

Nghiên cứu giảm nhạy ma sát cho thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có nhiệt lượng lớn và tốc độ cháy cao

Phạm Văn Tú, Trần Quang Phát, Đào Văn Vượng, Trần Đình Tuấn*

Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, Số 192 Đức Giang, Long Biên, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: dinhtuanmta39@gmail.com

Nhận bài: 04/7/2024; Hoàn thiện: 07/9/2024; Chấp nhận đăng: 18/9/2024; Xuất bản: 14/10/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.IPE.2024.159-167>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu giảm nhạy ma sát cho thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có nhiệt lượng lớn và tốc độ cháy cao. Kết quả cho thấy, khi sử dụng thêm phụ gia gồm kẽm stearate ($Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$), bột magiê cacbonat ($MgCO_3$) và điều chỉnh tỷ lệ bột kali perclorat ($KClO_4$), bột nhôm (Al) trong thành phần của thuốc ban đầu đã làm giảm độ nhạy ma sát của hệ thuốc, khi đó lực ma sát gây cháy tăng từ $(36 \div 40)$ N lên 192 N. Hệ thuốc chế tạo được có nhiệt lượng cháy tăng và bảo đảm được các tính chất cháy nổ khi ứng dụng trong thực tế sản xuất tại nhà máy.

Từ khoá: Thuốc hỏa thuật; Độ nhạy ma sát.

1. MỞ ĐẦU

Thuốc hỏa thuật (THT) tạo tiếng nổ là hỗn hợp cơ học của một số hợp chất hoá học có tính ổn định trong điều kiện bảo quản (ở điều kiện môi trường) và tạo ra nhiệt lượng cháy lớn, tốc độ cháy cao khi được kích hoạt để ứng dụng trong một số sản phẩm tạo hiệu ứng tiếng nổ hoặc dùng để nhồi nạp vào lõi của sản phẩm để phân tán hợp chất dạng bột ra môi trường xung quanh nhằm đạt được mục đích sử dụng. Thành phần của THT tạo tiếng nổ thường sử dụng một số chất có tính oxy hoá mạnh như $KClO_3$, KNO_3 , $KClO_4$, NH_4ClO_4 ,... các chất cháy mang năng lượng cao như bột Al, bột Mg, bột B, bột Zr,... và có thể có thêm phụ gia công nghệ, phụ gia chống lão hóa, xúc tác cháy,... để sử dụng vào từng mục đích khác nhau trong cả quân sự và dân sự.

Trước đây, tại Nhà máy Za đã sử dụng đơn thành phần gồm: 70% kali perclorat ($KClO_4$); 30% bột nhôm (Al) để làm thuốc hỏa thuật nhồi nạp trong khối nổ quả cầu chữa cháy tự động. Nhiệm vụ của khối nổ quả cầu chữa cháy là phân tán bột dập cháy có trong quả cầu ra môi trường xung quanh bảo đảm được thể tích, bán kính khối cầu phân tán chất dập cháy và hiệu quả dập tắt một số đám cháy. Tại Nhà máy Zb có sử dụng THT tạo tiếng nổ RAI có thành phần gồm: 70% kali perclorat ($KClO_4$); 27% bột nhôm (Al) và 3% bột lưu huỳnh (S) để làm thuốc hỏa thuật nhồi nạp trong quả nổ. Nhiệm vụ của quả nổ là tạo ra hiệu ứng âm thanh (tiếng nổ) có cường độ đủ lớn để ứng dụng trong nhiệm vụ A2 (giải tán đám đông).

Với đơn thành phần như đã nêu, các sản phẩm ứng dụng các loại THT trên của Nhà máy Za và Zb đáp ứng được một số chỉ tiêu cơ bản của sản phẩm như thể tích, bán kính khối cầu phân tán chất dập cháy hiệu quả dập tắt một số đám cháy tiêu chuẩn; cường độ âm thanh từ $(110 \div 130)$ dB. Kết quả đo kiểm một số chỉ tiêu cơ bản của 02 loại thuốc hỏa thuật nói trên được liệt kê như trong bảng 1.

Bảng 1. Một số thông số kỹ thuật của THT tạo tiếng nổ do Nhà máy Z xây dựng.

TT	Thuốc hỏa thuật khối nổ Nhà máy Za		THT tạo tiếng nổ RAI Nhà máy Zb	
	Chỉ tiêu	Mức	Chỉ tiêu	Mức
1	Thành phần, %		Thành phần, %	
	$KClO_4$	70	$KClO_4$	70
	Al	30	Al	27
	-	-	S	3
2	Nhiệt lượng cháy, cal/g	1954	Nhiệt lượng cháy, cal/g	1937
3	Thể tích sản phẩm khí, ml/g	42	Thể tích sản phẩm khí, ml/g	46
4	Cường độ tiếng nổ, dB	87,9	Cường độ tiếng nổ, dB	121,2
5	Lực ma sát gây cháy, N	40	Lực ma sát gây cháy, N	36

Từ bảng số liệu nhận thấy, độ nhạy ma sát của cả 02 loại THT kể trên đều tương đối cao, cao hơn cả thuốc nổ PETN (từ 56 ÷ 67 N) [9]. Với độ nhạy ma sát như vậy, các THT này chỉ phù hợp với quá trình chế tạo thủ công, cẩn thận hoặc trong các thiết bị tinh xảo, hiện đại đắt tiền với khối lượng sản phẩm hạn chế trên mỗi ca sản xuất. Vì vậy, giá thành sản phẩm ở mức cao, chưa phù hợp với việc ứng dụng trong các sản phẩm có nhu cầu về sản lượng lớn có giá thành thấp hơn.

Từ thực tiễn sản xuất đặt ra bài toán nâng cao hệ số an toàn bằng việc giảm độ nhạy ma sát của THT đến mức thấp, yêu cầu đặt ra là có độ nhạy ma sát thấp hơn thuốc nổ RDX (133 N) và thuốc nổ HMX (113 N) [9]. Để tạo ra THT tạo tiếng nổ có độ nhạy ma sát thấp nhưng vẫn đáp ứng được các tính chất cháy nổ theo yêu cầu (nhiệt lượng cháy không nhỏ hơn 2000 cal/g, tốc độ cháy cao), ứng dụng được trong khối nổ quả cầu chữa cháy tự động của Nhà máy Za và quả nổ của Nhà máy Zb. Hiện tại trong nước, các vấn đề nghiên cứu đến độ nhạy ma sát và các yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy ma sát của THT trong nước còn rất hạn chế. Việc nghiên cứu thành công THT tạo tiếng nổ có nhiệt lượng lớn, tốc độ cháy lớn và độ nhạy ma sát thấp có ý nghĩa lớn trong việc cơ giới hóa, tự động hóa trong quá trình sản xuất loạt, góp phần nâng cao hệ số an toàn trong quá trình sản xuất, nâng cao chất lượng và giảm giá thành sản phẩm. Do đó, việc nghiên cứu THT tạo tiếng nổ có tạo tiếng nổ có nhiệt lượng lớn, tốc độ cháy lớn và độ nhạy ma sát thấp là thiết thực và khả thi.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật tư, hóa chất

Các vật tư, hóa chất dùng cho nghiên cứu gồm:

- Bột kali perclorat ($KClO_4$), xuất xứ Ấn Độ, hàm lượng $\geq 99,0\%$, kích thước hạt sử dụng loại có sẵn gồm các dải là (20 ÷ 30) μm ; (50 ÷ 60) μm ; (80 ÷ 90) μm ;
- Bột magie cacbonat ($MgCO_3$), Ấn Độ, hàm lượng $\geq 96,0\%$, kích thước hạt (10 ÷ 20) μm ;
- Bột nhôm (Al), Ấn Độ, hàm lượng $\geq 99,0\%$, kích thước hạt gồm các dải là (1,0 ÷ 5,0) μm ; (10 ÷ 15) μm ; (20 ÷ 25) μm ;
- Bột kẽm stearat ($Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$), Trung Quốc, hàm lượng $\geq 99,0\%$, kích thước hạt gồm các dải là (10 ÷ 20) μm ; (40 ÷ 50) μm ; (70 ÷ 80) μm ;
- Vỏ khối nổ, Za, đã được nghiệm thu đạt yêu cầu.
- Vỏ quả nổ, Zb, đã được nghiệm thu đạt yêu cầu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xây dựng đơn thành phần thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có nhiệt lượng cháy lớn, tốc độ cháy cao và độ nhạy ma sát thấp

Trên cơ sở các tài liệu tham khảo [1-3, 7] và phần mềm REAL hỗ trợ tính toán trong thành phần thuốc hỏa thuật, nhóm tác giả tiến hành lựa chọn tỷ lệ đơn thành phần thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có nhiệt lượng cháy cao, tốc độ cháy lớn và độ nhạy ma sát thấp. Chất oxi hóa được lựa chọn là $KClO_4$, chất cháy tạo năng lượng chính là bột Al, sử dụng đặc tính mềm, mịn của bột kẽm stearat để phân tán trong THT tạo tiếng nổ mới nhằm giảm hệ số ma sát của nội sinh trong hỗn hợp thuốc, sử dụng tính hút ẩm và an toàn của bột $MgCO_3$ để loại bỏ các nguy cơ có thể phát sinh từ các tạp chất có hại có thể có của bột $KClO_4$ công nghiệp.

Lựa chọn các thông số đầu vào để tính toán gồm: nhiệt độ ở 298 K, áp suất 0,1 MPa. Tiến hành tính toán các đặc trưng xạ thuật và thử nghiệm đo tốc độ cháy của một số mẫu chế thử với nguyên vật liệu có tỷ lệ thành phần khác nhau, để bảo đảm nhiệt lượng cháy không nhỏ hơn 2000 cal/g và độ nhạy ma sát ở mức tối ưu, các chất phụ gia thêm vào không được quá lớn. Vì vậy, tác giả đã lựa chọn tỷ lệ thành phần như trong bảng 2 để làm cơ sở ban đầu cho quá trình nghiên cứu, tính toán.

Bảng 2. Đơn thành phần THT tạo tiếng nổ mới.

Thành phần	$KClO_4$	Al	$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$	$MgCO_3$	Cân bằng oxi, K_b	Nhiệt lượng cháy, cal/g
Mức, %	70	26	2,0	2,0	1,11	2011

Với tỷ lệ thành phần thuốc hóa thuật hệ tạo tiếng nổ có nhiệt lượng cháy cao, tốc độ cháy lớn và độ nhạy ma sát thấp và hệ số cân bằng oxi dương ($K_b = 1,11\%$) như trên, hệ THT sẽ có đủ ôxi, để đảm bảo cho quá trình cháy diễn ra hoàn toàn trong điều kiện kín của sản phẩm.

2.2.2. Chế tạo mẫu thuốc hóa thuật

2.2.2.1. Phương pháp nghiên cứu và điều chỉnh thông số

Trên cơ sở các tài liệu tham khảo [1-3], phần mềm REAL và quá trình chế thử lựa chọn đơn thành phần thuốc hóa thuật có nhiệt lượng cháy không nhỏ hơn 2000 cal/g và hệ số cân bằng oxi $K_b \approx 0$ (ưu tiên $K_b \geq 0$), từ đó xác định tốc độ cháy của hệ thuốc và điều chỉnh trên cơ sở điều chỉnh thành phần, hàm lượng và cỡ hạt nguyên liệu.

2.2.2.2. Các bước tiến hành chế tạo

Căn cứ các tài liệu [1-3], xác lập thứ tự các bước chế tạo thuốc, vừa bảo đảm tính khoa học, tính kế thừa, tính lặp lại và bảo đảm an toàn trong quá trình nghiên cứu, chế tạo. Quá trình chế tạo mẫu được thực hiện như sau:

- Chuẩn bị mẫu: Kiểm tra chất lượng vật tư, nguyên liệu phục vụ thử nghiệm;
- Cân mẫu: Cân theo đơn thành phần đã xác định bằng cân điện tử độ chính xác 10^{-4} g;
- Trộn đều: Mẫu được trộn trong phòng thí nghiệm thông qua hệ thống sàng lựa theo QTCN đã được phê duyệt [3] bảo đảm đồng nhất trong toàn bộ mẫu.
- Lấy mẫu kiểm tra các chỉ tiêu: lấy tại 03 vị trí khác nhau, trộn đều sau đó cân định lượng theo từng phép đo và tiến hành đo kiểm theo tiêu chuẩn hiện hành.

2.2.3. Phương pháp xác định các đặc trưng năng lượng xạ thuật thuốc hóa thuật

- Thành phần thuốc: Xác định theo phương pháp chụp phổ ICP-MS.
- Nhiệt lượng cháy: Xác định theo TCVN/QS 795:2019.
- Thể tích sinh khí: Xác định theo TCVN/QS 795:2019.
- Cỡ hạt thuốc: Xác định theo TCVN/QS 745:2019.
- Nhiệt độ bùng cháy: Xác định theo TPTN.TBC.QTPT.01.
- Độ nhạy ma sát: Xác định theo tiêu chuẩn NATO Stanag-4487:2002.
- Xác định cường độ tiếng nổ: Thuốc hóa thuật được nhồi nạp trong vỏ quả nổ do Nhà máy Zb chế tạo theo QTCN đã được ban hành. Tiến hành đo cường độ tiếng nổ bằng cách sản phẩm và đo cường độ tiếng nổ cách tâm nổ 10 m bằng thiết bị đo độ ồn cầm tay.
- Xác định tốc độ cháy của THT: theo phương pháp đo tốc độ cháy trong ống chuẩn [6].

2.2.4. Phương pháp xác định một số thông số kỹ thuật bằng thử nghiệm đánh giá sản phẩm

- Thử rung xóc:

Thử rung xóc với biên độ 150 mm, tần số (60 ± 2) lần/phút liên tục trong 2 giờ bằng thiết bị chuyên dụng.

- Thử môi trường:

Thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 7699-2-30: 2007, trong tủ thử nghiệm môi trường, chu kỳ thử nghiệm theo phương án án 2; 6 chu kỳ; nhiệt độ giới hạn trên là (55 ± 2) °C, nhiệt độ giới hạn dưới là (25 ± 2) °C.

- Thử nghiệm tổng hợp trong quả nổ:

Tổng lắp thành quả nổ theo QTCN của Nhà máy Zb và quả cầu chữa cháy tự động theo QTCN của Nhà máy Za.

+ Tiến hành thử nghiệm quả nổ bằng cách kích nổ quả nổ và đo cường độ âm thanh cách tâm 10,0 m.

- *Thử nghiệm tổng hợp trong quả cầu chữa cháy tự động*: Tiến hành kích nổ quả cầu chữa cháy tự động và đo các thông số:

- + Cường độ âm thanh cách tâm nổ 4,0 m.
- + Kiểm tra bán kính phân tán bột dập cháy.
- + Kiểm tra khả năng dập tắt đám cháy tiêu chuẩn kiểu A, E [4].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc trưng thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ mới

3.1.1. Ảnh hưởng của cỡ hạt đến nhiệt lượng cháy và tốc độ cháy của THT tạo tiếng nổ mới

Cỡ hạt chất cháy, chất ôxi hóa ảnh hưởng đến tốc độ cháy và độ nhạy ma sát của THT. Thông thường tốc độ cháy của THT tăng khi giảm cỡ hạt nguyên liệu và tăng hàm lượng chất cháy trong giới hạn. Bột chất cháy, chất ôxi hóa càng nhỏ thì THT có tốc độ cháy càng lớn. Mặt khác, độ nhạy với ma sát càng tăng.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của cỡ hạt chất cháy (bột Al) đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của THT tạo tiếng nổ mới được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của cỡ hạt Al đến một số thông số THT.

Mẫu	M1	M2	M3
Cỡ hạt Al, μm	1 ÷ 5	10 ÷ 15	20 ÷ 25
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2018,5	2025,6	2005,5
Thể tích khí, l/kg	38,2	37,8	34,9
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	93,2	78,6	60,5
Lực ma sát gây cháy, N	144	192	288

Từ kết quả bảng 2 nhận thấy, khi thay đổi cỡ hạt bột nhôm (Al), nhiệt lượng cháy và thể tích sinh khí sau khi cháy của các mẫu thuốc hỏa thuật hầu như không thay đổi. Đối với tốc độ cháy và độ nhạy ma sát, kết quả cho thấy khi sử dụng bột nhôm cỡ hạt nhỏ (1 ÷ 5 μm) thuốc hỏa thuật có tốc độ cháy nhanh và lực ma sát gây cháy ở mức nhỏ hơn, khi tăng cỡ hạt thì tốc độ cháy giảm dần và lực ma sát gây cháy tăng dần. Đối với mẫu có cỡ hạt bột nhôm 10 ÷ 15 μm có tốc độ cháy là 78,6 mm/s và lực ma sát gây cháy là 192 N là tốt nhất trong 03 mẫu thử. Vì vậy, đã lựa chọn cỡ hạt của bột nhôm là 10 ÷ 15 μm .

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của cỡ hạt chất ôxi hóa (KClO_4) đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của THT tạo tiếng nổ giảm nhạy ma sát được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của cỡ hạt KClO_4 đến một số thông số THT.

Mẫu	M4	M2	M5
Cỡ hạt KClO_4 , μm	20 ÷ 30	50 ÷ 60	80 ÷ 90
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2020,3	2025,6	2024,1
Thể tích khí, l/kg	36,8	37,8	35,3
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	92,1	78,6	62,3
Lực ma sát gây cháy, N	168	192	246

Từ kết quả bảng 4 nhận thấy, khi thay đổi cỡ hạt bột KClO_4 , nhiệt lượng cháy và thể tích sinh khí sau khi cháy của các mẫu THT tạo tiếng nổ thay đổi không đáng kể. Đối với tốc độ cháy và độ nhạy ma sát, kết quả cho thấy khi sử dụng bột KClO_4 cỡ hạt nhỏ (20 ÷ 30 μm) thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có tốc độ cháy nhanh và lực ma sát gây cháy ở mức nhỏ hơn, khi tăng cỡ hạt thì tốc độ cháy giảm dần và lực ma sát gây cháy tăng dần. Mẫu 2 có cỡ hạt bột KClO_4 50 ÷ 60 μm có tốc độ cháy là 78,6 mm/s và lực ma sát gây cháy là 192 N là tốt nhất trong 03 mẫu thử. Vì vậy, đã lựa chọn cỡ hạt của bột KClO_4 là 50 ÷ 60 μm .

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của cỡ hạt phụ gia giảm nhạy kẽm stearat ($\text{Zn}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$) đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ giảm nhạy ma sát được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Ảnh hưởng của cỡ hạt $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ đến một số thông số THT.

Mẫu	M2	M6	M7
Cỡ hạt $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, μm	10 ÷ 20	40 ÷ 50	70 ÷ 80
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2025,6	2020,4	2023,6
Thể tích khí, l/kg	37,8	37,2	38,1
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	78,6	79,2	79,8
Lực ma sát gây cháy, N	192	188	180

Từ kết quả bảng 5 nhận thấy, khi thay đổi cỡ hạt bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, nhiệt lượng cháy và thể tích sinh khí sau khi cháy của các mẫu THT tạo tiếng nổ thay đổi không đáng kể. Đối với tốc độ cháy và độ nhạy ma sát, kết quả cho thấy khi sử dụng bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ cỡ hạt nhỏ (10 ÷ 20 μm) THT tạo tiếng nổ có tốc độ cháy chậm nhất khi tăng kích thước bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ thì tốc độ cháy tăng, tuy nhiên, mức tăng tốc độ cháy không đáng kể. Lực ma sát gây cháy ở mẫu số 2 là lớn nhất, khi tăng cỡ hạt thì lực ma sát gây cháy giảm dần. Mẫu 2 có cỡ hạt bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ trong khoảng 10 ÷ 20 μm có tốc độ cháy là 78,6 mm/s và lực ma sát gây cháy là 192 N là tốt nhất trong 03 mẫu thử. Vì vậy, đã lựa chọn cỡ hạt của bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ là 10 ÷ 20 μm .

3.1.2. Ảnh hưởng của hàm lượng một số chất đến nhiệt lượng cháy và tốc độ cháy của THT tạo tiếng nổ mới.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng bột Al đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của THT tạo tiếng nổ mới được nêu trong bảng 6.

Bảng 6. Ảnh hưởng của hàm lượng Al đến một số thông số THT.

Mẫu	M8	M2	M9	M10
Hàm lượng Al,%	25	26	27	28
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	1988,2	2025,6	2039,8	1984,6
Thể tích khí, l/kg	36,9	37,8	36,0	37,1
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	78,4	78,6	80,3	74,1
Lực ma sát gây cháy, N	193	192	192	191

Từ kết quả bảng 6 nhận thấy: Nhiệt lượng cháy và tốc độ cháy của THT tăng dần sau đó giảm khi tăng hàm lượng Al từ 25% lên 28%. Do THT tạo tiếng nổ có hệ số cân bằng ôxi dương nên khi tăng hàm lượng Al làm cho phản ứng cháy và tỏa nhiệt tiếp tục xảy, vì vậy, ban đầu nhiệt lượng cháy của hệ tăng lên và kèm theo làm tốc độ cháy cũng tăng, khi vượt qua tỷ lệ tối ưu vẫn giữ được mức nhiệt lượng cháy cao và tốc độ cháy cao là do thực tế bột Al có một lượng màng oxit nên khi hàm lượng tăng, một phần bù đắp vào sự hao hụt của nhôm trong lý thuyết (nhôm hoạt hóa) và lượng màng oxit nhôm bao bọc các hạt nhôm trong thực tế. Sau đó khi dư thừa chất cháy, nhiệt lượng và tốc độ cháy trung bình bị giảm do có một phần bột Al bị thừa ra, không tham gia phản ứng cháy tỏa nhiệt.

Về thể tích sản phẩm khí: nhận thấy sự thay đổi không nhiều và không rõ về xu hướng. Có thể do sản phẩm cháy chủ yếu thay đổi ở dạng rắn nên sự ảnh hưởng đến sản phẩm cháy dạng khí là không đáng kể.

Với độ nhạy ma sát, khi tăng tỷ lệ bột Al từ 25% lên 28%, nhận thấy lực ma sát gây cháy giảm dần từ 193 N về 191 N.

Như vậy, mẫu số 2 hoặc mẫu số 9 cho kết quả phù hợp với yêu cầu về nhiệt lượng, tốc độ cháy và độ nhạy của sản phẩm.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng bột $KClO_4$ đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có độ nhạy ma sát thấp được nêu trong bảng 7.

Bảng 7. Ảnh hưởng của hàm lượng $KClO_4$ đến một số thông số THT.

Mẫu	M11	M2	M12	M13
Hàm lượng $KClO_4$, %	68	70	72	74
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2008,4	2025,6	2015,1	1986,3
Thể tích khí, l/kg	37,2	37,8	38,3	39,2
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	77,1	78,6	79,4	76,2
Lực ma sát gây cháy, N	191	192	192	194

Từ kết quả bảng 7 nhận thấy: Nhiệt lượng cháy và tốc độ cháy trung bình của thuốc hỏa thuật tăng dần sau đó giảm khi tăng hàm lượng $KClO_4$ từ 68% lên 74%. Do quá trình điều chỉnh tỷ lệ $KClO_4$, THT tạo tiếng nổ có hệ số cân bằng ôxi từ âm về trạng thái cân bằng và sang vùng dương nên khi tăng hàm lượng $KClO_4$ làm cho phản ứng cháy chuyển từ vùng thiếu ôxi đến vùng cân bằng và sang vùng thừa ôxi, vì vậy, ban đầu nhiệt lượng cháy của hệ tăng lên và kèm theo làm tốc độ cháy cũng tăng, khi vượt qua tỷ lệ tối ưu thì nhiệt lượng và tốc độ cháy giảm.

Về thể tích sản phẩm khí: nhận thấy sự thay đổi không nhiều và có xu hướng tăng. Với độ nhạy ma sát, khi tăng tỷ lệ bột $KClO_4$, nhận thấy lực ma sát gây cháy tăng từ 191 N lên 194 N.

Như vậy, với việc điều chỉnh tỷ lệ chất ôxi hóa $KClO_4$, mẫu số 2 hoặc mẫu số 12 cho kết quả phù hợp với yêu cầu về nhiệt lượng, tốc độ cháy và độ nhạy ma sát.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có độ nhạy ma sát thấp được nêu trong bảng 8.

Bảng 8. Ảnh hưởng của hàm lượng $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ đến một số thông số THT.

Mẫu	M14	M2	M15	M16
Hàm lượng $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, %	1,5	2,0	2,5	3,0
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2036,3	2025,6	1939,2	1916,1
Thể tích khí, l/kg	35,4	37,8	39,1	39,9
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	79,5	78,6	77,2	74,7
Lực ma sát gây cháy, N	188	192	194	199

Từ kết quả bảng 8 nhận thấy: Nhiệt lượng cháy của THT giảm dần và thể tích sản phẩm khí tăng dần khi tăng hàm lượng $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ tăng từ 1,5% lên 3,0%. Do quá trình điều chỉnh tỷ lệ $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, THT tạo tiếng nổ có hệ số cân bằng ôxi từ dương về trạng thái cân bằng và sang vùng âm nên khi tăng hàm lượng $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ làm cho phản ứng cháy chuyển từ vùng dư ôxi đến vùng cân bằng và sang vùng thiếu ôxi, vì vậy nhiệt lượng cháy của hệ giảm dần và kèm theo làm tốc độ cháy cũng giảm, còn thể tích sản phẩm khí tăng lên được lý giải là do tăng lượng $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ nên khi phân hủy, sản phẩm khí sẽ tăng lên, tuy nhiên lượng tăng nhỏ. Với độ nhạy ma sát, khi tăng tỷ lệ bột $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, nhận thấy lực ma sát gây cháy tăng từ 188 N lên 199 N.

Như vậy, với việc điều chỉnh tỷ lệ chất ôxi hóa $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$, mẫu số 2 cho kết quả phù hợp với yêu cầu về nhiệt lượng, tốc độ cháy và độ nhạy ma sát.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng bột $MgCO_3$ đến đặc trưng năng lượng và xạ thuật của thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ có độ nhạy ma sát thấp được nêu trong bảng 9.

Bảng 9. Ảnh hưởng của hàm lượng $MgCO_3$ đến một số thông số THT.

Mẫu	M17	M2	M18	M19
Hàm lượng $MgCO_3$, %	1,5	2,0	2,5	3,0
Nhiệt lượng cháy, kcal/kg	2048,1	2025,6	1986,5	1962,3
Thể tích khí, l/kg	37,1	37,8	38,2	38,8
Tốc độ cháy trung bình, mm/s	80,2	78,6	76,8	75,1
Lực ma sát gây cháy, N	189	192	193	193

Từ kết quả bảng 9 nhận thấy: Nhiệt lượng cháy của THT giảm dần và thể tích sản phẩm khí tăng dần khi tăng hàm lượng $MgCO_3$ từ 1,5% lên 3,0%. Do quá trình điều chỉnh tỷ lệ $MgCO_3$, THT tạo tiếng nổ có hệ số cân bằng ôxi từ dương về trạng thái cân bằng và sang vùng âm nên khi tăng hàm lượng $MgCO_3$ làm cho phản ứng cháy chuyển từ vùng dư oxi đến vùng cân bằng và sang vùng thiếu oxi, vì vậy ban đầu nhiệt lượng cháy của hệ tăng lên và kèm theo làm tốc độ cháy cũng tăng, khi vượt qua tỷ lệ tối ưu thì nhiệt lượng và tốc độ cháy giảm.

Về thể tích sản phẩm khí: nhận thấy sự thay đổi không nhiều và có xu hướng tăng. Với độ nhạy ma sát, khi tăng tỷ lệ bột $MgCO_3$, nhận thấy lực ma sát gây cháy tăng từ 189 N lên 193 N.

Như vậy, với việc điều chỉnh tỷ lệ chất oxi hóa $MgCO_3$, mẫu số 2 hoặc mẫu số 17 cho kết quả phù hợp với yêu cầu về nhiệt lượng cháy, tốc độ cháy và độ nhạy ma sát.

3.2. Xây dựng các chỉ tiêu kỹ thuật của THT tạo tiếng nổ mới

Từ các kết quả nghiên cứu khảo sát ở trên, đã lựa chọn đơn thành phần và bảng chỉ tiêu kỹ thuật THT tạo tiếng nổ mới như sau:

Bảng 10. Chỉ tiêu kỹ thuật THT tạo tiếng nổ mới.

TT	Tên chỉ tiêu	Mức
1	Thành phần, %	
-	Al (cỡ hạt 10 ÷ 15 μm)	26 ÷ 27
-	$KClO_4$ (cỡ hạt 50 ÷ 60 μm)	70 ÷ 72
-	$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ (cỡ hạt 10 ÷ 20 μm)	2
-	$MgCO_3$	1,5 ÷ 2,0
2	Dạng ngoài	Màu xám đồng nhất
3	Hàm lượng ẩm, %, không lớn hơn	0,6
4	Cỡ hạt thuốc, mm, không lớn hơn	0,7
5	Mật độ rắn, g/cm^3	0,6 ÷ 1,0
6	Nhiệt độ bùng cháy, $^{\circ}C$	450 ÷ 550
7	Nhiệt lượng cháy, kcal/kg, không nhỏ hơn	2000
8	Thể tích khí sinh ra sau khi cháy, l/kg, không nhỏ hơn	20
9	Lực ma sát gây cháy, N, không nhỏ hơn	133
10	Cường độ tiếng nổ, dB	
-	Với quả nổ, cách tâm nổ 10 m	110 ÷ 130
-	Với khối nổ quả cầu chữa cháy, cách tâm nổ 4 m	85 ÷ 115

3.3. Kết quả chế tạo và ứng dụng THT tạo tiếng nổ mới

Từ các kết quả nghiên cứu xây dựng đơn thành phần, chỉ tiêu kỹ thuật của THT tạo tiếng nổ mới. Đã tiến hành chế tạo 10 kg THT tạo tiếng nổ mới bằng dây chuyền hiện có của Nhà máy Za và 30 kg THT tạo tiếng nổ mới bằng dây chuyền của Nhà máy Zb để phục vụ chế thử, thử nghiệm trong quả nổ của Nhà máy Zb, quả cầu chữa cháy tự động của Nhà máy Za và so sánh với kết quả trước đây (khi sử dụng thuốc hỏa thuật cũ). Kết quả đo cường độ tiếng nổ như ở bảng 11, kết quả thử nghiệm dập tắt đám cháy như trong bảng 12.

Với kết quả thử nghiệm đạt yêu cầu. THT tạo tiếng nổ mới hoàn toàn có thể thay thế cho thuốc hỏa thuật khô nổ trong quả cầu chữa cháy của Nhà máy Za và THT tạo tiếng nổ RAI trong quả nổ của Nhà máy Zb. Ngoài ra, với độ nhạy ma sát thấp hơn nhiều (lực ma sát gây cháy lớn gấp 4,8 lần) giúp cho việc ứng dụng THT tạo tiếng nổ mới được an toàn hơn, có thể nghiên cứu, ứng dụng quy trình cơ khí hóa, tự động hóa để nâng cao sản lượng và chất lượng sản phẩm.

Bảng 11. Kết quả đo cường độ tiếng nổ trong khối nổ của Nhà máy Za và quả nổ của Nhà máy Zb.

Thử nghiệm đo cường độ tiếng nổ	Cường độ tiếng nổ trung bình của THT tạo tiếng nổ mới (dB)	Cường độ tiếng nổ trung bình của THT tạo tiếng nổ cũ (dB)	Đánh giá
Thử nghiệm trong quả nổ của Zb (05 quả ở điều kiện thường, đo cách tâm nổ 10 m)	125,3	119,6	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm trong quả nổ của Zb (05 quả qua rung xóc, đo cách tâm nổ 10 m)	126,1	121,2	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm trong quả nổ của Zb (05 quả qua môi trường khắc nghiệt, đo cách tâm nổ 10 m)	124,8	119,1	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm trong quả cầu chữa cháy tự động của Za (05 quả ở điều kiện thường, đo cách tâm nổ 4 m)	88,9	87,4	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm trong quả cầu chữa cháy tự động của Za (05 quả qua rung xóc, đo cách tâm nổ 4 m)	89,3	87,9	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm trong quả cầu chữa cháy tự động của Za (05 quả qua môi trường khắc nghiệt, đo cách tâm nổ 4 m)	88,6	86,8	Đạt yêu cầu
Lực ma sát gây cháy, N	192	40 (Za); 36 (Zb)	

Bảng 12. Kết quả thử nghiệm dập tắt đám cháy với khối nổ sử dụng THT mới để nhồi nạp trong khối nổ quả cầu chữa cháy tự động của Nhà máy Za.

Hạng mục	Kết quả	Đánh giá
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu A [4] (05 quả ở điều kiện thường)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu A (05 quả qua rung xóc)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu A (05 quả qua môi trường khắc nghiệt)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu E [4] (05 quả ở điều kiện thường)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu E (05 quả qua rung xóc)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu
Thử nghiệm dập đám cháy kiểu E (05 quả qua môi trường khắc nghiệt)	05 quả đều dập tắt hoàn toàn	Đạt yêu cầu

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu cải tiến, bổ sung thêm thành phần giảm nhạy, chất đệm vào thuốc tạo tiếng nổ ban đầu. Tác giả đã nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của cỡ hạt chất cháy, cỡ hạt chất oxy hóa, tỷ lệ thành phần chất cháy, tỷ lệ thành phần chất oxy hóa đến các chỉ tiêu chính của thuốc, từ đó lựa chọn được vùng tham số đáp ứng yêu cầu và mục tiêu nghiên cứu. Đã tiến hành chế tạo,

thử nghiệm và ứng dụng thành công THT tạo tiếng nổ mới. Kết quả cho thấy, THT tạo tiếng nổ mới có các đặc trưng năng lượng xạ thuật phù hợp và chịu được ma sát tốt hơn nhiều so với thuốc trước đó đủ điều kiện áp dụng cho sản xuất tại nhà máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Tính, Trần Quang Phát, “Cơ sở hỏa thuật”, Nxb Quân đội nhân dân, (2009).
- [2]. “QTCN chế tạo thuốc hỏa thuật khối nổ quả cầu chữa cháy”, Nhà máy Za, (2021).
- [3]. “QTCN chế tạo thuốc hỏa thuật tạo tiếng nổ RAP”, Nhà máy Zb, (2018).
- [4]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 4878:2009 về phòng cháy chữa cháy và phân loại đám cháy, (2009).
- [5]. Nguyễn Minh Tuấn và các cộng sự, “Nghiên cứu xây dựng phương pháp đo tốc độ cháy thuốc hỏa thuật”, (2015).
- [6]. H.B. Faber, “Military Pyrotechnics”, Government Printing Office, Washington, USA, (1979).
- [7]. Juyoung Oh, Seung-gyo Jang, Jack J.Yoh, “Towards understanding the effects of heat and humidity on ageing of a NASA standard pyrotechnic igniter”, Scientific Reports, No. 9, pp. 1-12, (2019).
- [8]. Мельников В.Э, “Современная пиротехника”, Москва, (2014).
- [9]. STANAG 4487:2002, Explosive, friction sensitivity tests.

ABSTRACT

Research on reducing friction sensitivity for pyrotechnic composite has high heat and high burning rate

This article presents the results of research on reducing friction sensitivity for fire magic potions that create explosions with high heat and high burning rates. The results show that when using additional additives including zinc stearate ($Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$), magnesium carbonate powder ($MgCO_3$) and adjusting the ratio of potassium perchlorate powder ($KClO_4$), aluminum powder (Al) in the composition of the mixture, the original drug mixture improved the friction sensitivity. The pyrotechnic has high the combustion heat and ensuring the fire and explosion properties when applied to products.

Keywords: Pyrotechnic; Friction sensitivity.