo và tỷ số nén cao thường có ưu điểm vượt trội về hiệu suất nhiệt cao hơn và mức tiêu thụ nhiên liệu thấp hơn so với động cơ xăng [1]. Tuy nhiên, động cơ này vẫn còn nhiều thách thức do lượng phát thải dạng hạt bồ hóng (PM) và khí thải  $\text{NO}_x$  cao [2], đây chính là các mối lo ngại về vấn đề ô nhiễm môi trường do phương tiện giao thông vận tải tác động lên sự bền vững môi trường và sức khỏe con người. Chính điều này các quy định của các cơ quan quản lý càng ngày càng nghiêm ngặt hơn về khí thải của phương tiện giao thông sử dụng động cơ diesel. Để vượt qua thách thức này, các chiến lược đốt cháy ở nhiệt độ thấp (LTC – Low Temperature Combustion) hướng đến trên nền tảng cơ bản của động cơ diesel nhằm đạt được mục tiêu giảm đồng thời  $\text{NO}_x$  và sự hình thành PM bên trong buồng cháy động cơ là một trong các giải pháp phát triển công nghệ động cơ đốt trong [3]. Chế độ tự cháy bằng nén với một phần hỗn hợp xăng (GPPCI – Gasoline Partially Premixed Compression Ignition) có tiềm năng lớn để mở rộng vùng giới hạn tải của động cơ với chế độ LTC [4]. Các nghiên cứu gần đây [5] đã chứng minh rằng GPPCI phù hợp nhất với chế độ PPCI vì thời gian trễ tự cháy kéo dài do đặc trưng tự cháy của nhiên liệu xăng thấp, đặc biệt là do sự có mặt của ethanol, được sử dụng hiệu quả để tạo thành phần hỗn hợp trộn sẵn một phần [6]. Thời gian trộn trước khi đốt cháy kéo dài và tỷ lệ hỗn hợp nghèo cục bộ tăng lên dẫn đến sự hình thành PM thấp hơn. Hơn nữa, việc sử dụng hỗn hợp nhiên liệu – không khí nghèo làm giảm nhiệt độ ngọn lửa và do đó làm giảm hình thành  $\text{NO}$  nhiệt. Việc kiểm soát tích cực giai đoạn đốt cháy trong động cơ GCI đã thúc đẩy việc nghiên cứu các chiến lược phun với nhiều giai đoạn phun.

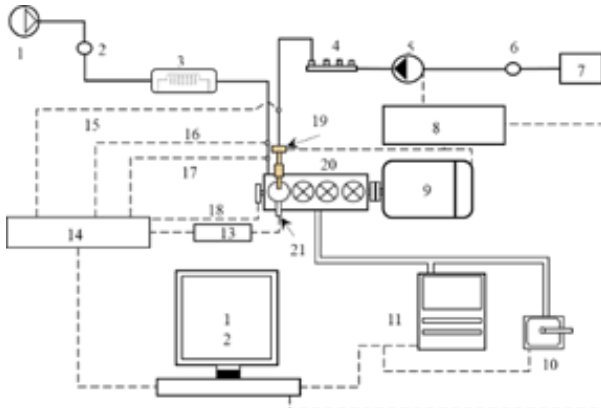
Ethanol sinh học được sản xuất từ nguồn nguyên liệu tái tạo có chất lượng tự cháy thấp hơn, với hiệu quả bay hơi cao hơn xăng [7], góp phần làm tăng thời gian cháy trễ. Sử dụng ethanol cho động cơ GPPCI cũng đã cho thấy các lợi ích về việc giảm phát thải PM, với các cấu trúc phân tử có thành phần ô-xy của ethanol [8]. Việc áp dụng phun nhiên liệu vào buồng cháy với hai giai đoạn khác nhau cho động cơ GPPCI làm cho quá trình cháy kéo dài gây tổn thất nhiệt và hiệu quả cháy không cao so với trường hợp phun một giai đoạn. Nghiên cứu hiện tại tiếp tục khám phá tiềm năng của các chiến lược phun kép trong động cơ GPPCI pha trộn xăng – bio-ethanol bằng cách thay đổi thời điểm phun chính (-9, -6, -3 CAD), phun trước khi piston ở điểm chết trên (ĐCT) và có so sánh đối chiếu ở các mức tăng áp suất không khí nạp khác nhau.

## 2. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH CHÁY

### 2.1. Thiết bị thí nghiệm

Các thí nghiệm được thực hiện trong động cơ một xy lanh nghiên cứu được sửa đổi từ động cơ nguyên bản bốn xy lanh cháy bằng nén (PSA-DW10) với dung tích mỗi xy lanh 0,499 l và tỷ số nén 16,0 với hệ thống phun nhiên liệu diesel cao áp điển hình. Động cơ thử nghiệm trên băng thử được kiểm soát trực tiếp bởi một động cơ điện để duy trì tốc độ động cơ không đổi. Hình 1 giới thiệu sơ đồ thiết lập thí nghiệm. Các thông số kỹ thuật của động cơ sửa đổi: Đường kính xy lanh (mm) x hành trình Piston (mm): 85 x 88; Thể tích công tác 1 xy lanh (cc): 499; Tỷ số nén  $\epsilon$ : 16; Phun nhiên liệu kiểu Common Rail. Không khí nạp được cung cấp từ máy nén khí được làm nóng đến nhiệt độ mong muốn bằng bộ gia nhiệt ở khoảng đường ống trước cửa nạp, tại đó nhiệt

độ và áp suất không khí nạp được đo bằng cảm biến nhiệt (loại K) với độ chính xác  $\pm 2$  K và cảm biến áp suất áp điện trở (Kistler 4075A) với độ chính xác tương ứng là  $\pm 0,3\%$  của toàn thang đo.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

- 1: Máy nén khí; 2: Đo lưu lượng khí;
- 3: Bình gia nhiệt khí; 4: Common rail;
- 5: Bơm nhiên liệu; 6: Đo lưu lượng nhiên liệu;
- 7: Bình chứa nhiên liệu;
- 8: Điều khiển lượng phun;
- 9: Động cơ điện;
- 10: Đo độ khói; 11: Tủ phân tích khí thải;
- 20: Động cơ thí nghiệm; 21: Đầu đo áp suất.

Mức tiêu thụ nhiên liệu được đo bằng bộ điều khiển lưu lượng khối chất lỏng (Bronkhorst M13-CORI-FLOW) có độ chính xác  $\pm 0,2\%$  trên phép đo. Vị trí góc quay được xác định bằng cảm biến quang học với độ chính xác  $\pm 0,1$  CAD và áp suất trong xy lanh bằng cảm biến áp suất (Kistler 6043A) được gắn trong nắp xy lanh với độ chính xác  $\pm 2\%$ .

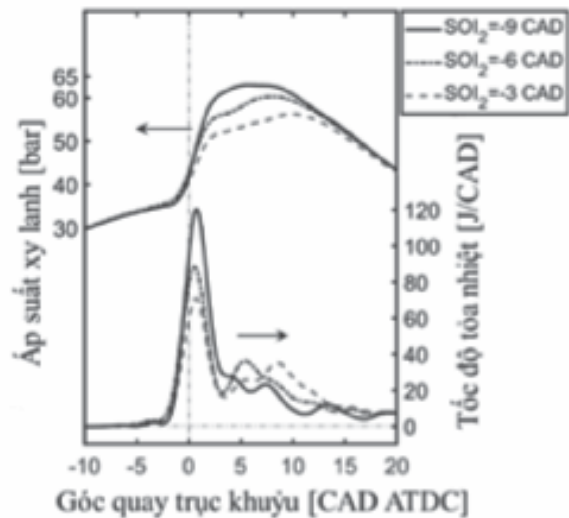
Điều kiện thí nghiệm: nhiệt độ khí nạp  $165^{\circ}\text{C}$ . Hỗn hợp ethanol-gasoline (gasohol) E20 là xăng thương mại RON95 trộn với ethanol, với tỷ lệ theo thể tích 80% xăng thương mại và 20% ethanol. Nhiên liệu được phun với chiến lược phun kép, áp suất phun 400 bar, tỷ lệ giữa hai lần phun: 30%/70%. Thời điểm phun nhiên liệu lần thứ nhất được cố định ở  $-35$  CAD (CAD – Crank Angle Degrees: Độ góc quay

trục khuỷu), còn thời điểm phun chính thực hiện khảo sát thay đổi từ  $-9$  CAD đến  $-3$  CAD. Quá trình thực hiện thí nghiệm chia làm 2 giai đoạn: (1) Khảo sát thời điểm phun thay đổi với áp suất nạp 1 bar; (2) Với mỗi thời điểm phun, thực hiện thay đổi áp suất khí nạp từ 1 bar sang 1,2 bar, giữ IMEP khoảng 5 bar.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Khảo sát với thời điểm phun khác nhau

Hình 2 giới thiệu ảnh hưởng của thời điểm phun chính đến áp suất xy lanh ( $P_{xl}$ ) và tốc độ tỏa nhiệt (HRR – Heat Release Rate), với chế độ  $n = 1500$  v/ph, IMEP = 5 bar. Thời điểm phun chính thực hiện thay đổi:  $-9$ ,  $-6$  và  $-3$  CAD.



Hình 2. Ảnh hưởng của  $SOI_2$  đến  $P_{xl}$  và HRR.

Hình 2 mô tả, khi phun chính ( $SOI_2$ ) sớm, thời điểm bắt đầu cháy thay đổi không đáng kể, pha cháy đều tập trung sau ĐCT, tuy nhiên HRR cực đại tăng lên khá mạnh: từ 68 J/CAD ( $SOI_2 = -3$  CAD), 86 J/CAD ( $SOI_2 = -6$  CAD) đến 119 J/CAD ( $SOI_2 = -9$  CAD). Đồng thời, khi phun sớm, áp suất cực đại trong

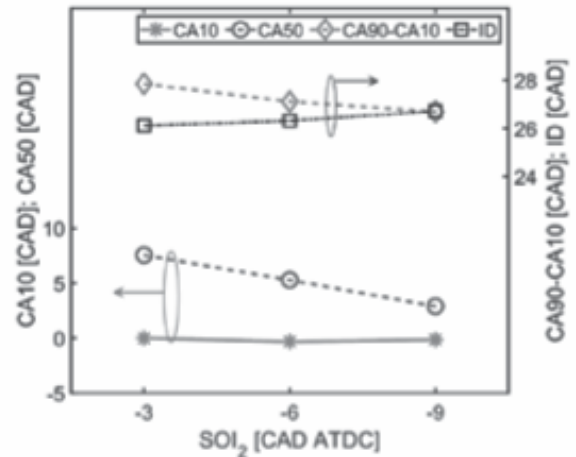
xy lạnh tăng lên đáng kể, từ 55 bar ( $SOI_2 = -3$  CAD), 59,5 bar ( $SOI_2 = -6$  CAD) đến 64 bar ( $SOI_2 = -9$  CAD).

Từ đường cong HRR và giá trị cực đại của  $P_{xi}$  như chỉ ra ở trên có thể thấy rằng thời điểm phun và thời gian trễ cháy của giai đoạn phun chính có ảnh hưởng đến quá trình cháy của động cơ GCI. Như mô tả trên Hình 2, khi phun chính sớm  $SOI_2 = -9$  CAD, thì pha cháy thể hiện trên đường cong HRR cho thấy pha cháy chính, bao gồm quá trình cháy đồng thời của phun môi và phun chính. Khi thực hiện phun muộn đi,  $SOI_2 = -6; -3$  CAD, thì đường cong HRR cho thấy 2 đỉnh rõ rệt, thể hiện 2 giai đoạn cháy: cháy với hỗn hợp hòa trộn trước và cháy khuếch tán của giai đoạn phun chính.

Hình 3 cho thấy ảnh hưởng của thời điểm phun tới quá trình cháy: thời điểm bắt đầu cháy (CA10), pha cháy chính (CA50), thời gian cháy (CA90-CA10) và thời gian trễ cháy của giai đoạn phun môi (ID1). Thời điểm cháy (CA10) cơ bản phụ thuộc vào thời điểm phun chính, cháy sớm hơn khi phun sớm. Thời gian trễ cháy với 2 trường hợp phun muộn (-3 và -6 CAD) đều khoảng 26 CAD, với phun sớm (-9 CAD) khoảng 27 CAD. Pha cháy chính (CA50) sớm lên khi tăng góc phun chính sớm. Điều này cho thấy khi phun chính sớm ( $SOI_2 = -9$  CAD) thì tia phun chính có tác động đến quá trình cháy, làm kìm hãm quá trình cháy của tia phun môi khi tia phun chính thâm nhập không gian buồng cháy và nhận nhiệt từ xung quanh.

Sau đó, quá trình cháy được hình thành bởi hỗn hợp “đang ô-xy hóa” của giai đoạn phun môi và hỗn hợp nhiên liệu – không khí của tia phun chính và tiếp tục phát triển cháy mạnh mẽ. Thời điểm cháy (CA10) sớm hơn khi phun sớm, khi CA10 càng gần ĐCT (với  $SOI_2 = -9$  CAD) thì quá trình cháy càng mạnh mẽ với

đỉnh tốc độ tỏa nhiệt cao hơn.



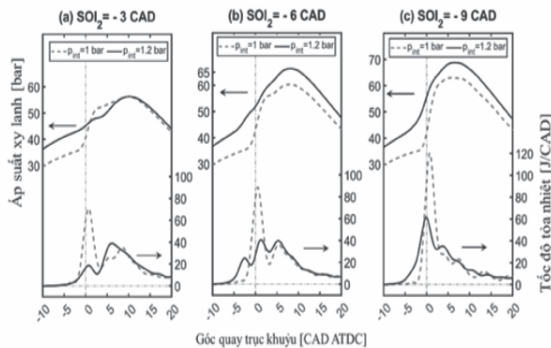
Hình 3. CA10; CA50; CA90-CA10; ID theo  $SOI_2$ .

### 3.2. Ảnh hưởng của tăng áp đến quá trình cháy

Hình 4 cho thấy ảnh hưởng của tăng áp nhẹ, khi áp suất khí nạp ( $p_{int}$ ) tăng từ 1,0 bar lên 1,2 bar, lên  $P_{xi}$  và HRR, với chế độ  $n = 1500$  v/ph, IMEP = 5 bar. Vì ở nghiên cứu này thực hiện giữ IMEP, thay đổi lượng nhiên liệu cấp cho chu trình, nên tỷ lệ nhiên liệu – không khí trung bình ( $\lambda$ ) cũng có thay đổi, khi tăng áp thì giảm lượng nhiên liệu cung cấp, tức là  $\lambda$  giảm. Các trường hợp  $SOI_2$  khác nhau đều cho thấy tăng pint, thì quá trình cháy diễn ra êm dịu hơn, với đỉnh của đường cong HRR thấp hơn và đa phần lùi về phía muộn hơn. Với  $SOI_2$  muộn:  $SOI_2 = -3$  CAD, khi tăng pint, thì áp suất trong xy lạnh trong quá trình nén lớn hơn, tuy nhiên sau đó thực hiện quá trình cháy thì lại có tốc độ tăng áp suất cháy nhỏ hơn, thể hiện đường cong  $P_{xi}$  thoải hơn, với áp suất lớn nhất trong xy lạnh cao nhất 56 bar, tại 10 CAD. Quan sát đường cong HRR, khi tăng  $p_{int}$  thì pha cháy tập trung ở giai đoạn cháy khuếch tán ở xa ĐCT, còn không tăng áp thì pha cháy tập trung ở gần



ĐCT với cháy hòa trộn trước. Với chế độ phun chính trung gian:  $SOI_2 = -6$  CAD, đặc điểm nổi bật của chế độ này là đường cong HRR có 3 đỉnh, thể hiện 3 giai đoạn cháy đặc trưng: (1) Cháy hòa trộn trước hoàn toàn của phun môi; (2) Cháy hòa trộn trước một phần của phun chính và (3) Cháy khuếch tán của phun chính. Khi  $p_{int}$  tăng lên, nhiệt độ và áp suất cuối quá trình nén cao hơn nên thúc đẩy quá trình cháy của quá trình phun môi, thể hiện bằng quá trình bắt đầu cháy sớm hơn. Khi này, giai đoạn phun chính tia phun sẽ được đốt cháy sớm hơn với điều kiện môi trường nhiệt độ cao, áp suất cao do quá trình cháy của phun môi. Sau đó, quá trình phun chính phát triển cháy với phần lớn là cháy khuếch tán, làm cho khả năng tạo thành PM trong quá trình cháy tăng lên. Điểm bất lợi của cháy sớm với điều kiện tăng  $p_{int}$  chính là tổn thất công và tổn thất nhiệt trong quá trình nén.



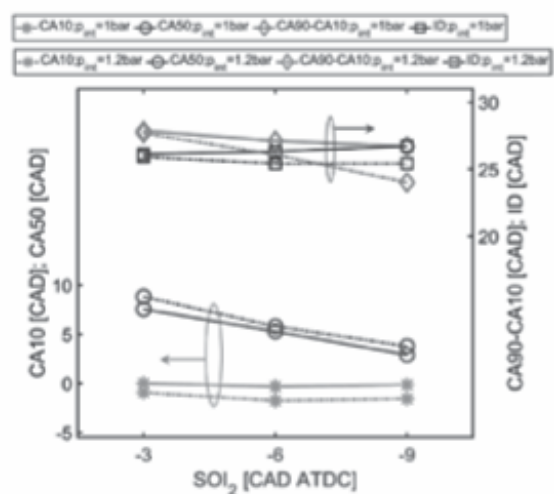
Hình 4. Ảnh hưởng của pint đến  $P_{xl}$  và HRR với  $SOI_2$  khác nhau.

Với chế độ phun chính sớm:  $SOI_2 = -9$  CAD, khi tăng pint, đường cong HRR cho thấy quá trình cháy sớm hơn nhưng đường độ dốc của đường cong thoải hơn và đỉnh của HRR thấp hơn so với không tăng áp. Quá trình cháy với tăng pint thể hiện êm dịu hơn, nhưng cũng tương tự ở chế độ phun  $SOI_2 = -6$  CAD thì chế độ này gặp phải tổn thất công và tổn thất nhiệt trong quá trình nén.

Hình 5 mô tả ảnh hưởng của tăng pint đến CA10; CA50; CA90-CA10. Khi tăng  $p_{int}$ , điều kiện nhiệt độ và áp suất trong xy lanh đều tăng, nên quá trình cháy bắt đầu sớm hơn (CA10 của tăng áp sớm hơn), với phát triển cháy của phun môi hình thành rõ rệt.

Do bắt đầu phát triển cháy từ giai đoạn phun môi với điều kiện tăng  $p_{int}$ , nên giá trị độ trễ cháy ở đây thể hiện là của giai đoạn phun môi, tính từ khi phun môi đến khi bắt đầu cháy,  $ID_1$  giảm khi tăng áp. Thời gian cháy (CA90-CA10) chỉ ra trên Hình 5 cho thấy tăng  $p_{int}$  làm giảm thời gian cháy, có thể làm giảm tổn thất nhiệt của quá trình cháy. Với điều kiện tăng  $p_{int}$ , nhiệt độ và áp suất của môi chất ở cuối quá trình nén tăng lên làm cho thúc đẩy các phản ứng cháy và quá trình phát triển ngọn lửa nhanh hơn nên thời gian cháy giảm đi.

Pha cháy chính phụ thuộc vào quá trình phun chính, với 70% nhiên liệu được cung cấp ở giai đoạn này, thì với tăng pint, pha cháy chính (CA50) muộn hơn, khoảng 1,3 CAD, với  $SOI_2 = -3, -6$  CAD, và sớm hơn, khoảng 5,1 CAD, với  $SOI_2 = -9$  CAD.



Hình 5. Ảnh hưởng của pint đến CA10; CA50; CA90-CA10; ID.

## 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của  $SOI_2$ ,  $p_{int}$  đến đặc tính cháy của động cơ GCI được thực hiện với nhiên liệu xăng E20. Một số kết luận chính của bài báo như sau: (1) Hiệu quả cháy và hiệu suất chỉ thị tăng lên khi thực hiện thời điểm phun sớm tối ưu, và được cải thiện đáng kể khi tăng áp; (2) Thời điểm phun chính ảnh hưởng mạnh mẽ đến đặc tính cháy, tỷ lệ pha cháy hòa trộn trước và pha cháy khuếch tán của động cơ GCI; (3) Tăng áp nhẹ cũng có thể kiểm soát tốt pha cháy hòa trộn trước và pha cháy khuếch tán.

### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ thí nghiệm của Phòng Thí nghiệm PRISME, Đại học Orleans, Cộng hòa Pháp. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2023-CK-007. ❖

Ngày nhận bài: **15/8/2023**

Ngày phản biện: **04/9/2023**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Dec JE. *Advanced compression-ignition engines - Understanding the in-cylinder processes*. Proceedings of the Combustion Institute 2009;32 II:2727–42.
- [2]. Timothy V. Johnson. *Diesel Emission Control in Review*, n.d.
- [3]. Anselmi P, Kashdan J, Bression G, Ferrero-Lesur E, Thirouard B, Walter B. *Improving emissions, noise and fuel economy trade-off by using multiple injection strategies in diesel low temperature combustion (LTC) mode*. SAE Technical Papers 2010.
- [4]. Lewander M. *Characterization and Control of Multi-Cylinder Partially Premixed Combustion*. 2011.
- [5]. Belgiorno G, Dimitrakopoulos N, Di Blasio G, Beatrice C, Tuner M, Tunestal P. *Parametric Analysis of the Effect of Pilot Quantity, Combustion Phasing and EGR on Efficiencies of a Gasoline PPC Light-Duty Engine*. SAE Technical Papers 2017;2017-September.
- [6]. Cho K, Zhao L, Ameen M, Zhang Y, Pei Y, Moore W, et al. *Understanding Fuel Stratification Effects on Partially Premixed Compression Ignition (PPCI) Combustion and Emissions Behaviors*, 2019.
- [7]. Chen R, Nishida K. *Spray evaporation of ethanol-gasoline-like blend and combustion of ethanol-gasoline blend injected by hole-type nozzle for direct-injection spark ignition engines*. Fuel 2014;134:263–73.
- [8]. Shamun S, Shen M, Johansson B, Tuner M, Pagels J, Gudmundsson A, et al. *Exhaust PM Emissions Analysis of Alcohol Fueled Heavy-Duty Engine Utilizing PPC*. SAE Int J Engines 2016;9:2142–52.



# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY CAO TỐC THÉP P20 TRÊN MÁY PHAY CNC SK-V85

RESEARCH ON EFFECT OF CUTTING MODE ON SURFACE ROUGHNESS WHEN HIGH-SPEED MILLING STEEL P20 WITH SK-V85 CNC MILLING MACHINE

Lê Như Trang

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

## TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ) đến độ nhám bề mặt gia công ( $R_a$ ) được xác định khi phay cao tốc thép P20 bằng dao phay ngón của hãng SKEYE trên máy phay CNC SK-V85 đã được trình bày. Bằng nghiên cứu thực nghiệm, mô hình hồi quy của độ nhám đã được xây dựng là một hàm mũ của các thông số chế độ cắt (vận tốc cắt, chiều sâu cắt, lượng tiến dao). Mô hình hồi quy này đã được kiểm tra bằng công cụ thống kê toán học với độ tin cậy lớn hơn 94,8%. Ngoài ra, ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi gia công cũng đã được xác định. Trong đó, khi tăng lượng chạy dao ( $S$ ) và chiều sâu cắt ( $t$ ) thì độ nhám ( $R_a$ ) tăng, còn khi tăng vận tốc cắt ( $V$ ) thì độ nhám ( $R_a$ ) giảm. Mô hình được đề xuất trong nghiên cứu này có thể được ứng dụng để nâng cao chất lượng bề mặt gia công khi phay cao tốc thép P20.

**Từ khóa:** Chế độ cắt; Độ nhám bề mặt; Phay tốc độ; Thép P20.

## ABSTRACT

In this study, the influence of cutting mode parameters ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ) on the machined surface roughness ( $R_a$ ) was determined when high-speed milling of steel P20 with SKEYE end mills on milling machines CNC SK-V85 was presented. By experimental research, the regression model of roughness has been built which is an exponential function of the parameters of the cutting mode (cutting speed, depth of cut, feedrate). This regression model has been tested by mathematical statistical tools with confidence greater than 94.8%. In addition, the effect of cutting mode parameters on surface roughness during machining has also been determined. In particular, when increasing the amount of feed ( $S$ ) and cutting depth ( $t$ ), the roughness ( $R_a$ ) increases, and when increasing the cutting speed ( $V$ ), the roughness ( $R_a$ ) decreases. The model proposed in this study can be applied to improve the quality of the machined surface when high-speed milling of P20 steel.

**Keywords:** Cutting mode; Surface roughness; Speed milling; Steel P20.



## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong gia công cao tốc, năng suất và chất lượng gia công phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, ảnh hưởng của các yếu tố vật liệu dụng cụ cắt và thông số hình học của dụng cụ đã được hãng chế tạo dụng cụ cắt nghiên cứu và chứng minh [1]. Đối với một hệ thống công nghệ nhất định thì năng suất hay chất lượng bề mặt phụ thuộc chủ yếu vào thông số chế độ cắt là phương pháp cơ bản và hiệu quả để kiểm soát chất lượng gia công và nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị. Đặc biệt hơn nữa bề mặt chi tiết sau khi gia công cao tốc có thể đạt độ bóng bề mặt tương đương với phương pháp gia công mài, thời gian đánh bóng bề mặt sau khi gia công cao tốc nhỏ hơn rất nhiều so với phương pháp gia công truyền thống, năng suất bóc tách vật liệu cao hơn phương pháp gia công truyền thống [2].

Thực tế cho thấy chất lượng của bề mặt gia công của chi tiết không những phụ thuộc vào tính chất cơ lý của vật liệu, mà còn phụ thuộc vào trạng thái của lớp bề mặt, các chi tiết được chế tạo từ một loại vật liệu như nhau nhưng theo các phương pháp công nghệ và chế độ cắt khác nhau sẽ có tính chất của lớp bề mặt khác nhau, và độ nhám bề mặt là một trong các chỉ tiêu đánh giá chất lượng bề mặt đặc trưng cho tính chất hình học của bề mặt gia công [3]. Phay cao tốc là một phương pháp gia công đặc biệt nâng cao khả năng cắt vật liệu, chất lượng bề mặt và độ bền của dụng cụ cắt nhờ việc tăng tốc độ cắt, giảm tiết diện phoi cũng như lực ma sát. Ở vận tốc cắt thường, khi tăng tốc độ cắt lực cắt cũng tăng theo. Tuy nhiên, khi tốc độ cắt vượt quá một giới hạn nhất định, các lực cắt bắt đầu giảm [4].

Trong công nghệ chế tạo máy, việc

nghiên cứu về độ nhám bề mặt luôn là một vấn đề cấp thiết mà rất nhiều các nhà khoa học quan tâm vì mỗi điều kiện gia công và vật liệu gia công khác nhau thì độ nhám bề mặt lại có các kết quả không giống nhau. Các nghiên cứu của các tác giả Nguyễn Thanh Bình (và các cộng sự) [5], Phạm Minh Huệ (và cộng sự) [6] đã tìm ra được mô hình hồi quy của độ nhám và đánh giá được ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhám bề mặt khi phay và tiện thép không gỉ SUS 304. Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Thanh Bình (và các cộng sự) [7] cũng đã khảo sát được ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt (V, S, t) đến độ nhám bề mặt khi phay cao tốc thép làm khuôn SKD<sub>11</sub>.

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi phay cao tốc, nghiên cứu đã được tiến hành trên mẫu thép P20, máy phay CNC SK-V85 và sử dụng dụng cụ đo độ nhám chuyên dùng.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết bị, dụng cụ và phôi thực nghiệm

Để xác định sự ảnh hưởng của ba thông số chế độ cắt là vận tốc cắt (V), lượng chạy dao (S) và chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt khi phay cao tốc thép P20 thì quá trình thực nghiệm được tiến hành trên máy phay CNC SK-V85 của hãng “Skeye” với hệ điều khiển FANUC 0i có tốc độ di chuyển trục X/Y/Z là 48/48/48 m/ph và tốc độ trục chính là 100-10.000 vòng/phút.

Dụng cụ cắt được sử dụng là dao phay ngón có gắn mảnh hợp kim cứng của hãng YG với các thông số của dao được thể hiện ở trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của dụng cụ cắt

Tên gọi	Ký hiệu
Cán dao	32x150L
Mảnh lưỡi cắt	R390-11 T3 08M-PL 4220
Đường kính dao	32

Trong quá trình phay cao tốc, dụng cụ cắt được bôi trơn làm mát bằng cách dùng dung dịch tưới nguội Emunxi 4%, lưu lượng 20 lít/phút phun trực tiếp vào vùng đang gia công.

Thiết bị đo nhám bề mặt MITUTOYO – Surftest SJ – 210 của Nhật tại Phòng Kỹ thuật Đo lường Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

- Thang đo: Ra/Rq/Rz/Ry/Rp/Rt/R<sub>3z</sub>/Sm/...;
- Chiều dài tiêu chuẩn khi đo: 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8mm;
- Khoảng cách dịch chuyển tối đa: Trục X: 25mm, trục Z: 800mm;

- Đầu đo loại tiếp xúc dựa trên độ chênh lệch điện cảm, áp lực đo 0,75N;
- Loại đầu đo: Kim cương (r = 2);
- Tốc độ: 0,05; 0,1; 0,5; 1 mm/s khi đo;
- Tiêu chuẩn độ nhám: JIS, DIN, ISO, ANSI;
- Phần mềm điều khiển và xử lý số liệu: Matlab, Excel.

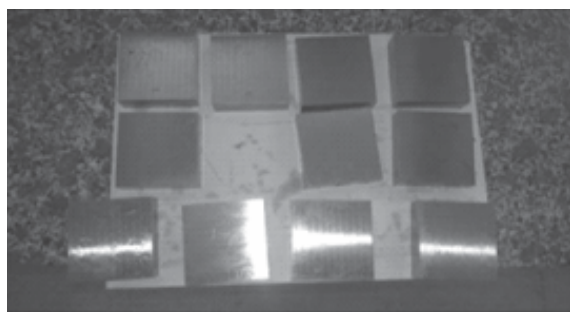


Vật liệu và phôi thực nghiệm: Vật liệu được chuẩn, có thành phần hóa học của thép khi ra lò sử dụng trong thí nghiệm là thép P20 phù hợp với các chỉ tiêu ghi trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học của thép P20 [8]

Mác thép	Thành phần hóa học (%)						
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
P20	0.28-0.4	0.6-1.0	≤0.03	≤0.03	0.2-0.8	1.4-2.0	0.3-0.55

Phôi thí nghiệm có kích thước dài x rộng x cao là: 90 x 90 x 35 (mm) và số lượng phôi là 11 như trên hình 2.



Hình 2. Hình ảnh của phôi thực nghiệm

## 2.2. Thiết kế ma trận thực nghiệm

Sử dụng phương pháp phay mặt phẳng bằng dao phay ngón để làm thực nghiệm, căn cứ vào chế độ cắt khi gia công [3, 9], ta lựa chọn chế độ cắt thực nghiệm như sau:

- Vận tốc cắt khi gia công cao tốc trên máy phay CNC ứng với vật liệu làm dao và vật liệu gia công là:  $V = 800-1000$  (m/phút).

- Chiều sâu cắt tinh lấy trong khoảng: 0,1-0,5 (mm).

- Bước tiến dao: 0,05-0,15 (mm/răng).

Theo quy hoạch thực nghiệm [6], ta chọn miền nghiên cứu thực nghiệm là:

$$V_{\max} = 1000 \text{ (m/phút)}; S_{\max} = 0,15 \text{ (mm/răng)}; t_{\max} = 0,5 \text{ (mm)}.$$

$$V_{\min} = 800 \text{ (m/phút)}; S_{\min} = 0,05 \text{ (mm/răng)}; t_{\min} = 0,1 \text{ (mm)}.$$

Bảng 3. Bảng tính toán thông số công nghệ

Các yếu tố	X1 (V)	X2 (s)	X3 (t)
Mức trên +1	1000	0,15	0,5
Mức dưới -1	800	0,05	0,1
Mức cơ sở 0	900	0,1	0,3
Khoảng biến thiên	100	0,05	0,2

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để nghiên cứu và xử lý số liệu thực nghiệm, khi đó các thông số đầu vào được viết lại dưới dạng bảng 3.

Chuyển các biến từ tự nhiên sang các biến mã hóa không thứ nguyên với thực nghiệm ba biến đầu vào, làm thí nghiệm với 08 thí nghiệm tại các đỉnh đơn hình đều và ba thí nghiệm trung tâm. Sau khi chạy thực nghiệm, tiến hành đo độ nhám bề mặt ứng với từng thí nghiệm, ta có các thông số đầu vào và đầu ra của ma trận thực nghiệm như trong bảng 4.

Bảng 4. Các thông số đầu vào và đầu ra của ma trận thực nghiệm

STT	Biến mã hóa				Biến thực nghiệm S (mm/r)	t (mm)	Giá trị đo độ nhám Ra (gm)
	X1	X2	X3	V (m/ph)			
1	-1	-1	-1	800	0,05	0,1	0,12
2	+1	-1	-1	10000	0,05	0,1	0,15
3	-1	+1	-1	800	0,15	0,1	0,19
4	+1	+1	-1	1000	0,15	0,1	0,16
5	-1	-1	+1	800	0,05	0,5	0,17
6	+1	-1	+1	1000	0,05	0,5	0,13
7	-1	+1	+1	800	0,15	0,5	0,21
8	+1	+1	+1	1000	0,15	0,5	0,17
9	0	0	0	900	0,1	0,3	0,17
10	0	0	0	900	0,1	0,3	0,19
11	0	0	0	900	0,1	0,3	0,18

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả xây dựng mô hình hồi quy của độ nhám bề mặt gia công

- Xác định các hệ số của phương trình hồi quy:

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao [9] để xác định ảnh hưởng đồng thời của vận tốc cắt (V), lượng chạy dao (S) và chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt thép C45 khi phay cao tốc. Đồng thời, theo các nghiên cứu [5-7] cũng đã chỉ ra mối quan hệ giữa các yếu tố của chế độ cắt với độ nhám bề mặt khi gia công là một hàm số mũ có dạng:

$$Ra = C1.Va.Sb.tc \quad (1)$$

Logarit cơ số e cả hai vế phương trình, ta có:

$$\ln(Ra) = \ln(C1) + a.\ln(V) + b.\ln(S) + c.\ln(t) \quad (2)$$

Đặt  $\ln(Ra) = y$ ;  $a_0 = \ln(C1)$ ;  $a = a_1$ ;  $b = a_2$ ;  $c = a_3$ ;  $\ln(V) = x_1$ ;

$\ln(S) = x_2$ ;  $\ln(t) = x_3$ . Khi đó, phương trình (1) có dạng:

$$y = a_0 + a_1.x_1 + a_2.x_2 + a_3.x_3 \quad (3)$$

Với  $a_0, a_1, a_2, a_3$  là các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm.

Ma trận thực nghiệm trực giao:

$$[X].[A] = [Y] \quad (4)$$

Trong đó:

Ma trận thông số đầu vào [X] có các hệ số là logarit cơ số e các giá trị V, S, t dùng trong thí nghiệm.

Ma trận thông số đầu ra [Y] có các hệ số là logarit cơ số e các giá trị độ nhám đo được trên các mẫu thí nghiệm.

Nhân cả hai vế của phương trình (4) với ma trận chuyển vị của ma trận [X]:

$$[X]^T.[X].[A] = [X]^T.[Y] \quad (5)$$

Đặt  $[M] = [X]^T.[X]$  và giả sử  $\det(M) \neq 0$  thì [M] là ma trận khả nghịch. Khi đó, nghiệm của hệ là:

Từ các thông số thực nghiệm trên Bảng [A] = [X]<sup>-1</sup>. [X]<sup>T</sup>. [Y] (6) 4, các thông số được logarit hóa với số liệu theo Bảng 5.

Bảng 5. Logarit hóa các thông số chế độ cắt và giá trị độ nhám Ra

Biến thực nghiệm			Giá trị đo độ nhám Ra	Ln(V)	Ln(S)	Ln(t)	Ln(Ra)
V (m/ph)	S (mm/r)	t (mm)					
800	0,05	0,1	0,12	5,991465	-2,995732	-2,302585	-1,771957
1000	0,05	0,1	0,15	6,396930	-2,995732	-2,302585	-1,897120
800	0,15	0,1	0,19	5,991465	-1,897120	-2,302585	-1,560648
1000	0,15	0,1	0,16	6,396930	-1,897120	-2,302585	-1,660731
800	0,05	0,5	0,17	5,991465	-2,995732	-0,693147	-1,714798

1000	0,05	0,5	0,13	6,396930	-2,995732	-0,693147	-1,897120
800	0,15	0,5	0,21	5,991465	-1,897120	-0,693147	-1,427116
1000	0,15	0,5	0,17	6,396930	-1,897120	-0,693147	-1,560648
900	0,1	0,3	0,17	6,214608	-2,302585	-1,203973	-1,660731
900	0,1	0,3	0,19	6,214608	-2,302585	-1,203973	-1,714798
900	0,1	0,3	0,18	6,214608	-2,302585	-1,203973	-1,660731

Bảng 6. Kết quả tính toán độ tin cậy của giá trị thực nghiệm

STT	Rai (µm)	ai (µm)				
1	0,12	0,166735	-1,771957	-1,791347	0,007698	0,000376
2	0,15	0,145382	-1,897120	-1,928389	0,045327	0,000978
3	0,19	0,216974	-1,560648	-1,527979	0,015270	0,001067
4	0,16	0,189187	-1,660731	-1,665021	0,000552	0,000018
5	0,17	0,178162	-1,714798	-1,725063	0,000935	0,000105
6	0,13	0,155345	-1,897120	-1,862105	0,045327	0,001226
7	0,21	0,231843	-1,427116	-1,461695	0,066101	0,001196
8	0,17	0,202152	-1,560648	-1,598737	0,015270	0,001451
9	0,17	0,191024	-1,660731	-1,655354	0,000552	0,000029
10	0,19	0,191024	-1,714798	-1,655354	0,000935	0,003534
11	0,18	0,191024	-1,660731	-1,655354	0,000552	0,000029
Tổng	1,84				0,198518	0,010009
Trung bình	0,1673		-1,684218			

Vậy độ tin cậy r là:

$$r = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_y'^2}{\sigma_y^2} = 94.80\%$$

- Kiểm định các tham số ai:

Theo tài liệu [10], phương sai dư S<sub>dur</sub> được tính theo công thức:

$$S_{dur}^2 = \frac{S(A)}{N-K-1} \tag{12}$$

Trong đó: N là số thí nghiệm; k là số lượng thông số cần xác định, trừ thông số a<sub>0</sub>.

Tổng dư bình phương:

$$S(A) = ([Y] - [X].[A])T.([Y] - [X].[A]) \tag{13}$$

Dùng Excel để giải bài toán về ma trận, tính được: S(A) = 0,010009.

Thay vào (12) có: S<sub>dur</sub> = 0,03781. Sự tồn tại của các hệ số ai được xác định bởi công thức:

$$|t_{tinhs}^i| = \left| \frac{a_i}{S_{dur}\sqrt{m_{ii}}} \right| \geq t_{bang}(N - k - 1, r) \tag{14}$$

Trong đó m<sub>ii</sub> là số hạng thứ ii của ma trận M-1 với [M] = [X]T.[X].



$$[M]^{-1} = \begin{pmatrix} 119,725613 & -18,834893 & 1,017010 & 0,292496 \\ -18,834893 & 3,033378 & -0,007629 & -0,007263 \\ 1,017010 & -0,007629 & 0,406944 & -0,006972 \\ 0,292496 & -0,007263 & -0,006972 & 0,186391 \end{pmatrix}$$

Thay vào công thức (14) có:

$$|t_{tinh}^0| = 2,52996 \quad |t_{tinh}^1| = 5.13251 \quad |t_{tinh}^2| = 9.93936 \quad |t_{tinh}^3| = 2,52305$$

Tra bảng phân bố Student với  $t_{bảng}$  (N-k-1; r): Độ tin cậy  $r = 95\%$  và  $N - k - 1 = 7$  có:  $t_{bảng} = 1,895$ .

Ta nhận thấy:  $t_{tinh} > t_{bảng}$  với  $i = 0 - 3$ .

Như vậy, các hệ số ai thực sự tồn tại hay phương trình hồi quy thực nghiệm:

$$y = 1,046678 - 0,337887x_1 + 0,238727x_2 + 0,041155x_3$$

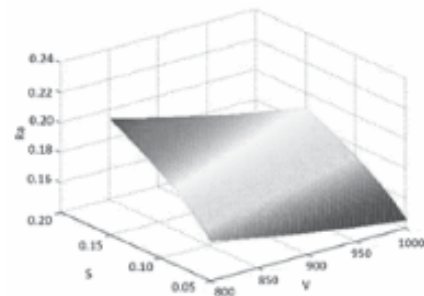
Tồn tại và quan hệ giữa các yếu tố chế độ cắt (V, S, t) và độ nhám bề mặt (Ra) được biểu diễn qua phương trình:

$$Ra = 2,848174.V^{-0,337887} . S^{0,238727} . T^{0,041155}$$

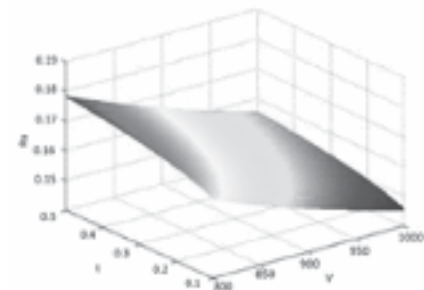
Hay nói cách khác là mô hình toán học này hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

### 3.2. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt

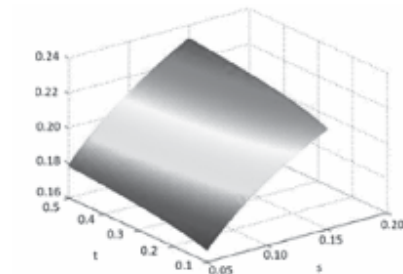
Sử dụng phần mềm Matlab để minh họa bằng đồ thị ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt (V, S, t) đến độ nhám bề mặt gia công (Ra) như trên các Hình 3, 4, 5.



Hình 3. Đồ thị quan hệ giữa Ra với vận tốc cắt V và bước tiến S



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa Ra với vận tốc cắt V và chiều sâu cắt t



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa Ra với chiều sâu cắt t và bước tiến S

Trên đồ thị trong các Hình 3, 4, 5 cho thấy quy luật ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến hàm mục tiêu như sau: Khi vận tốc cắt dao động từ 400-600 m/phút; lượng chạy dao thay đổi từ 0,05-0,15 mm/răng; chiều sâu cắt dao động từ 0,1-0,5 mm thì độ nhám bề mặt gia công của thép P20 khi phay cao tốc dao động từ 0,15-0,24 pm.

Từ kết quả nghiên cứu có thể thấy rằng, các thông số chế độ cắt có ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt. Tuy nhiên, ảnh hưởng của mỗi thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt gia công là khác nhau. Kết quả ở Hình 3 chỉ ra rằng khi tăng lượng chạy dao (S) thì độ nhám (Ra) tăng nhưng khi tăng vận tốc cắt (V) thì độ nhám (Ra) lại giảm. Trong Hình 4, khi tăng chiều sâu cắt (t) thì độ nhám (Ra) cũng tăng, còn khi tăng vận tốc cắt (V) thì độ nhám (Ra) lại giảm. Còn trong hình 5, khi tăng chiều sâu cắt (t) và lượng chạy dao (S) thì độ nhám (Ra) tăng. Ta nhận thấy trong ba yếu tố của chế độ cắt thì lượng chạy dao (S) là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt.

## 4. KẾT LUẬN

Bằng thực nghiệm, nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình hồi quy của độ nhám bề mặt gia công (Ra) phụ thuộc vào ba thông số chế độ cắt (V, S, t) khi phay cao tốc thép P20 trên máy phay CNC SK-V85.

Mô hình hồi quy của độ nhám đã được xây dựng thành công là một hàm mũ của các thông số chế độ cắt (vận tốc cắt, chiều sâu cắt, lượng tiến dao). Mô hình hồi quy này đã được kiểm tra thành công bằng công cụ thống kê toán học với độ tin cậy lớn hơn 94,80%.

Ảnh hưởng của một số thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt gia công đã được xác

định. Trong đó, khi tăng lượng chạy dao (S) và chiều sâu cắt (t) thì độ nhám bề mặt gia công (Ra) tăng, tuy nhiên ảnh hưởng của lượng chạy dao (S) là lớn hơn. Ngược lại, cùng với một lượng chạy dao (S) và chiều sâu cắt (t) không đổi thì khi tăng vận tốc cắt (V) độ nhám bề mặt (Ra) lại giảm. Đây chính là ưu điểm của gia công cao tốc, khi tăng vận tốc cắt vừa tăng được năng suất cắt và lại tăng được độ bóng bề mặt.

Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở cho việc lựa chọn chế độ cắt hợp lý, tận dụng được khả năng và công suất hữu ích của máy khi gia công cao tốc trên máy phay CNC và tiến tới tối ưu hóa quá trình phay. ❖

Ngày nhận bài: 22/5/2023

Ngày phản biện: 12/6/2023

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Technical Guide of Sandvik (2014). *Metal cutting technology*. Truy cập từ <<https://www.sandvik.coromant.com/in/pages/metal-cutting-technology-at-pune0530-2145.aspx>>.
- [2]. Rafal Pasko, Lucjan Przybylski, Bogdan Slodki (2002); *High speed machining (HSM) – The effective way of modern cutting*. International Workshop CA Systems and Technologies, 72-79.
- [3]. Trần Văn Địch, Nguyễn Trọng Bình, Nguyễn Thế Đạt, Nguyễn Việt Tiếp, Trần Xuân Việt (2006); *Công nghệ chế tạo máy 1*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Ekanayake R. A. & Mathew P (2007); *An Experimental Investigation of High Speed End Milling*. The 5<sup>th</sup> Australasian Congress on Applied Mechanics, Brisbane, Australia, 696-702.
- [5]. Nguyễn Thanh Bình, Phạm Văn Bông, Phạm Văn Đông, Nguyễn Chí Bảo (2015); *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi gia công SUS 304 trên trung tâm gia công CNC TC500*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 31, 28-33.
- [6]. Phạm Thị Minh Huệ, Phạm Minh Thế (2017); *Nghiên cứu sự ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi tiện vật liệu SUS 304*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, 11(3), 83-89.
- [7]. Nguyễn Thanh Bình, Nguyễn Huy Ninh, Hoàng Tiến Dũng (2015); *Khảo sát ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi phay cao tốc trên máy 05 trục UCP600*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, 53, 671-678.
- [8]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 1766: 1975 (2008); *Thép carbon kết cấu chất lượng tốt – Mác thép và yêu cầu kỹ thuật*.
- [9]. Trần Văn Địch (2003); *Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [10]. Nguyễn Doãn Ý (2009); *Xử lý số liệu thực nghiệm trong kỹ thuật*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

# XÂY DỰNG MÔ HÌNH THUẬT PHÓNG BẮN ĐINH LEO TƯỜNG

## MODEL OF THE WALL-CLIMBING NAIL SHOOTING TECHNIQUE

**Đào Văn Đoàn**

Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình thuật phóng bắn đinh với kết cấu đảm bảo hiệu ứng triệt âm giữ bí mật trong các nhiệm vụ leo tường bê tông trong tác chiến đô thị. Kết quả bài toán làm cơ sở cho quá trình nghiên cứu thiết kế chế tạo hoàn chỉnh thiết bị leo tường phục vụ các nhiệm vụ bí mật của lực lượng đặc nhiệm.*

**Từ khóa:** Nòng súng; Đinh (đầu đạn); Thuốc phóng.

### ABSTRACT

*The method of building a nail projectile model with sound suppression effect to keep secrets in concrete wall climbing missions in urban warfare is presented in this paper. The results of the problem serve as the basis for the research, design, and manufacture of complete wall climbing equipment for secret missions of special forces.*

**Keywords:** Barrel; Projectile; Propellant.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

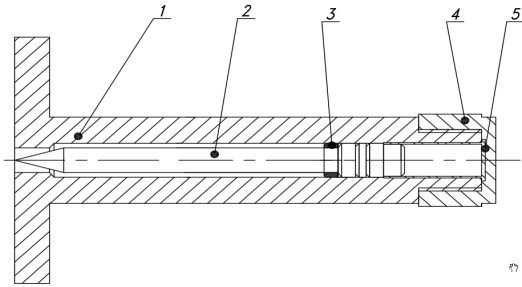
Trong thực tiễn hoạt động quân sự hiện nay, việc tác chiến trong các khu vực đô thị đang ngày càng chiếm vai trò quan trọng. Đặc điểm của tác chiến đô thị là khu vực có nhiều nhà cao tầng, địa hình chủ yếu là các bức tường bê tông cao và thẳng đứng, đòi hỏi lực lượng đặc nhiệm phải leo trèo, đột nhập trong điều kiện bí mật. Do vậy cần phải nghiên cứu thiết kế, chế tạo các thiết bị đặc biệt có khả năng bắn đinh leo tường đáp ứng yêu cầu tin cậy, gọn nhẹ và không tạo ra âm thanh. Chính vì vậy, bài báo tập trung xây dựng mô hình thuật phóng bắn đinh leo tường với hiệu ứng triệt âm đảm bảo

bí mật làm cơ sở cho việc thiết kế chế tạo súng bắn đinh leo tường.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Nguyên lý hoạt động (Hình 1): Sau khi phát hỏa, thuốc phóng cháy tạo ra áp suất đẩy đinh cùng bạc nhôm chuyển động về phía trước, đinh xuyên vào bê tông cho tới khi bạc nhôm va vào mấu giữ của nòng và biến dạng dẹt bịt kín giữ cho khí thuốc ở trong nòng không thoát ra ngoài nên không tạo ra hiệu ứng nổ, đồng thời ghim chặt đinh và nòng súng vào tường bê tông tạo thành bậc có thể leo trèo được.





Hình 1. Mô hình nguyên lý thuật phóng bắn đĩnh  
 1. Nòng súng; 2. Đĩnh; 3. Bạc nhôm;  
 4. Nắp bịt kín; 5. Vỏ liềm, hạt lửa, thuốc phóng

### 2.1. Các giả thiết cơ bản [1, 4]

- Trong quá trình xảy ra hiện tượng bắn, nòng súng được xem là ép chặt vào bề mặt bê tông và không chuyển động;
- Thuốc phóng cháy theo quy luật cháy hình học. Tốc độ cháy là tuyến tính với áp suất;
- Nhiệt độ cháy của khí thuốc coi như không đổi trong quá trình thuốc phóng cháy;
- Chỉ số đoạn nhiệt  $k$  bằng hằng số và bằng giá trị trung bình trong khoảng thay đổi của nhiệt độ khí thuốc;
- Các công thức yếu được tính qua hệ số tăng nặng của đầu đĩnh;
- Đĩnh và bạc nhôm ghép chặt với nhau chuyển động thẳng tịnh tiến trong nòng;
- Lực tác dụng của bê tông lên đầu đĩnh theo phương trục đĩnh là không đổi bằng lực phá hủy bê tông.

### 2.2. Các phương trình cơ bản

Từ các giả thiết và mô hình trên, ta xây dựng được các hệ phương trình cơ bản sau [2, 4, 5]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d}{dt} z(t) &= \frac{P_n(t)}{I_k} \\ \frac{d}{dt} \psi(t) &= \chi(1 + 2\lambda z(t) + 3\mu z(t)^2) \left( \frac{d}{dt} z(t) \right) \\ \frac{d}{dt} v(t) &= \frac{S P_n(t) \cdot g}{\varphi \cdot q} - \sigma_{bt} \cdot S \\ \frac{d}{dt} l(t) &= v(t) \\ \frac{d}{dt} W(t) &= \omega \left( \frac{1}{\delta} - \alpha \right) \left( \frac{d}{dt} \psi(t) \right) + S \left( \frac{d}{dt} l(t) \right) \\ \frac{d}{dt} P_n(t) &= \frac{f\omega \left( \frac{d}{dt} \psi(t) \right) - P_n(t) \left( \frac{d}{dt} W_n(t) \right) - \frac{\theta \varphi q v(t) \left( \frac{d}{dt} v(t) \right)}{g}}{W_n(t)} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Trong đó:

- $v, l$  – Vận tốc, quãng đường chuyển động tương đối của đĩnh trong lòng nòng;
- $p_n$  – Áp suất khí thuốc trong nòng;
- $S$  – Diện tích tiết diện ngang lòng nòng;
- $q, \varphi$  – Trọng lượng và hệ số ảo khối lượng đĩnh;
- $z$  – Chiều dày tương đối của hạt thuốc;
- $I_k$  – Xung của áp suất khí thuốc;
- $\omega$  – Trọng lượng thuốc phóng;
- $\psi$  – Lượng thuốc phóng cháy tương đối;
- $\chi, \lambda, \alpha, f$  – Các đặc trưng của thuốc phóng;
- $W$  – Thể tích khoảng không sau đáy đạn;
- $\sigma_{bt}$  – Ứng suất chịu nén của bê tông.

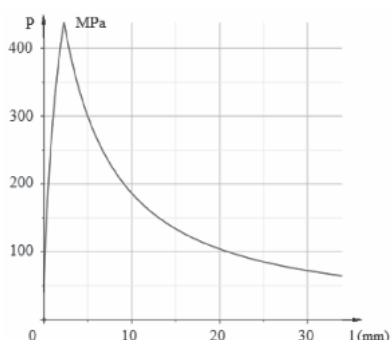
### 3. GIẢI BÀI TOÁN VÀ KẾT QUẢ

Hệ phương trình thuật phóng (1) mô tả hiện tượng cháy của thuốc phóng, quy luật áp suất và chuyển động của đĩnh trong quá trình đâm xuyên vào bê tông. Quá trình giải bài toán cần xác định các thông số đầu vào là các thông số thuật phóng, thông số kết cấu của đĩnh, thông số về ứng suất chịu nén của bê tông tương ứng với mác bê tông M500 (Bảng 1).

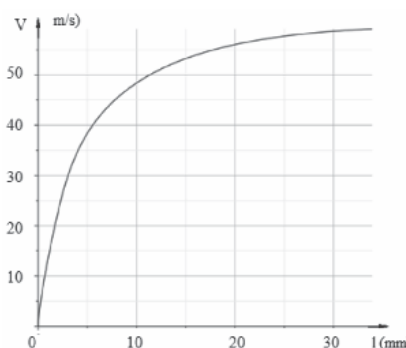
Bảng 1. Các thông số đầu vào cơ bản

TT	Các thông số	Ký hiệu	Số đo	Đơn vị
1	Thể tích buồng đốt	$W_0$	0,0002038	$dm^3$
2	Áp suất tổng đạn	$p_0$	40000	$kG/dm^2$
3	Xung lượng toàn phần	$I_k$	57,29	$kG.s/dm^2$
4	Chiều dài nòng súng	$L_n$	0,34	$dm$
5	Trọng lượng thuốc phóng	$\omega$	0,08	$g$
6	Mật độ nhồi của phát bắn	$\Delta = \omega / W_0$	0,343474	$kg/dm^3$
7	Diện tích tiết diện lòng nòng	$S$	0,002376	$dm^2$
8	Trọng lượng của đỉnh	$q$	0,048560	$kG$
9	Lực thuốc phóng	$f$	1005000	$kG.dm/kG$
10	Cộng tích	$\alpha$	1,03	$dm^3/kG$
11	Mật độ thuốc phóng	$\delta$	1,6	$kG/dm^3$
12	Các đặc trưng hình dạng của thuốc phóng	$\chi$ $\lambda$ $\mu$	1,095 - 0,087 0	
13	Diện tích đầu đỉnh	$S_1$	0,002597	$dm^2$
14	Cường độ chịu nén của bê tông	$\sigma_{bt}$	50000	$kG/dm^2$
15	Chiều dài đoạn làm việc của đỉnh	$L_d$	0,34	$dm$

Giải hệ phương trình (1) với các thông số đầu vào Bảng 1 bằng phương pháp gần đúng Runge-Kutta bậc 4 [1, 5], ta được quy luật áp suất khí thuốc trong nòng tác dụng lên đỉnh (Hình 2) và quy luật chuyển động của đỉnh theo chiều dài nòng (Hình 3).



Hình 2. Quy luật áp suất theo chiều dài



Hình 3. Quy luật vận tốc theo chiều dài

Từ kết quả tính toán, ta nhận thấy quy luật áp suất trong nòng ban đầu tăng lên rất nhanh đạt giá trị lớn nhất 428,99MPa sau đó giảm dần, quy luật này khác hẳn quy luật áp suất khí thuốc trong nòng súng pháo thông

thường do đỉnh bị cản trở bởi bê tông và vận tốc lớn nhất của đỉnh tại miệng nòng trước khi bạc nhôm va vào mấu hãm bịt kín là 59,16 m/s. Kết quả này chứng tỏ đỉnh có thể đâm được hoàn toàn vào bê tông và tốc độ của đỉnh cũng đảm bảo làm biến dạng bạc nhôm bịt kín khí thuốc phù hợp với thực nghiệm.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình thuật phóng bắn đỉnh với kết cấu đảm bảo hiệu ứng triệt âm giữ bí mật trong các nhiệm vụ leo tường bê tông trong tác chiến đô thị. Kết quả bài toán làm cơ sở cho quá trình nghiên cứu thiết kế chế tạo hoàn chỉnh thiết bị leo tường phục vụ các nhiệm vụ bí mật của lực lượng đặc nhiệm. ❖

Ngày nhận bài: **12/01/2023**

Ngày phản biện: **09/02/2023**

---

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nghiêm Xuân Trinh, Nguyễn Quang Lượng, Nguyễn Trung Hiếu, Ngô Văn Quảng; “*Thuật phóng trong*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2015.
- [2]. Báo cáo tổng kết “*Nghiên cứu thiết kế chế thử súng côn quay và đạn triệt âm kiểu PZAM*”, Viện Vũ khí – TT KHKT – CNQS, 2005.
- [3]. Phạm Huy Chương; “*Giáo trình cơ sở kết cấu và tính toán thiết kế máy tự động*”, HVKTQS, 2014.
- [4]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ; “*Thuật phóng trong của súng pháo*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 1976.
- [5]. Nguyễn Văn Thủy, Trần Văn Định, Trần Đình Thành; “*Cơ sở thiết kế đạn súng bộ binh*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2017.