

## Ảnh hưởng của một số yếu tố đến đặc trưng năng lượng và tốc độ cháy của thuốc hỏa thuật trên nền silic và chì tetra oxit sử dụng trong một số loại hỏa cụ

Nguyễn Văn Tính<sup>1\*</sup>, Hoàng Trung Hữu<sup>1</sup>, Hoàng Khắc Hoàng<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Hiếu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Vũ khí/Học viện Kỹ thuật Quân sự;

<sup>2</sup>Viện Tên Lửa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

<sup>3</sup>Nhà máy Z121/Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.

\*Email: tinhhp76@gmail.com

Nhận bài: 25/8/2022; Hoàn thiện: 05/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 20/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.213-220>

### TÓM TẮT

Thuốc hỏa thuật môi cháy là một trong những bộ phận quan trọng của chi tiết môi cháy nằm trong ngòi đạn, tên lửa. Quá trình hoạt động tin cậy của các chi tiết này là nhờ thuốc hỏa thuật cháy theo các yêu cầu kỹ thuật khác nhau. Trong nghiên cứu này, tốc độ cháy và một số đặc tính cháy nổ của loại thuốc hỏa thuật này được mô tả. Kết quả nghiên cứu cho thấy, thuốc hỏa thuật có chứa 85,0%  $Pb_3O_4$ , 15,0% Si và 1,0% NC (cho ngoài) có tốc độ cháy cao và ổn định là 109,0 mm/s.

**Từ khóa:** Thuốc cháy hỏa thuật; Thuốc môi cháy; Tốc độ cháy; Đặc trưng năng lượng.

### 1. MỞ ĐẦU

Đối với các thuốc hỏa thuật không có khả năng bắt cháy tin cậy từ phương tiện gây cháy thì cần phải có hỗn hợp chuyên dụng để bắt cháy từ những phương tiện môi cháy sơ cấp. Hỗn hợp thuốc này được gọi là thuốc môi cháy (TMC) và chúng được chế tạo ở dạng hạt, sau đó, được nén trực tiếp lên phía trên liều thuốc cần môi cháy (liều thuốc chính), đôi khi chúng còn được gọi là thành phần môi cháy trung gian [1, 3].

TMC là hỗn hợp bao gồm chất oxy hóa và chất cháy có hoạt tính thấp, dễ dàng bắt cháy từ phương tiện sơ cấp như hạt lửa, dây cháy chậm và tạo ra lượng xỉ rắn nhiều nhất có thể đọng ở trên bề mặt liều thuốc cần gây cháy. Qua khảo sát thực tế cho thấy, loại TMC thường được sử dụng trong trụ giữ chậm ít sinh khí có vách ngăn của tên lửa IGLA, vành tự hủy và kíp nổ vi sai điện [4, 7]

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày tập trung vào kết quả khảo sát ảnh hưởng của cỡ hạt nguyên liệu, tỉ lệ thành phần của TMC trên cơ sở silic và chì tetraoxit đến tốc độ cháy, nhiệt lượng cháy, thể tích sinh khí và nhiệt độ bùng cháy.

### 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Thuốc hỏa thuật môi cháy có thành phần gồm: Silic (Si), Chì Tetraoxit ( $Pb_3O_4$ ) và chất kết dính nitroxenlulo (NC số 3).

#### 2.2. Thiết bị và hóa chất

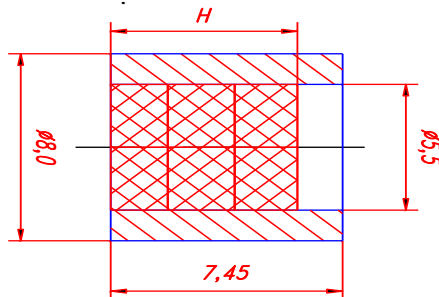
- Thiết bị đóng nén THT 10 vị trí, bộ dụng cụ nén THT, thiết bị đo thời gian cháy MS02-99, phạm vi đo 1,0  $\mu s \div 9999,9 s$ , thử nghiệm nhiệt ẩm Enviro FLX 500 có khoảng nhiệt độ làm việc (20  $\div$  60)  $^{\circ}C$ , sai số  $\pm 1,5\%$ , độ ẩm tối đa 100% (Nhà máy Z121). Thiết bị đo nhiệt lượng cháy Parr 6200 (Mỹ) dải đo tối đa 7.800 cal, độ chính xác 5 cal/g, Áp kế, phạm vi đo 0 - 7000 mbar (Học viện KTQS), thiết bị đo nhiệt độ bùng cháy, nhiệt độ gia nhiệt đến 600  $^{\circ}C$ , sai số  $\pm 0,2^{\circ}C$  (Viện TPTN), các loại sàng lưa 12, 15, 38, 58, 70, 100 #/cm.

- Chì tetraoxit dạng tinh thể màu nâu đỏ, độ tinh khiết  $\geq 98,5\%$  (Trung Quốc), kích thước lọt

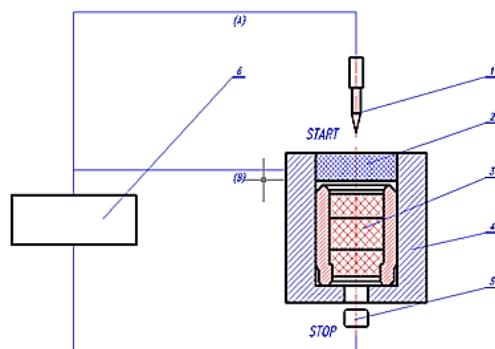
sàng 70 #/cm; Silic tinh thể, độ tinh khiết  $\geq 99,0\%$  (Trung Quốc), kích thước lọt sàng 38, 58, 70, 100 #/cm và Nitroxenlulo số 3 có hàm lượng nitơ là 11,82%, độ an định nhỏ hơn 2,5 mlNO/g (Việt Nam).

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Tính toán thiết kế đơn THT: Nhóm tác giả sử dụng phần mềm Real [5].
- Sàng cỡ hạt: Sử dụng sàng lụa để phân loại cỡ hạt chất cháy và chất oxy hóa đảm bảo kích thước hạt từ 0,06 mm đến 0,15 mm.
- Tạo mẫu thuốc hòa thuật: Hỗn hợp chất cháy và chất oxy hóa được trộn sơ bộ sau đó trộn đều lần lượt qua hệ thống sàng 0,9 mm, 0,05 mm, 0,01 mm. Hỗn hợp được cho vào cốc, sau đó đổ dung dịch chất kết dính đã hoà tan trong dung môi, khuấy đều cho dung môi bay hết tạo thành một khối dẻo đồng nhất. Tạo hạt qua sàng có kích thước lỗ 1,0 mm, sau đó, để hong khô tự nhiên trong 24 giờ, chọn hạt qua sàng có kích thước lỗ 0,9 mm và 0,4 mm, thuốc đạt yêu cầu là phần thuốc lọt qua sàng 0,9 mm và không lọt qua sàng 0,4 mm. Sấy khô, mẫu được bảo quản trong túi nilon kín để đo các đặc trưng xạ thuật.
- Xác định nhiệt lượng cháy và thể tích khí sinh ra theo tiêu chuẩn quân sự 06 TCN 889:2001 trên nhiệt lượng kế PARR 6200.
- Xác định nhiệt độ bùng cháy theo tiêu chuẩn quân sự TQSA745:2006.
- Phương pháp thử nghiệm môi trường nhiệt ẩm theo TCVN 7699-2-30:2007.
- Xác định tốc độ cháy: Nguyên lý dựa trên cơ sở xác định thời gian cháy ban đầu và cuối của thoi thuốc có chiều dài xác định  $H$ , từ đó, tính được tốc độ cháy. Tiến hành gá lắp dụng cụ, điều chỉnh áp suất nén, lượng thuốc nén vào ống cháy chậm (hình 1), đo chiều cao cột thuốc sau nén. Sau đó, ống cháy chậm được lắp vào hạt lửa MG-8 và đưa mẫu vào trong bom thử chuyên dụng, tiến hành phát hỏa trên máy đo thời gian có ký hiệu MS02-99 (nguyên lý đo quang, mô tả ở hình 2), ghi kết quả thời gian hiện số trên thiết bị.



Hình 1. Ống cháy chậm nén thuốc môi cháy.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý đo thời gian cháy.

- 1- Kim hỏa; 2 - Hạt lửa MG-8; 3 - Ống cháy chậm; 4 - Thân gá đo thời gian;  
5 - Cảm biến ánh sáng; 6 - Máy đo thời gian.

Đo thời gian cháy 3 lần/mẫu và lấy kết quả trung bình theo công thức:

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{3}$$

Tốc độ cháy được tính như sau:  $u = \frac{H}{\tau} \cdot 1000$

Trong đó:  $\tau$  - Thời gian cháy trung bình, [ms];  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  - Thời gian cháy của 3 lần đo, [ms];  $H$  - Chiều dài của thỏi thuốc, [mm];  $u$  - Tốc độ cháy của thuốc, [mm/s].

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Tính toán thành phần thuốc hỏa thuật

Nguyên tắc đầu tiên, để thiết kế một thành phần hỏa thuật là dựa trên cân bằng oxi của hệ. Tất cả các trường hợp, đối với thành phần thuốc hỏa thuật chứa chất oxi hóa dư không tham gia vào quá trình cháy đều cho hiệu ứng hỏa thuật không tốt, chính vì vậy, trong thành phần hỏa thuật người ta thường không sử dụng thành phần có dư chất oxi hóa [1, 2], đặc biệt là đối với thuốc ít sinh khí. NC không ảnh hưởng nhiều đến quá trình cháy (do hàm lượng rất nhỏ từ 0,5 - 1,0%), các phương trình phản ứng trong hệ Si/Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> xảy ra như sau:



Để tính toán cân bằng oxi ( $K_b$ ), thành phần sản phẩm cháy và một số đặc trưng năng lượng (nhiệt lượng cháy ( $Q$ ), thể tích khí riêng ( $V_0$ ) và nhiệt độ cháy ( $T_1$ ) dựa vào phần mềm Real. Kết quả cụ thể được trình bày ở bảng 1.

**Bảng 1.** Cân bằng oxi, đặc trưng năng lượng và thành phần sản phẩm cháy tính theo phần mềm Real (hàm lượng NC 0,5%).

Tỉ lệ Si/ Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , %	$K_b$	Đặc trưng năng lượng			Thành phần sản phẩm cháy, mol/kg							
		$Q$ (Kcal/kg)	$T_1$ (K)	$V_0$ (l/kg)	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Pb	SiO <sub>2</sub>	Si
5/95	+2,2	360,2	2012,1	4,6	0,05	0,05	0,01	0,05	0,02	4,2	2,6	0,1
10/90	-3,7	380,3	2209,4	4,6	0,05	0,05	0,01	0,05	0,02	3,9	2,6	1,0
15/85	-9,9	370,1	2141,3	4,6	0,05	0,06	0,01	0,05	0,02	3,7	2,5	2,9
20/80	-16,0	358,2	2067,1	4,6	0,05	0,06	0,01	0,05	0,02	3,5	2,3	4,8

Từ kết quả trong bảng 1, cho thấy:

- Cân bằng oxi của hỗn hợp tiến về đến giá trị 0 khi tăng hàm lượng Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> từ 80% đến 90%, khi đạt 95%  $K_b$  chuyển sang giá trị dương;
- Nhiệt lượng cháy ( $Q$ ), nhiệt độ cháy ( $T_1$ ) tăng theo hàm lượng Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> do phản ứng xảy ra càng hoàn toàn và lượng sản phẩm rắn tăng;
- Tổng số mol sản phẩm khí, cũng như thể tích riêng ( $V_0$ ) gần như không thay đổi (lượng khí sinh ra chủ yếu là do quá trình phân hủy);
- Sản phẩm chủ yếu là chất rắn (Pb, SiO<sub>2</sub>) nên đáp ứng được yêu cầu của TMC, hàm lượng này tăng theo hàm lượng cấu tử Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (tăng hàm lượng Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> thì mức độ xảy ra phản ứng càng hoàn toàn).

#### 3.2. Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến đặc trưng năng lượng

Trên cơ sở thành phần thuốc mồi cháy Si/Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, nhóm tác giả đã tiến hành chế tạo mẫu (Silic

và  $Pb_3O_4$  có cỡ hạt lọt sàng 70 #/cm) theo các tỉ lệ khác nhau, trong đó, hàm lượng NC là 0,5%. Kết quả đo các đặc trưng năng lượng được trình bày trong bảng 2.

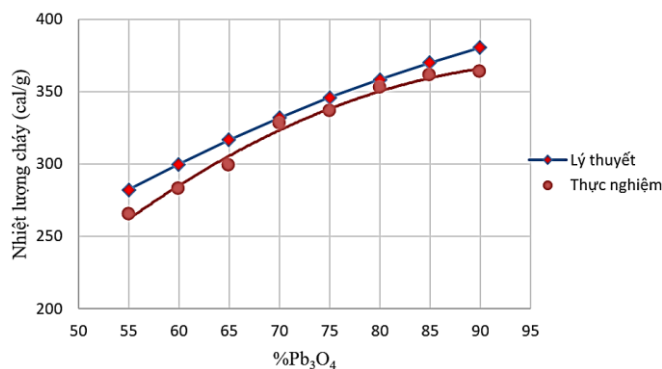
**Bảng 2.** Nhiệt lượng cháy theo tỉ lệ thành phần.

TT	Thành phần, (%)		Đặc trưng năng lượng		
	Si	$Pb_3O_4$	Q (cal/g)	Thể tích sinh khí (ml/g)	Nhiệt độ bùng cháy (°C)
1	10	90	363,47	18,17	482
2	15	85	361,34	18,15	485
3	20	80	352,63	18,99	487
4	25	75	336,51	19,21	494

Từ kết quả bảng 2 và hình 3 cho thấy, khoảng nhiệt lượng cháy cao nhất (từ 361,34 ÷ 363,47 cal/g) của thuốc môi cháy khi hàm lượng  $Pb_3O_4$  nằm trong khoảng 85% ÷ 90% (điều này phù hợp với tính toán lý thuyết), ở tỉ lệ này phản ứng xảy ra gần như hoàn toàn, theo quan sát khi thực nghiệm: mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4$  (85 ÷ 90)% cho lượng xỉ ở đáy thiết bị ít nhất, còn ở (55 ÷ 80)% thì tương đối nhiều (do dư Silic).

- Thể tích khí sinh ra thay đổi không đáng kể, dao động trong khoảng 18,15 ml/g đến 19,21 ml/g, độ chênh lệch lớn nhất là 1,08 ml/g. Như vậy, hệ thuốc môi cháy trên cơ sở Si/ $Pb_3O_4$  là loại ít sinh khí, đảm bảo sử dụng trong hệ kín.

- Đối với nhiệt độ bùng cháy: Đây là một trong những chỉ tiêu quan trọng của thuốc môi cháy, đảm bảo nhận xung nhiệt từ các thành phần hòa thuật khác, đồng thời truyền cháy cho liều thuốc chính [1, 6]. Từ kết quả bảng 2 cho thấy, nhiệt độ bùng cháy tăng khi tăng hàm lượng chất cháy (do Silic khó nóng cháy). Tuy nhiên, so với các loại thuốc môi cháy khác (bảng 3) thì hệ thuốc Si/ $Pb_3O_4$  có nhiệt độ bùng cháy thấp hơn.



**Hình 3.** Đồ thị ảnh hưởng của hàm lượng (%)  $Pb_3O_4$  đến nhiệt lượng cháy.

**Bảng 3.** Nhiệt độ bùng cháy của một số thuốc môi cháy [14].

TT	Hỗn hợp	Tỉ lệ cấu tử, %	Nhiệt độ bùng cháy, °C
1	Zr/ $Fe_2O_3$ /SiO <sub>2</sub>	65/25/10	900
2	Mg/BaO <sub>2</sub>	12/88	570
3	B/BaCrO <sub>4</sub>	5/95	700
4	Si/ $Pb_3O_4$	-	482 ÷ 494

Mẫu thuốc môi cháy có hàm lượng  $Pb_3O_4$  từ (80 ÷ 90)% có nhiệt độ bùng cháy nằm trong khoảng (482 ÷ 487) °C, còn mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4$  = 75% có nhiệt độ bùng cháy cao nhất 494 °C. Như vậy, để đảm bảo môi cháy tin cậy và ổn định thì 03 mẫu thuốc môi cháy có hàm lượng  $Pb_3O_4$  80%, 85% và 90% sẽ cho kết quả tốt hơn.

### 3.3. Nghiên cứu độ nhạy với tia lửa của thuốc mồi cháy

Độ nhạy với tia lửa là một chỉ tiêu quan trọng của thuốc mồi cháy, để đánh giá khả năng bắt cháy của thuốc, nhóm tác giả lựa chọn các mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 = (75 \div 90)\%$ . Thuốc mồi cháy được nén vào ống cháy chậm (áp suất nén  $P = 2000 \text{ kG/cm}^2$ ), dùng tia lửa của dây cháy chậm để mồi cháy. Kết quả xác định độ nhạy với tia lửa được trình bày ở bảng 4.

**Bảng 4.** Độ nhạy với tia lửa của thuốc mồi cháy theo tỉ lệ thành phần.

TT	Thành phần (%)		Số lượng (cái)	Kết quả
	Si	$Pb_3O_4$		
1	10	90	10	Mồi cháy 10/10 cái =100%
2	15	85	10	Mồi cháy 10/10 cái =100%
3	20	80	10	Mồi cháy 10/10 cái =100%
4	25	75	10	Mồi cháy 8/10 cái =80%

Từ kết quả bảng 4 cho thấy, độ nhạy với tia lửa đối với mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 (80 \div 90)\%$  đạt yêu cầu, 100% mồi cháy tốt. Đối với mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 75\%$ , có độ nhạy kém, điều này cũng phù hợp với nhiệt độ bùng cháy cao nhất của mẫu này.

### 3.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy

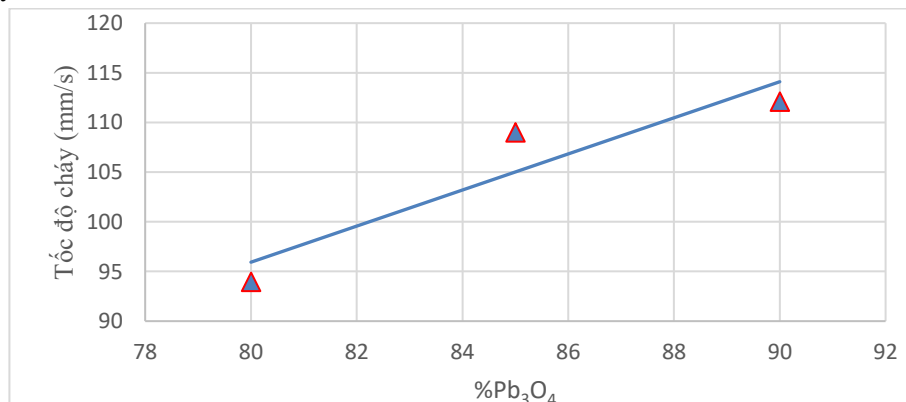
#### 3.4.1. Ảnh hưởng của tỉ lệ thành phần đến tốc độ cháy

Tốc độ cháy phụ thuộc vào đơn thuốc (yếu tố hóa học) và điều kiện cháy (yếu tố lý học), trong đó tỉ lệ thành phần có ảnh hưởng lớn đến tốc độ cháy. Trên cơ sở kết quả đã thử nghiệm ở trên, nhóm tác giả lựa chọn các mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 = 80\%, 85\%, 90\%$ . Tiến hành đóng nén ở áp suất  $P = 2000 \text{ kG/cm}^2$ , mỗi ống cháy chậm được nén 3 lớp thuốc mồi cháy (đảm bảo độ đồng đều trên toàn bộ khối thuốc), đo chiều cao cột thuốc (với  $H = 3,5 \pm 0,1 \text{ mm}$ ), sau đó đo thời gian cháy và tính toán tốc độ cháy. Kết quả được thể hiện trên bảng 5 và hình 4.

**Bảng 5.** Tốc độ cháy của thuốc mồi cháy theo tỉ lệ thành phần.

TT	Tỉ lệ Si/ $Pb_3O_4$ , %	$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$	Hệ số nén chặt (K)	$\tau \text{ (ms)}$	$u \text{ (mm/s)}$
1	10/90	4,70	0,68	31,20	112,11
2	15/85	4,63	0,75	32,11	109,01
3	20/80	4,10	0,73	37,26	93,94

Mật độ khối thuốc của các mẫu ( $4,10 \div 4,70 \text{ g/cm}^3$ ). Mật độ không đều do tỉ trọng của các cấu tử khá chênh lệch nhau [8] ( $\rho_{Si} = 2,3 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{Pb_3O_4} = 8,65 \text{ g/cm}^3$ ). Từ bảng trên ta thấy, khi tăng hàm lượng chất oxi hóa làm tốc độ cháy tăng lên do tỉ lệ các cấu tử tiến gần đến tỉ lệ phản ứng xảy ra hoàn toàn. Ngược lại, tăng hàm lượng Silic tốc độ cháy giảm do Silic khá bền và khó nóng chảy.



**Hình 4.** Đồ thị ảnh hưởng của tỉ lệ thành phần lên tốc độ cháy.

Theo yêu cầu của thuốc môi cháy thì chỉ tiêu tốc độ cháy phải cao. Tuy nhiên, thực tế để đảm bảo khả năng hoạt động tin cậy, ổn định thì phải xem xét đến độ bền cơ lý của khối thuốc được thể hiện ở hệ số nén chặt (K). Theo tài liệu [1, 2] để quá trình cháy được ổn định thì hệ số k dao động từ (0,7 ÷ 0,9). Như vậy, chỉ có các mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 = 80\%$ ,  $85\%$  có hệ số nén chặt k đảm bảo độ ổn định cơ lý cho thổi thuốc.

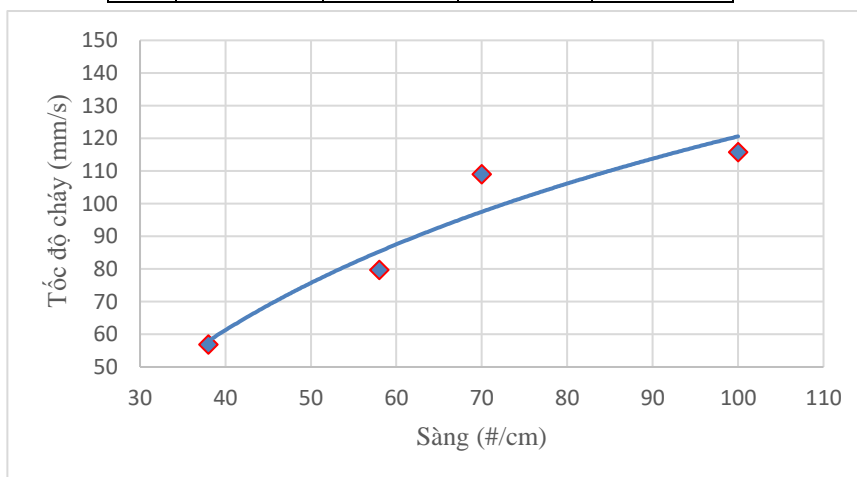
Tóm lại, căn cứ vào các kết quả thử nghiệm ở các hạng mục: đo nhiệt lượng cháy, nhiệt độ bùng cháy, khả năng sinh khí, độ nhạy với tia lửa, tốc độ cháy, thông số đong nén thì thuốc môi cháy có hàm lượng  $Pb_3O_4 = 80\%$ ,  $85\%$  có kết quả khả quan nhất. Tuy nhiên, mẫu thuốc môi cháy hàm lượng  $Pb_3O_4 = 85\%$  có tốc độ cháy và nhiệt lượng cao hơn mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 = 80\%$ . Do đó, nhóm tác giả đã lựa chọn mẫu có hàm lượng  $Pb_3O_4 = 85\%$  để nghiên cứu các nội dung tiếp theo.

### 3.4.2. Ảnh hưởng của cỡ hạt đến tốc độ cháy

Nhóm tác giả đã gia công, nghiền, sàng chọn chất cháy và phân loại theo 4 loại cỡ hạt: Silic lọt sàng 100 #/cm, 70 #/cm, 58 #/cm và 38 #/cm. Tiến hành chế tạo 04 mẫu thuốc môi cháy theo cỡ hạt Silic đã phân loại như trên cùng với chất oxi hóa  $Pb_3O_4$  (hàm lượng 85% theo khối lượng), cỡ hạt chất oxi hóa  $Pb_3O_4$  đều lọt sàng 70 #/cm được cố định (do cỡ hạt  $Pb_3O_4$  rất mịn). Tiến hành đong nén và đo tốc độ cháy. Kết quả ảnh hưởng của cỡ hạt đến tốc độ cháy được trình bày ở bảng 6.

**Bảng 6.** Tốc độ cháy của thuốc môi cháy theo cỡ hạt Silic.

TT	Cỡ hạt Si	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Hệ số (k)	u (mm/s)
1	100 #/cm	4,49	0,69	115,8
2	70 #/cm	4,63	0,75	109,01
3	58 #/cm	4,67	0,76	79,7
4	38 #/cm	4,75	0,78	56,9



**Hình 5.** Ảnh hưởng của cỡ hạt Silic đến tốc độ cháy.

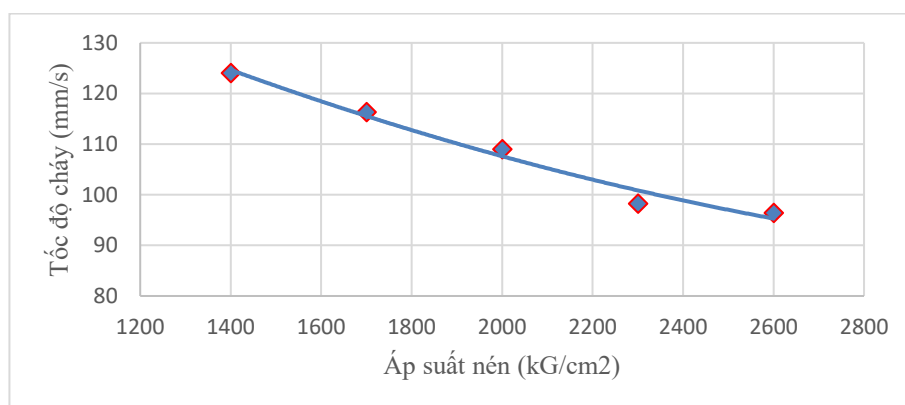
Từ bảng 6 và hình 5 ta thấy rằng: khi tăng kích thước hạt của Silic thì thời gian cháy của thuốc tăng, tức là tốc độ cháy giảm, điều này phù hợp với lý thuyết, khi giảm cỡ hạt tức là tăng diện tích bề mặt riêng, phản ứng hóa học xảy ra nhanh, tốc độ cháy của khối thuốc cháy tăng lên (cùng một áp suất nén). Với kết quả ở bảng 6 thì Silic có cỡ hạt lọt sàng 70 #/cm là phù hợp. Nếu Silic lọt sàng 100 #/cm khó gia công và tốc độ cháy cao, hệ số nén chặt k không đảm bảo, ảnh hưởng đến độ bền cơ lý và gây bụi trong quá trình sản xuất. Ngược lại, Silic lọt sàng 58 #/cm và sàng 38 #/cm thì tốc độ cháy thấp. Để khẳng định công nghệ, nhóm tác giả tiếp tục nghiên cứu kết hợp giữa yếu tố cỡ hạt và áp suất nén, từ đó, lựa chọn mẫu đạt tốc độ cháy phù hợp.

**3.4.3. Ảnh hưởng của áp suất nén đến tốc độ cháy**

Để nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất nén đến tốc độ cháy, dựa theo kết quả nghiên cứu ở trên, nhóm tác giả chọn mẫu thuốc có tỉ lệ Si/Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = 15/85 (Silic lọt sàng 70 #/cm). Thuốc được nén ở 5 chế độ áp suất khác nhau: 1400 kG/cm<sup>2</sup>, 1700 kG/cm<sup>2</sup>, 2000 kG/cm<sup>2</sup>, 2300 kG/cm<sup>2</sup> và 2600 kG/cm<sup>2</sup>, sau nén tiến hành đo thời gian cháy, tính toán hệ số nén chặt (*k*) và tốc độ cháy. Kết quả cụ thể được trình bày ở bảng 7 và hình 6.

**Bảng 7. Tốc độ cháy của thuốc môi cháy theo áp suất.**

Mẫu	P (kG/cm <sup>2</sup> )	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	Hệ số nén chặt ( <i>k</i> )	t (ms)	u (mm/s)
P1	1400	3,76	0,61	28,21	124,05
P2	1700	4,07	0,67	30,09	116,32
P3	2000	4,63	0,75	32,11	109,01
P4	2300	4,69	0,77	35,63	98,23
P5	2600	4,71	0,77	36,32	96,38



**Hình 6. Đồ thị ảnh hưởng của áp suất nén đến tốc độ cháy.**

Từ bảng 7 và đồ thị 6 cho thấy, khi tăng mật độ nén thì tốc độ cháy của khối thuốc giảm. Điều này được giải thích như sau: khi tăng mật độ sẽ làm giảm khả năng xuất hiện khí cháy vào trong thành phần thuốc hóa thuật dẫn đến làm chậm quá trình nung nóng và bén lửa vào bên trong khối thuốc.

Mật độ khối thuốc càng lớn thì giảm thể tích chiếm chỗ của thuốc hóa thuật trong chi tiết hỏa cụ, tốc độ cháy càng ổn định, tuy nhiên ở một áp suất nén quá lớn thì thuốc sẽ khó môi cháy hơn (do bề mặt thuốc nhẵn có ít lỗ khí để bắt lửa).

Với thông số đóng nén, kết quả đo tốc độ cháy thì có thể khẳng định: áp suất nén P = 2000 kG/cm<sup>2</sup> là phù hợp nhất với công nghệ thực tế. Nếu P < 2000 kG/cm<sup>2</sup> tốc độ cháy tăng nhưng hệ số nén chặt k không đảm bảo, độ ổn định khối thuốc không cao. Nếu P > 2000 kG/cm<sup>2</sup> hệ số k đạt yêu cầu, nhưng tốc độ cháy giảm và xét về mặt công nghệ thì nên chọn áp suất ở mức tối ưu nhất, không nên tăng cao quá sẽ làm ảnh hưởng đến tuổi thọ của dụng cụ, thiết bị và độ biến dạng của sản phẩm.

**4. KẾT LUẬN**

Qua các kết quả nghiên cứu về tính toán lý thuyết và thực nghiệm cho thấy, TMC có thành phần tối ưu là Si/Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = 15/85, kích thước hạt lọt sàng 70 #/cm và nén ở áp suất 2000 kG/cm<sup>2</sup> sẽ đảm bảo được tốc độ cháy ổn định và các đặc trưng năng lượng, cũng như độ bền cơ lý. Với kết quả này, nhóm tác giả có thể khẳng định rằng, với điều kiện công nghệ ở trong nước hoàn toàn có thể chế tạo được TMC trên cơ sở silic và tetraoxit phục vụ công nghiệp quốc phòng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Tính, Trần Quang Phát, “Cơ sở hóa thuật”, Học viện KTQS, (2009).
- [2]. A. A. Шидловский, “Основы пиротехники”, Издательство “машиностроение”, (1964).
- [3]. Мельников В.Э. “Современная пиротехника”. Москва, (2014).
- [4]. Nguyễn Trí Dũng, “Nghiên cứu công nghệ chế tạo các chi tiết hỏa thuật của tên lửa Iglá”, Nhà máy Z/Tổng cục CNQP, (2014).
- [5]. Belov G.V (2002), “User’s Guide REAL for Windows: Computer modeling of complex chemical equilibrium at high pressure”, Moscow.
- [6]. Dr. Herbert Ellern, “Military and civilian Pyrotechnics”, Chemical Publishing company inc. New York, (1968).
- [7]. Đoàn Anh Phan, Trần Quang Phát, Nguyễn Huyền Nga, “Một số kết quả nghiên cứu công nghệ chế tạo thuốc hỏa thuật dùng cho vành tự hủy ngòi nổ 9E249 của tên lửa IGLA”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự Đặc san TPTN 14, (2014).
- [8]. Brauer K.O, “Handbook of pyrotechnics”, New York: Chemical Publishing Company, (1974).

### ABSTRACT

#### **The effect of several factors on energy characteristics and burning rate of pyrotechnic compositions based on silic and trilead tetraoxide in some pyrotechnic devices**

*Pyrotechnic ignition is one of the important parts of the delay timing devices found in fuses and rockets to provide operational reliability according to technical requirements. In this study, the burning rate and some energy characteristics of the pyrotechnic ignition were described. The research results showed that pyrotechnic compositions containing 85.0%  $Pb_3O_4$ , 15.0% Si and 1.0% NC (over 100%) had a high and stable burning rate (109.0 mm/s) and good ignition ability.*

**Keywords:** Pyrotechnic ignition; Pyrotechnic compositions; Burning rate; Energy characteristics.