

## Nghiên cứu ảnh hưởng xúc tác cháy chì (II) oxit và chì salixylat đến tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit mác RSI

Nguyễn Đức Long, Phạm Văn Thuận\*, Nguyễn Văn Hùng

Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục CNQP, số 192 Đức Giang, Long Biên, Hà Nội, Việt Nam.

\*Email: phamthuan9011@gmail.com

Nhận bài: 03/7/2024; Hoàn thiện: 17/9/2024; Chấp nhận đăng: 18/9/2024; Xuất bản: 14/10/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.IPE.2024.96-103>

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng xúc tác cháy (chì (II) oxit, chì salixylat) đến tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit mác RSI. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm thu được mẫu thuốc phóng khi sử dụng 1,5% hệ hỗn hợp xúc tác cháy chì oxit và chì salixylat (theo tỷ lệ về khối lượng 2:1 tương ứng) tốc độ cháy trong khoảng áp suất  $\Delta P=4\div 10$  MPa tăng cao nhất (tốc độ cháy tại 10 MPa,  $U=12,15$  mm/s) và hệ số mũ  $v$  phụ thuộc tốc độ cháy theo áp suất thấp nhất ( $v=0,36$ ), có thể dùng thay thế cho hệ xúc tác cháy đơn chì (II) oxit để cải thiện, nâng cao tốc độ cháy của các loại thuốc phóng ballistit mác RSI sử dụng trong hệ thống pháo, tên lửa, liều phóng ngư lôi,... hiện nay.

**Từ khóa:** Thuốc phóng ballistit; Thuốc phóng RSI; Tốc độ cháy; Xúc tác cháy.

### 1. MỞ ĐẦU

Thuốc phóng ballistit là hệ rắn đồng nhất gồm nhiều cấu tử, có khả năng cháy mà không cần có sự tham gia của oxi bên ngoài, khi cháy tạo ra nhiệt lượng và lượng sản phẩm khí lớn. Nhiệt lượng và sản phẩm khí này được sử dụng làm nguồn năng lượng chuyển động của đầu đạn, đạn phân lực và tên lửa [1]. Về cơ bản quy luật cháy của thuốc phóng ballistit theo quy luật lớp bề mặt song song [2-4]. Đây là quá trình lý hóa học phức tạp, xảy ra sự chuyển hóa chất rắn thành các sản phẩm khí, có nhiệt độ cao (đến 3000 °C) [5-6].

Hàm phụ thuộc của tốc độ cháy theo áp suất  $U(p)$  ngoài phụ thuộc vào bản chất thành phần của thuốc phóng còn phụ thuộc vào khoảng áp suất diễn ra sự cháy. Thông thường, trong kỹ thuật tên lửa (đạn phân lực) hàm phụ thuộc  $U(p)$  được biểu diễn bằng hàm mũ  $v$  [6]:

$$U(p) = B_1 \cdot p^v \quad (1)$$

Thực tế, khoảng áp suất từ 2 MPa đến 15 MPa được cho là khoảng đặc trưng đối với các loại động cơ phản lực. Sự phụ thuộc của tốc độ cháy vào áp suất  $v$  đối với thuốc phóng ballistit không có xúc tác cháy khoảng 0,6 đến 0,8 [6].

Để đảm bảo ứng dụng được trong thực tế cho các loại đạn phân lực (thuốc phóng ballistit), mong muốn của các nhà nghiên cứu là tốc độ cháy phải đạt yêu cầu (tùy từng loại) và hệ số mũ  $v$  thấp nhất. Một trong các cách điều chỉnh tốc độ cháy và hệ số mũ  $v$  thuận tiện và tối ưu nhất là đưa xúc tác cháy vào thuốc phóng. Nghiên cứu ảnh hưởng của xúc tác cháy đến quy luật cháy của thuốc phóng có ý nghĩa rất quan trọng, từ đó cho phép điều chỉnh tốc độ cháy  $u$  và giảm thiểu sự phụ thuộc của nó vào áp suất  $p$  và nhiệt độ cháy ban đầu ( $T_0$ ) [5-6].

Hiện nay, các nghiên cứu về quy luật tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit hai gốc năng lượng (nitroxenlulo, nitroglyxerin) đã được đề cập khá nhiều [5-6]. Tuy nhiên, việc xác lập hệ xúc tác cháy tối ưu cho từng thành phần thuốc phóng cụ thể cũng vẫn còn là đối tượng nghiên cứu cho các nhà khoa học. Ở trong nước, đã có một số công trình nghiên cứu về ảnh hưởng xúc tác cháy khác nhau đến tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit hai gốc nhưng chủ yếu chỉ tập trung khảo sát tốc độ cháy ở một áp suất cụ thể mà chưa nghiên cứu sâu về quy luật cháy tại các áp suất khác nhau.

Phụ gia tốc độ cháy thuốc phóng ballistit 2 gốc có nhiệt lượng cháy trung bình (700÷900

**Nghiên cứu khoa học công nghệ**

Kcal/kg) thường được sử dụng như chì oxit, chì phtalat, chì salixylat hoặc các oxit và các muối của kim loại có hóa trị thay đổi. Thành phần hóa học một số mìn thuốc phóng keo có nhiệt lượng cháy trung bình được trình bày trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học và chỉ tiêu năng lượng, thuật phóng của một số loại thuốc phóng keo có nhiệt lượng cháy trung bình.

| TT | Thành phần, (%)            | Ký hiệu mìn thuốc phóng |      |      |         |       |      |
|----|----------------------------|-------------------------|------|------|---------|-------|------|
|    |                            | HДТ-3                   | H    | HM-2 | РСИ-12К | PHДСИ | ДСИ  |
| 1  | Nitroxenlulo               | 55,5                    | 56,5 | 53,5 | 55,5    | 58,0  | 58,5 |
| 2  | Nitroglyxerin              | 26,5                    | 28,0 | 27,0 | 27,0    | 16,5  | -    |
| 3  | Nitrodiglycol              | -                       | -    | -    | -       | 15,0  | 36,0 |
| 4  | Xentralit                  | 3,0                     | 3,0  | -    | 3,0     | 3,0   | 2,0  |
| 5  | Dinitrotoluen              | 9,0                     | 11,0 | 15,0 | 11,0    | 4,0   | -    |
| 6  | Dibutylphtalat             | 4,5                     | -    | -    | -       | -     | -    |
| 7  | Vazolín                    | 1,0                     | 2,0  | 1,0  | 1,0     | 1,0   | 1,0  |
| 8  | Magie oxit                 | -                       | -    | 2,0  | -       | -     | -    |
| 9  | Chì oxit                   | -                       | -    | -    | 1,0     | 1,0   | 1,0  |
| 10 | CaCO <sub>3</sub>          | -                       | -    | -    | 1,0     | 1,0   | 1,0  |
| 11 | Hàm ẩm                     | 0,5                     | 0,5  | 0,5  | 0,5     | 0,5   | 0,5  |
| 12 | Nhiệt lượng cháy, Kcal/kg  | 765                     | 870  | 870  | 850     | 835   | 820  |
| 13 | Thể tích khí, l/kg         | 1000                    | 980  | 980  | 960     | 835   | -    |
| 14 | Nhiệt độ cháy, K           | 2600                    | 2900 | 2900 | 2800    | -     | -    |
| 15 | Lực thuốc phóng, T.m/kg    | 98                      | 106  | 106  | 104     | -     | -    |
| 16 | Tốc độ cháy ở 10 MPa, mm/s | -                       | 10   | 10,5 | 12,0    | 10,5  | 10,5 |

Theo tài liệu nghiên cứu [7], khi thêm đến 3,0% xúc tác cháy chì oxit (có diện tích bề mặt  $S = 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) vào thuốc phóng H, tốc độ cháy của mẫu thuốc đạt 11,0 mm/s ở áp suất 10 MPa và hệ số phụ thuộc của tốc độ cháy vào áp suất  $v=0,14$  (ở  $3 \div 10 \text{ MPa}$ ), còn khi thêm hệ xúc tác cháy hỗn hợp 2,0% chì salixylat và 2,0% đồng salixylat vào thuốc phóng hai gốc có nhiệt lượng cháy xấp xỉ 950 Kcal/kg, tốc độ cháy của thuốc phóng tăng từ 9,2 mm/s đến 14,3 mm/s ở áp suất 10 MPa.

Với công trình nghiên cứu trong nước đã nghiên cứu quy luật cháy tại các áp suất khác nhau đối với thuốc phóng ballistit hai gốc có nhiệt lượng cháy cao ( $> 1000 \text{ Kcal/kg}$ ), khi sử dụng hệ xúc tác cháy hỗn hợp: 1,57% chì salixylat + 1,57% đồng salixylat bazơ + 1,26% cacbon, tốc độ cháy tăng lên tới 72,5% ở 10 MPa và hệ số mũ  $v$  giảm từ 0,67 xuống còn 0,30 (so với mẫu không xúc tác).

Trong điều kiện nguồn vật tư, nguyên liệu đầu sử dụng trong nước, nhiều loại thuốc phóng ballistit 2 gốc có nhiệt lượng cháy trung bình với việc sử dụng cùng đơn thành phần công bố theo tài liệu và khảo sát mẫu của Nga, kết quả tốc độ cháy của các loại thuốc phóng chế tạo trong nước ở các áp suất cháy khác nhau thực tế thấp hơn so với tài liệu và mẫu khảo sát. Điều đó được thể hiện rõ ràng đối với thuốc phóng ballistit mìn RSI sử dụng chì oxit làm xúc tác cháy. Theo tài liệu trong nước, với thuốc phóng RSI được nghiên cứu, chế tạo trong nước với nhiệt lượng cháy (842÷858) Kcal/kg có tốc độ cháy (10,8÷11,3) mm/s ở 10 MPa, trong khi đó, theo khảo sát và tài liệu công bố [7] tốc độ cháy đạt (11,6÷12,0) mm/s và hệ số phụ thuộc tốc độ cháy vào áp suất  $v = 0,41$ . Vì vậy, việc nghiên cứu các loại xúc tác cháy để cải thiện, nâng cao tốc độ cháy và giảm hệ số mũ  $v$  đối với hệ thuốc phóng RSI sử dụng trong hệ thống pháo, tên lửa, liều phóng ngư lôi,... trên cơ sở tận dụng nguồn nguyên vật liệu trong nước là vấn đề cấp thiết và khả thi.

Trong giới hạn bài báo này trình bày một số kết quả chính trong nghiên cứu ảnh hưởng của xúc

tác cháy chì (II) oxit và chì salixylat đến tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit trên cơ sở RSI thông qua các hàm phụ thuộc  $U(p)$ ,  $Z(p)$  và hệ số phụ thuộc áp suất vào tốc độ cháy  $v$ .

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Vật tư, hóa chất

- Nitroxenlulo (NC): hàm lượng N, %: 11,96; hàm lượng tro, %:  $\leq 0,5$ ; xuất xứ: Việt Nam.
- Nitroglyxerin (NG): độ an định Abel ở  $72^{\circ}\text{C}$ , phút, không nhỏ hơn: 30; độ pH:  $7\div 9$ ; xuất xứ: Việt Nam.
- Xentralit 2: Hàm ẩm, %, không lớn hơn 0,5; hàm lượng anilin, %: 0,26; xuất xứ: Trung Quốc.
- Dinitrotoluen (DNT): Tinh thể màu vàng; hàm lượng MNT, %:  $\leq 1,0$ ; hàm lượng tro, %:  $\leq 0,04$ ; Xuất xứ: Việt Nam.
- Vazolin: Hàm lượng các chất bay hơi, %, không lớn hơn: 0,5; xuất xứ: Trung Quốc.
- Kẽm stearat: Hàm ẩm, %, không lớn hơn: 2,0; xuất xứ: Trung Quốc.
- Chì oxit (PbO): Bột màu đỏ nhạt, độ tinh khiết, %:  $\geq 99,5$ ; Cỡ hạt trung bình,  $\mu\text{m}$ :  $\leq 250$ ; xuất xứ: Trung Quốc.
- Canxi cacbonat ( $\text{CaCO}_3$ ): Bột màu trắng, độ tinh khiết, %:  $\geq 99,5$ ; xuất xứ: Trung Quốc.
- Chì salixylat (PbSal): Hàm lượng chì, %:  $59,1\div 60,3$ ; hàm lượng hao hụt khi sấy, %:  $\leq 0,5$ ; hàm lượng tan trong nước, %:  $\leq 1,3$ ; Cỡ hạt trung bình,  $\mu\text{m}$ :  $\leq 50$ ; xuất xứ: Viện T chế tạo.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm. Nghiên cứu lựa chọn thành phần và công nghệ chế tạo mẫu thuốc phóng trong phòng thí nghiệm.
- Sử dụng phần mềm Real, kết hợp sử dụng bảng giá trị hệ số nhiệt-hóa  $\beta$  các chất hóa học trong thành phần thuốc phóng để tính toán các thông số thuật phóng, năng lượng, lựa chọn các thông số phù hợp trước khi tiến hành trộn mẫu. Các chất chì oxit, kẽm stearat là những chất có nhiệt độ phân hủy cao hoặc sử dụng ở tỷ lệ rất nhỏ, do đó, có thể được bỏ qua.

Công thức tính nhiệt lượng  $Q_v = \sum n_i \cdot \beta_i$

Trong đó:  $n_i$  - Thành phần chất  $i$  trong thuốc phóng;

$\beta_i$  - Hệ số nhiệt hóa chất  $i$  trong thuốc phóng.

- Phương pháp đo đạc:

- + Nhiệt lượng cháy  $Q_v$ : Xác định theo tiêu chuẩn TCVN/QS 889:2019.
- + Tốc độ cháy ở áp suất không đổi: Xác định theo tiêu chuẩn TCVN/QS 888:2019.
- + Xác định khối lượng riêng thuốc phóng theo TQSA 1282:2006.
- + Xác định hàm lượng NG, DNT, xentralit theo TCVN/QS 755:2013.
- + Xác định hàm lượng vazolin theo 31 TC 110:2001.
- + Xác định hàm ẩm của thuốc phóng theo TQSA 1275:2006.
- + Đo an định hóa học bằng phương pháp áp kế TCVN/QS 629:2016.

- Phương trình quy luật tốc độ cháy: Hàm phụ thuộc của tốc độ cháy theo áp suất  $U(p)$  được biểu diễn bằng hàm mũ theo phương trình (1). Trong đó, hệ số  $B_l$  và hệ số mũ  $v$  được xác định thông qua nhập số liệu tốc độ cháy tại các áp suất cháy khác nhau trên phần mềm Origin 2021.

- Hiệu quả xúc tác cháy được đánh giá thông qua đại lượng  $Z(p)$ , là tỷ số giữa tốc độ cháy của mẫu chứa xúc tác cháy so với mẫu nền (không chứa xúc tác cháy) tại áp suất tương ứng. Đại lượng  $Z(p)$  được biểu thị bằng công thức:

$$Z(p) = U(p)/U_0(p) \quad (2)$$

Trong đó,  $U(p)$  là tốc độ cháy của mẫu chứa xúc tác cháy tại áp suất  $P$ , mm/s;  $U_0(p)$  là tốc độ cháy của mẫu nền tại áp suất  $P$ , mm/s.

- Chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm: các mẫu thuốc phóng được trộn, cán theo công nghệ chế tạo thuốc phóng keo và được ép thành từng thỏi có đường kính  $7^{+0,3}$  mm, chiều dài  $80^{+0,5}$  mm dạng đặc.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

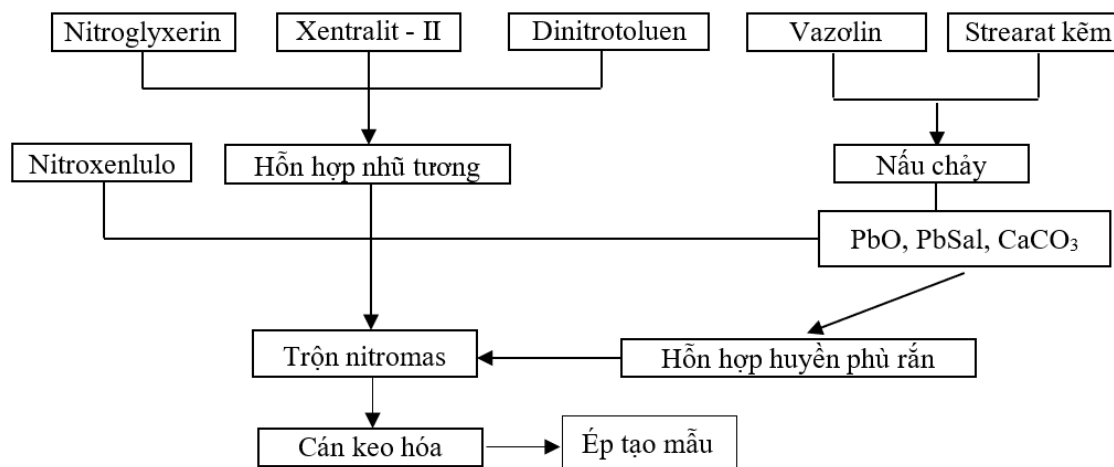
#### 3.1. Tính toán, xác lập đơn thành phần và chế thử các mẫu thuốc phóng

Trên cơ sở thành phần hóa học của thuốc phóng ballistit mác RSI, nhóm nghiên cứu đã tiến hành tính toán, xác lập đơn thành phần theo các phương án sử dụng chì oxit, chì salixylat và hỗn hợp của chúng làm xúc tác cháy. Nhóm nghiên cứu thiết kế, lựa chọn 05 đơn thành phần gồm: M0 (không chứa xúc tác cháy); M1, M2 và M3 (xúc tác cháy chì oxit theo tỷ lệ 1,0%, 1,2% và 1,5% tương ứng), M4 (1,5% xúc tác cháy chì salixylat), M5 (1,5% xúc tác cháy hỗn hợp chì oxit và chì salixylat theo tỷ lệ về khối lượng 2:1) theo bảng 2 để chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm. Hàm lượng phụ gia ổn định cháy ( $\text{CaCO}_3$ ) của các mẫu đều như nhau (1,0%).

**Bảng 2.** Đơn thành phần tính toán các mẫu thuốc phóng keo ballistit chế tạo.

| TT | Thành phần                           | ĐVT     | M0    | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    |
|----|--------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Nitroxenlulo                         | %       | 56,8  | 56,3  | 56,2  | 56,0  | 56,0  | 56,0  |
| 2  | Nitroglycerin                        | %       | 28,5  | 28,2  | 28,1  | 28,0  | 28,0  | 28,0  |
| 3  | Dinitrotoluen                        | %       | 9,2   | 9,0   | 9,0   | 9,0   | 9,0   | 9,0   |
| 4  | Xentralit số 2                       | %       | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   |
| 5  | Vazolin                              | %       | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   |
| 6  | Chì oxit                             | %       | -     | 1,0   | 1,2   | 1,5   | -     | 1,0   |
| 7  | Chì salixylat                        | %       | -     | -     | -     | -     | 1,5   | 0,5   |
| 8  | $\text{CaCO}_3$                      | %       | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   |
| 9  | Ấm                                   | %       | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| 10 | Strearat kẽm                         | %       | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |
| 11 | Nhiệt lượng cháy tính toán, $Q_{tt}$ | Kcal/kg | 883,8 | 873,5 | 870,7 | 866,8 | 860,9 | 864,9 |

Các mẫu thuốc phóng được trộn nitromas, cán keo hóa và ép tạo thỏi theo quy trình công nghệ chế tạo thuốc phóng keo ballistit trong phòng thí nghiệm theo sơ đồ hình 1.



**Hình 1.** Sơ đồ tiến trình công nghệ chế tạo mẫu thuốc phóng ballistit trong phòng thí nghiệm.

### 3.2. Đặc trưng lý hóa của các mẫu thuốc phóng ballistit

Kết quả xác định một số chỉ tiêu lý hóa của các mẫu thuốc phóng ballistit chế tạo như: nhiệt lượng cháy, mật độ và độ an định hóa học, được thể hiện theo bảng 3.

**Bảng 3.** Kết quả xác định chỉ tiêu lý hóa của các mẫu thuốc phóng ballistit chế tạo.

| TT | Mẫu thành phần | Nhiệt lượng cháy đo đạc $Q_{đo}$ , Kcal/kg | Mật độ, $g/cm^3$ | Độ an định hóa học bằng phương pháp áp kế $T_a = 7h$ , mmHg |
|----|----------------|--|------------------|---|
| 1  | M0             | 872,5                                      | 1,582            | 48  |
| 2  | M1             | 864,6                                      | 1,589            | 40  |
| 3  | M2             | 862,4                                      | 1,590            | 41  |
| 4  | M3             | 857,5                                      | 1,592            | 43  |
| 5  | M4             | 852,3                                      | 1,598            | 45  |
| 6  | M5             | 855,8                                      | 1,597            | 46  |

Từ kết quả nhận được ở bảng 3 cho thấy, khi thêm lượng xúc tác cháy chì oxit (hệ số nhiệt hóa  $\beta=0$  cal/%) và chì salixylat (hệ số nhiệt hóa  $\beta=-5$  cal/%) tăng từ 0% (mẫu M0) đến 1,5% (mẫu M4, M5), nhiệt lượng cháy thực tế của mẫu thuốc phóng giảm không nhiều từ 872,5 cal/g đến 852,3 cal/g. Mật độ và độ an định hóa học của các mẫu thuốc phóng chế tạo đều đạt yêu cầu theo điều kiện kỹ thuật thuốc phóng RSI chế tạo trong nước (Mật độ  $\geq 1,58$  g/cm<sup>3</sup>; độ an định bằng phương pháp áp kế  $\leq 60$  mmHg).

### 3.3. Ảnh hưởng hàm lượng xúc tác cháy chì (II) oxit, chì salixylat đến tốc độ cháy của các mẫu thuốc phóng ballistit

Kết quả xác định tốc độ cháy tại các áp suất cháy khác nhau của các mẫu thuốc phóng có đơn thành phần từ M0 đến M5 được trình bày trong bảng 4.

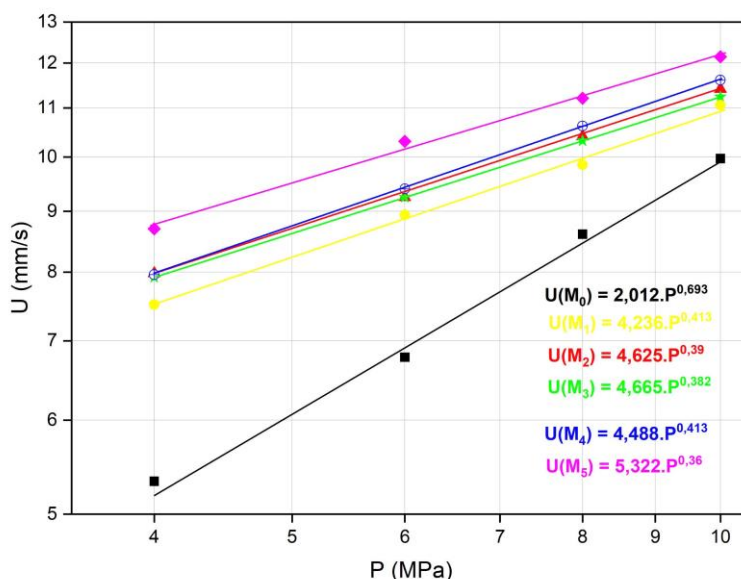
**Bảng 4.** Kết quả xác định tốc độ cháy tại các áp suất cháy khác nhau của các mẫu thuốc phóng có đơn thành phần từ M0 đến M5.

| Mẫu | Tốc độ cháy $U(p)$ tại các áp suất (MPa), mm/s |       |       |       | $Z(p) = U(p)/U_0(p)$ tại các áp suất (MPa) |       |       |       |
|-----|--|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
|     | 4  | 6     | 8     | 10    | 4  | 6     | 8     | 10    |
| M0  | 5,33   | 6,78  | 8,61  | 9,97  | -  | -     | -     | -     |
| M1  | 7,51   | 8,94  | 9,85  | 11,06 | 1,409                                      | 1,319 | 1,144 | 1,109 |
| M2  | 7,98   | 9,25  | 10,41 | 11,41 | 1,497                                      | 1,364 | 1,209 | 1,144 |
| M3  | 7,92   | 9,21  | 10,32 | 11,24 | 1,486                                      | 1,358 | 1,199 | 1,127 |
| M4  | 7,96   | 9,40  | 10,62 | 11,61 | 1,493                                      | 1,386 | 1,233 | 1,164 |
| M5  | 8,70   | 10,31 | 11,21 | 12,15 | 1,632                                      | 1,521 | 1,302 | 1,219 |

Từ kết quả bảng 4 có thể biểu diễn dưới dạng đồ thị về sự phụ thuộc của tốc độ cháy  $U(p)$  và hiệu quả xúc tác cháy  $Z(p)$  theo áp suất của các mẫu thuốc phóng từ M0 đến M5 (hình 1 và hình 2).

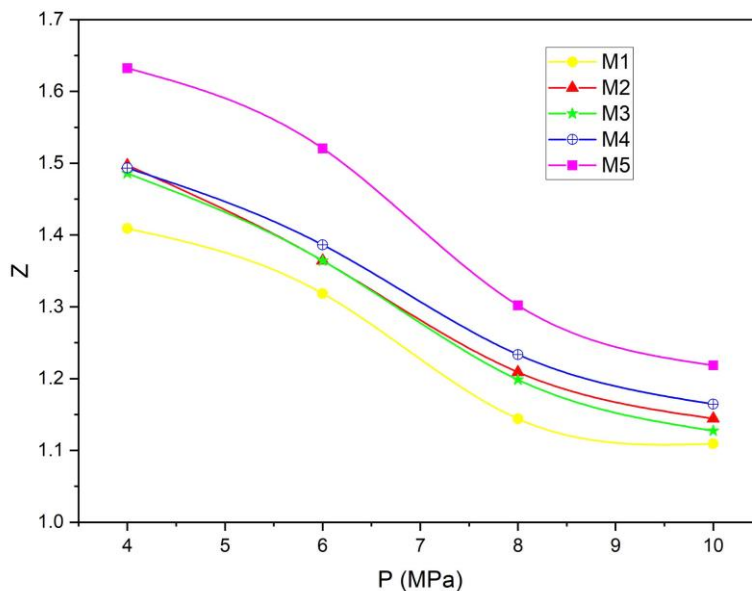
Từ hình 2 và hình 3 cho thấy, tốc độ cháy ( $U$ ) và hiệu quả xúc tác cháy ( $Z$ ) của các mẫu thuốc phóng có chứa xúc tác cháy từ M1 đến M5 đều tăng lên rất cao từ 14,4% đến 63,2% trong khoảng áp suất  $\Delta P=4\div 8$  MPa và độ tăng tốc độ cháy giảm dần trong khoảng áp suất  $\Delta P=8\div 10$  MPa (từ 30,2% đến 10,9%). Từ đó cho thấy ảnh hưởng lớn của xúc tác cháy chì oxit và chì salixylat đến tốc độ cháy của mẫu thuốc phóng và giảm dần theo độ tăng của áp suất. Điều này được giải thích khi tăng áp suất, khung muội cacbon trên bề mặt cháy giảm nhanh do ở áp suất càng cao, tốc độ cháy của các cấu tử trong thuốc phóng càng lớn dẫn đến dòng khí phụt lên càng mạnh, áp suất môi trường xung quanh bề mặt cháy càng lớn, khả năng phân tán khung muội cacbon càng cao và sản

phẩm cháy phân hủy hoàn toàn hơn.



**Hình 2.** Sự phụ thuộc tốc độ cháy ( $U$ ) theo áp suất ( $P$ ) của các mẫu thuốc phóng từ M0 đến M5.

- |  |  |
|--|--|
| M <sub>0</sub> – Không chứa xúc tác cháy | M <sub>3</sub> – 1,5% PbO              |
| M <sub>1</sub> – 1,0% PbO                | M <sub>4</sub> – 1,5% PbSal            |
| M <sub>2</sub> – 1,2% PbO                | M <sub>5</sub> – 1,0% PbO + 0,5% PbSal |



**Hình 3.** Sự phụ thuộc của ( $Z$ ) theo áp suất ( $P$ ) của các mẫu thuốc phóng từ M0 đến M5.

- |  |  |
|--|--|
| M <sub>0</sub> – Không chứa xúc tác cháy | M <sub>3</sub> – 1,5% PbO              |
| M <sub>1</sub> – 1,0% PbO                | M <sub>4</sub> – 1,5% PbSal            |
| M <sub>2</sub> – 1,2% PbO                | M <sub>5</sub> – 1,0% PbO + 0,5% PbSal |

Đối với mẫu M1, M2 khi tăng hàm lượng xúc tác chì oxit từ 1,0% đến 1,2% tốc độ cháy tăng cao kèm theo sự giảm hệ số mũ  $\nu$  phụ thuộc áp suất từ 0,413 xuống 0,390 trong khoảng áp suất  $\Delta P=4\div 10$

MPa. Nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này là khi tăng hàm lượng các hạt xúc tác chì oxit làm tăng hàm lượng chất xúc tác trên bề mặt cháy, tăng khả năng hội tụ các hạt xúc tác cháy trên khung muôi cacbon (được hình thành từ các cấu tử thuốc phóng chứa các chất hóa dẻo phụ DNT) tăng khả năng lan truyền nhiệt thông qua hằng số dẫn nhiệt ( $\lambda$ ) làm cho nhiệt độ vùng pha K nhận được càng tăng, dẫn đến tốc độ cháy càng cao. Tốc độ cháy ở áp suất 10 MPa của mẫu M1 và M2 tương đương với tốc độ cháy của thuốc phóng RSI chế tạo trong nước.

Đối với mẫu M3, khi tăng hàm lượng xúc tác cháy chì oxit từ 1,2% (mẫu M2) đến 1,5% (mẫu M3), tốc độ cháy và hệ số mũ  $v$  có xu hướng giảm nhẹ (từ 0,390 xuống 0,382). Đối với mẫu M4 khi sử dụng xúc tác cháy chì salixylat thay thế cho chì oxit với hàm lượng 1,5%, tốc độ cháy và hệ số mũ  $v$  đều tăng không nhiều. Điều này thể hiện khả năng hội tụ các hạt xúc tác trên khung muôi cacbon đã đạt đến mức giới hạn, làm giảm ảnh hưởng của xúc tác cháy đến sự tăng tốc độ cháy của mẫu thuốc phóng.

Đặc biệt, với mẫu M5 khi sử dụng 1,5% hỗn hợp xúc tác cháy kết hợp giữa chì oxit và chì salixylat (theo tỷ lệ khối lượng 2:1 tương ứng), tốc độ cháy trong khoảng áp suất  $\Delta P=4\div 10$  MPa tăng nhiều nhất (tốc độ cháy tại 10 MPa,  $U=12,15$  mm/s) và hệ số mũ  $v$  phụ thuộc tốc độ cháy vào áp suất thấp nhất ( $v=0,36$ ). So sánh với mẫu khảo sát và tài liệu công bố thuốc phóng PCI của Nga [7], trong khoảng áp suất  $\Delta P=4\div 10$  MPa mẫu M5 có tốc độ cháy cao hơn và hệ số phụ thuộc tốc độ cháy vào áp suất thấp hơn. Một trong những nguyên nhân dẫn đến hiện tượng tăng tốc độ cháy mẫu M5 như vậy có thể là do khả năng phân tán đồng đều các hạt xúc tác rắn có kích thước lớn (chì oxit) và nhỏ (chì salixylat) trên bề mặt cháy, tăng khả năng hội tụ các hạt xúc tác cháy trên khung muôi cacbon làm tăng tốc độ cháy. Như vậy, khi sử dụng hỗn hợp xúc tác cháy chì oxit và chì salixylat (mẫu M5) với hàm lượng tương đương (1,5%) so với xúc tác đơn chì oxit, chì salixylat, nhiệt lượng cháy của mẫu thuốc phóng giảm không đáng kể, tốc độ cháy ( $U$ ) và hiệu quả xúc tác cháy ( $Z$ ) của mẫu đạt tối ưu nhất.

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở thành phần hóa học của thuốc phóng ballistit RSI theo các tài liệu đã được công bố, nhóm nghiên cứu đã tiến hành tính toán, xác lập đơn thành phần và chế tạo các mẫu thuốc phóng trong phòng thí nghiệm theo các phương án sử dụng chì oxit, chì salixylat và hỗn hợp của chúng làm xúc tác cháy.

Kết quả thu được khi sử dụng hỗn hợp chì oxit và chì salixylat (1,5%) làm xúc tác cháy, tốc độ cháy ( $U$ ) và hiệu quả xúc tác cháy ( $Z$ ) của mẫu đạt tối ưu nhất. Với kết quả thu được, có thể ứng dụng hệ hỗn hợp xúc tác cháy chì oxit và chì salixylat nói chung và đơn thành phần thuốc phóng mẫu (M5) nói riêng thay thế cho hệ xúc tác cháy đơn (chì oxit) để cải thiện, nâng cao tốc độ cháy của thuốc phóng ballistit mác RSI sử dụng trong hệ thống pháo, tên lửa, liều phóng ngư lôi,... hiện nay.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Công Hoà, Trần Ba, Dương Đức Thực, “Một số vấn đề cơ sở về thuốc phóng và nhiên liệu tên lửa rắn,” Viện Kỹ thuật quân sự, (1982).
- [2]. Ngô Văn Giao, Dương Công Hùng, Đàm Quang Sang, “Cơ sở lý thuyết cháy nổ,” NXB Quân đội Nhân dân (2007).
- [3]. К.К. Андреев, “Термическое разложение и горение взрывчатых веществ,” И з д. “Наука”, Москва (1966).
- [4]. А.М. Виницкий, “Ракетные двигатели на твердом топливе,” Москва (1973).
- [5]. А.П. Денисюк, “Определение баллистических характеристик и параметров горения порохов и ТРТ,” Москва (2009).
- [6]. А.П. Денисюк, “Горение порохов и твердых ракетных топлив,” Российский химико-технологический университет им. Менделеева, Издательство Москва (1994).

- [7]. Е.Ф. Жегров, “Химия и технология баллистических порохов, твердых ракетных и специальных топлив,” Том 1 (2011).

#### **ABSTRACT**

##### **Study on the effect of lead (II) oxide and lead salicylate combustion catalysts on the combustion rate of RSI brand ballistite propellant**

*The article presents the results of the study on the influence of the combustion catalyst content (lead (II) oxide, lead salicylate) on the combustion rate of RSI brand ballistite propellant. The experimental research results obtained the propellant sample when using 1,5% of the mixed system of lead oxide and lead salicylate combustion catalysts (in the mass ratio of 2:1 respectively) the combustion speed in the pressure range  $\Delta P=4\div 10$  MPa increased the highest (combustion speed at 10 MPa,  $U=12,15$  mm/s) and the coefficient  $v$  depending on the combustion speed at the lowest pressure ( $v=0,36$ ), can be used to replace the single lead (II) oxide combustion catalyst system to improve and increase the combustion speed of RSI brand ballistite propellants used in artillery systems, missiles, torpedo launchers,... currently.*

**Keywords:** Ballistite propellant; RSI propellant; Burning rate; Combustion catalyst.