

## Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy và tính chất công nghệ của nhiên liệu rắn hỗn hợp trên cơ sở chất cháy kết dính hydroxyl-terminalted polybutadiene

Nguyễn Đức Long<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Hùng<sup>1</sup>, Trần Hữu Thành<sup>1\*</sup>, Đoàn Văn Điệp<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục CNQP, số 192 Đức Giang, Long Biên, Hà Nội, Việt Nam;

<sup>2</sup>Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam.

\*Email: huuthanh.ipe@gmail.com

Nhận bài: 04/7/2024; 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.2024.74-80>

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy và tính chất công nghệ của nhiên liệu rắn hỗn hợp (NLRHH) trên cơ sở chất cháy kết dính hydroxyl-terminalted polybutadiene (HTPB). Bước đầu xác lập thời gian đông rắn mẫu NLRHH trên cơ sở HTPB ở nhiệt độ 60°C là 7 ngày. Các mẫu NLRHH trên cơ sở HTPB có giá trị tốc độ cháy ở áp suất 40 at đạt đến 22,5 mm/s, có tính chất công nghệ tốt (độ đàn hồi đến 0,9, độ xuyên kim đến  $340 \times 10^{-1}$  mm) có cơ tính tương đối tốt, định hướng công nghệ đúc rót tự do cho chế tạo các loại động cơ đẩy liên.

Từ khoá: NLRHH; HTPB; Tốc độ cháy; Tính chất công nghệ.

### 1. MỞ ĐẦU

Nhiên liệu rắn hỗn hợp (NLRHH) sở hữu một số ưu thế vượt trội so với các vật liệu mang năng lượng khác (xung lượng riêng lớn, tốc độ cháy ít phụ thuộc áp suất, dải điều chỉnh tốc độ cháy rộng, ...), chính vì vậy, việc nghiên cứu, phát triển loại vật liệu này là xu hướng tất yếu trong lĩnh vực khoa học quân sự và vũ trụ. Thành phần NLRHH gồm: chất cháy kết dính; chất ôxy hóa; các chất cháy kim loại, các chất nổ mạnh (như hexogen, octogen); các chất hóa dẻo, phụ gia tốc độ cháy, phụ gia công nghệ và các loại phụ gia khác [1-6].

Những năm gần đây, NLRHH trên cơ sở chất cháy kết dính HTPB đã được nhiều quốc gia trên thế giới đã được nghiên cứu, phát triển như Mỹ, Châu Âu, Nhật Bản, Ấn Độ, Israel, Trung Quốc, ... Việc sử dụng cao su HTPB làm chất cháy kết dính trong NLRHH cho phép tăng hàm lượng chất rắn trong nhiên liệu lên tới 90-91% và làm tăng xung lực riêng của nhiên liệu. Nhiên liệu nền cao su HTPB có xung lượng riêng tính toán lên tới 264 kG.s/kg tại  $P_k/P_a = 70/1$ , mật độ 1,83 g/cm<sup>3</sup>, hệ số mũ trong phương trình tốc độ cháy  $v = 0,24 [5]$ . Tuy nhiên, đến nay chưa có nhiều công bố về ảnh hưởng của kích thước hạt AP, thành phần xúc tác cháy đến các đặc trưng tốc độ cháy và yếu tố công nghệ để chế tạo NLRHH trên cơ sở chất cháy kết dính HTPB.

Tại Việt Nam, các nhà khoa học Viện T đã tập trung nghiên cứu, làm chủ các mác nhiên liệu rắn hỗn hợp trên cơ sở chất cháy kết dính butadiene acrylonitrile có nhóm cacboxyl cuối mạch, tùy theo yêu cầu có giá trị tốc độ cháy từ 1,0÷40 mm/s [6].

Trước yêu cầu mới về phát triển các mác NLRHH mới và xu hướng của thế giới trong việc sử dụng đa dạng nguồn nguyên liệu đầu, việc nghiên cứu mác nhiên liệu trên nền cao su HTPB là cần thiết. Bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố (hàm lượng xúc tác cháy, kích thước chất ôxy hóa) đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy của NLRHH trên cơ sở chất cháy kết dính HTPB.

### 2. THỰC NGHIỆM

#### 2.1. Vật tư, hóa chất

Thành phần chính của NLRHH trong nội dung nghiên cứu bao gồm:

Cao su HTPB: hàm lượng hydroxyl: 0,71 mmol/g; hàm lượng nước: 0,021%; khối lượng phân tử 2800 g/mol; độ nhớt ở 40 °C: 3,4 pas; xuất xứ Trung Quốc.

Isophorone diisocyanate (IPDI): Chất lỏng, mùi đặc trưng; hàm lượng chất chính: 99%; xuất xứ Trung Quốc.

Chất ôxy hóa amoni peclorat (AP): Hàm lượng chất chính  $\geq 99,5\%$ , xuất xứ: Việt T. Để đánh giá ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy NLRHH, hạt AP được gia công bằng công nghệ nghiền khí động theo các chế độ khác nhau.

Diocetyl sebacate (DOS): Chất lỏng không màu, không có tạp chất cơ học, hệ số axit  $\leq 0,12$  mg KOH/g chất chính, nhiệt độ bùng cháy không lớn hơn 215 °C, hàm lượng chất dễ bay hơi, không lớn hơn 0,1%, mật độ ở 20 °C là  $0,913 \div 0,919$  g/cm<sup>3</sup>, xuất xứ châu Âu.

Aerosil: Hàm lượng ẩm  $\leq 1,5\%$ , kích thước hạt trung bình  $5 \div 15$  nm, xuất xứ Mỹ.

Diethylferrocene (DAP): Chất lỏng màu nâu đỏ, hàm lượng sắt  $22 \div 24\%$ , hàm lượng ẩm không lớn hơn 0,05%, nhiệt độ bốc cháy  $125 \div 140$  °C, đóng vai trò chất xúc tác cháy trong thành phần NLRHH, xuất xứ Việt Nam.

Bột nhôm (Al): Bột dạng cầu, hàm lượng chất chính  $\geq 99,7\%$  nhôm, diện tích bề mặt riêng 0,51 m<sup>2</sup>/g, xuất xứ châu Âu.

Ferrocene: Hàm lượng chất chính  $\geq 99,0\%$ , xuất xứ Sigma.

Bột Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano, hàm lượng chất chính 99%, kích thước hạt: không lớn hơn 30 nm.

Chất phòng lão: 2,6-di(tert-butyl)hydroxytoluene (DBHT): Bột màu trắng.

Chất xúc tiến hóa rắn: Dibutyltin laurate (DBTDL), hàm lượng chất chính 98%.

## **2.2. Phương pháp nghiên cứu**

### **2.2.1. Phương pháp tạo mẫu**

Các mẫu NLRHH được chế tạo trong thiết bị trộn chân không: nhiệt độ trộn  $25 \div 50$  °C, tốc độ cánh khuấy 15 vòng/phút, tốc độ trục khuấy  $5 \div 10$  vòng/phút, thời gian trộn 5 giờ. Thứ tự nạp các thành phần: cao su HTPB, các chất lỏng (DOS, DAP, lexytyl), (Ferrocene + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano), (DBHT, DBTDL, bột nhôm, (AP, aerosil).

Đối với mẫu chứa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> được trộn đều với hỗn hợp DOS, lexytyl bằng thiết bị trộn siêu âm trước khi dùng để trộn hồ nhiên liệu.

Hồ nhiên liệu được ép (có hút chân không) vào khuôn tạo mẫu đo tốc độ cháy. Hóa rắn mẫu theo chu trình 50 °C: 12 giờ, 60 °C: 6÷8 ngày, để nguội tự nhiên: 12 giờ. Các mẫu nhiên liệu ( $\Phi 8 \times 80$ ) sau khi hóa rắn được sử dụng đo tốc độ cháy ở áp suất không đổi và độ bền nén.

### **2.2.2. Phương pháp phân tích, đo đạc**

Diện tích bề mặt riêng Brunauer-Emmett-Teller (BET): Thiết bị Micro Active for TriStar II plus 2.03 (Mỹ) được sử dụng để xác định kích thước của hạt AP được phân tích trên cơ sở phân tích diện tích bề mặt riêng, các mẫu AP được sấy khô ở 100 °C trong 6 giờ, để nguội tự nhiên trong bình hút ẩm trước khi tiến hành phân tích.

Độ xuyên kim được đánh giá trên thiết bị K19500 (Mỹ) theo quy trình kiểm tra được Viện T phê duyệt. Mẫu hồ nhiên liệu được lấy từ trong thiết bị trộn ngay sau khi trộn có gia nhiệt xong. Thời gian kiểm tra 30 s. Giá trị độ xuyên kim được lấy trên giá trị thang đo. Thời gian sống của hồ nhiên liệu được tính từ khi trộn xong hỗn hợp đến lúc độ xuyên kim đạt  $280 \times 10^{-1}$  mm.

Độ đàn trái K<sub>p</sub> là thông số công nghệ, được tính bằng sự thay đổi tương đối của đường kính ban đầu (30 mm) của mẫu cao 30 mm trong thời gian 30 phút dưới tác dụng của lực trọng trường.

Tốc độ cháy được xác định ở áp suất không đổi 40 at bằng thiết bị kiểm tra tốc độ cháy - bom áp suất không đổi tại Viện T (TCVN/QS 888:2019).

Độ cứng được đo trên thiết bị đo độ cứng tự động GX-610/GS-709N, Nhật Bản.

Độ bền nén được kiểm tra trên thiết bị trên thiết bị Testometric M350-10CT (Anh) tốc độ 3 mm/phút, ở nhiệt độ  $20 \pm 2$  °C.

Nhiệt lượng, xung lượng riêng được tính toán trên phần mềm tính toán các đặc trưng năng lượng và sản phẩm cháy của thuốc phóng, nhiên liệu.

Mật độ nhiên liệu được xác định theo Tiêu chuẩn TQSA 1282:2006.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Tính toán, lựa chọn thành phần nhiên liệu

Việc lựa chọn thành phần nhiên liệu quyết định đáng kể tính chất công nghệ, tính chất cơ lý của mìn nhiên liệu. Theo tài liệu được chuyển giao, thành phần chính của nhiên liệu hỗn hợp trên cơ sở HTPB dùng cho đạn phản lực phóng loạt chứa khoảng 17% Al, 68% AP. Do đó, tỷ lệ này được lựa chọn cho những nghiên cứu tiếp theo.

Đối với nhiên liệu trên cơ sở HTPB, việc tính toán lựa chọn thành phần cao su (HTPB):chất đóng rắn (IPDI) rất quan trọng. Trong bài báo này, chúng tôi lựa chọn tỷ lệ thành phần HTPB:IPDI sao cho tỷ lệ OH/NCO = 1:1 để xảy ra quá trình đóng rắn hoàn toàn (hình 1). Các thành phần khác được tính toán nhằm đảm bảo yếu tố năng lượng và tính chất công nghệ của nhiên liệu.

Nhằm xác định ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính chất cháy của NLRHH trên nền HTPB, nhóm tác giả đã chế tạo 08 mẫu với thành phần, tính chất năng lượng, xạ thuật như sau:

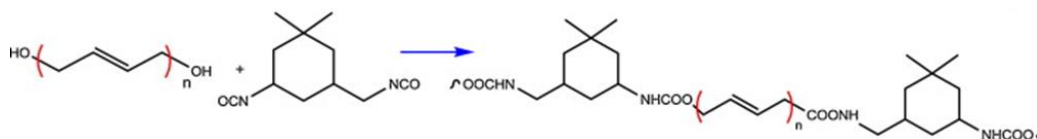
**Bảng 1.** Đơn thành phần NLRHH và đặc trưng năng lượng, xạ thuật (tính toán).

TT	Thành phần, đặc trưng năng lượng, xạ thuật (Tính toán)	Đơn vị	Mẫu thí nghiệm							
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
I	<b>Thành phần</b>									
1	AP	%	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(*)</sup>	68 <sup>(**)</sup>	68 <sup>(**)</sup>
2	DOS	%	4,6	2,3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	3,8
3	DAP	%	0	2,3	3,8	3,8	1,9	1,9	3,8	0,8
4	Ferrocene	%	-	-	-	-	1,9	-	-	-
5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	-	-	-	-	-	1,9	-	-
6	DBTDL, cho ngoài	%	-	-	-	0,015	-	-	-	-
8	Al	%	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
9	HTPB và phụ gia khác	%	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
II	<b>Đặc trưng năng lượng, xạ thuật</b>									
7	Nhiệt lượng cháy	Kcal/kg	1592	1596	1588	1588	1586	1597	1588	1591
8	Xung lượng riêng:	s	242	242	241	241	241	238	241	242

Ghi chú:

(\*) – AP chứa 64% AP mác D, 36% AP siêu mịn;

(\*\*) – AP chứa 64% AP mác D, 36% AP mác PA7.

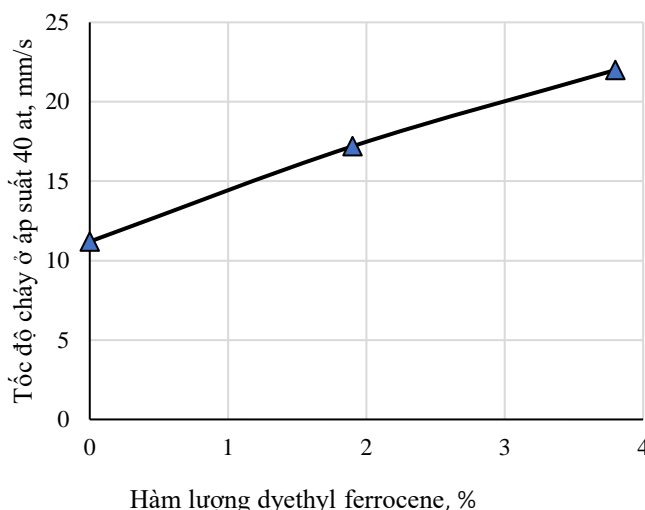


**Hình 1.** Phản ứng đóng rắn cao su HTPB.

Trên cơ sở tính toán, thiết lập đơn thành phần cho thấy các mẫu nhiên liệu trên cơ sở HTPB có nhiệt lượng, xung lượng riêng tương đối cao, đảm bảo cho nghiên cứu, chế tạo các loại nhiên liệu mới.

### 3.2. Ảnh hưởng của phụ gia tốc độ cháy đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy NLRHH

Trong NLRHH, phương pháp tăng tốc độ cháy hiệu quả là đưa một lượng sắt nhất định vào thành phần. Diethylferrocene (trong vai trò là một hợp chất hữu cơ chứa sắt) là một trong những phương án hiệu quả để tăng tốc độ cháy của NLRHH trên nền AP [7]. Ngoài tác dụng tăng tốc độ cháy của NLRHH, DAP còn là chất hóa dẻo tốt, làm tăng tính chất công nghệ của NLRHH [6]. Ảnh hưởng của DAP đến tốc độ cháy của NLRHH được biểu diễn trên hình 2. Phân tích đồ thị ảnh hưởng của DAP đến tốc độ cháy cho thấy, việc tăng sử dụng DAP đến 3,8% cho phép tăng tốc độ cháy của NLRHH lên đến 96,4% so với mẫu không chứa DAP.



**Hình 2.** Ảnh hưởng của DAP đến tốc độ cháy NLRHH trên nền HTPB.

Việc thay thế một phần DAP bằng ferrocene (Mẫu M5) hoặc  $Fe_2O_3$  (Mẫu M6) vẫn đảm bảo yếu tố công nghệ chế tạo NLRHH, tuy nhiên phương án này không làm thay đổi đáng kể tốc độ cháy của nhiên liệu rắn hỗn hợp (Mẫu M5, M6, bảng 2).

**Bảng 2.** Kết quả ảnh hưởng của xúc tác đến tốc độ cháy NLRHH.

TT	Tên chỉ tiêu	Mẫu thí nghiệm					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	Độ đàn trái (Kp)	0,6	0,7	0,9	0,3	0,5	0,5
2	Độ xuyên kim ( $\times 10^{-1}$ mm)	295	300	340	260	290	295
3	Tốc độ cháy ở áp suất 40 tại $U_{40}$ (mm/s)	11,2	17,2	22,5	17,0	21,2	21,6

### 3.3. Ảnh hưởng của phụ gia đóng rắn đến tốc độ cháy của NLRHH

Để tăng khả năng đóng rắn và cơ tính của NLRHH, một số công bố [8], người ta thường đưa vào trong thành phần phụ gia đóng rắn DBTDL tỷ lệ 1÷2% chất kết dính. Kết quả chế thử cho thấy, việc đưa phụ gia DBTDL ảnh hưởng không nhỏ đến tính chất công nghệ của nhiên liệu, đồng

thời ảnh hưởng đến tốc độ cháy của mẫu thí nghiệm (từ 22,5 mm/s mẫu M3 xuống 17,0 mm/s mẫu M4). Tốc độ cháy của nhiên liệu rắn hỗn hợp phụ thuộc nhiều vào độ đồng đều các thành phần trong nhiên liệu, kết quả của việc giảm tốc độ cháy trong các mẫu nhiên liệu chưa DBTDL có thể được giải thích do thành phần này làm tăng tốc độ đóng rắn trong nhiên liệu, là nguyên nhân gây ra sự không đồng đều các cấu tử và tính chất công nghệ của hồ nhiên liệu. Việc lựa chọn tỷ lệ DBTDL và phương pháp đưa vào hồ nhiên liệu cần tiếp tục cần nghiên cứu để đạt được mức nhiên liệu có tính chất công nghệ ổn định.

### 3.4. Ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy NLRHH

Để đánh giá ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy NLRHH, nhóm nghiên cứu đã tiến hành tạo mẫu trong phòng thí nghiệm, sử dụng 3 loại AP kích thước nhỏ: AP mức D, AP mức PA7, AP siêu mịn. Phụ gia aerosil (0,05% theo khối lượng AP) được đưa vào trong thành phần AP nhằm hạn chế sự kết dính các hạt AP với nhau. Aerosil trong một số trường hợp được sử dụng trong vai trò chất xúc tác cháy và làm giảm sản phẩm pha rắn trong quá trình cháy của NLRHH [9, 10]. Kích thước của các mẫu AP này được mô tả ở bảng 3.

**Bảng 3.** Thành phần và tính chất của mẫu AP.

TT	Thông số	Mẫu AP	Mẫu AP	Mẫu AP
		mức D	PA7	siêu mịn
1	Diện tích bề mặt riêng trung bình (m <sup>2</sup> /g)	-	0,72	3,85
2	Kích thước hạt trung bình (μm)	200	9-10	4,2

**Bảng 4.** Ảnh hưởng của kích thước AP đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy NLRHH.

TT	Tên chỉ tiêu	Mẫu thí nghiệm		
		M3	M7	M8
1	Độ đàn trái (Kp)	0,9	0,8	0,6
2	Độ xuyên kim ( $\times 10^{-1}$ mm)	340	320	300
3	Tốc độ cháy ở áp suất 40 tại U <sub>40</sub> (mm/s)	22,5	17,2	12,0

Kích thước hạt AP ảnh hưởng nhiều đến tốc độ cháy của nhiên liệu, tuy nhiên, để tạo hình được mẫu nhiên liệu theo công nghệ đúc rót tự do đòi hỏi yêu cầu cao về việc đảm bảo yếu tố công nghệ [1, 2, 7, 9-11]. Độ đàn trái không nhỏ hơn 0,3 và độ xuyên kim không nhỏ hơn  $280 \times 10^{-1}$  mm. Kết quả kiểm tra tính chất công nghệ và tốc độ cháy được trình bày ở bảng 4.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn tỷ lệ khối lượng AP hạt nhỏ/hạt to lần lượt là 36/64. Đây là tỷ lệ nằm trong dải AP hạt nhỏ/hạt to 30/70÷40/60 nhằm đạt được tính chất lưu biến và mật độ tốt nhất [12]. Kết quả thử nghiệm các mức AP cho thấy, theo chiều tăng của kích thước hạt AP, tốc độ cháy ở áp suất 40 at của NLRHH giảm xuống rõ rệt (từ 22,5 mm/s mẫu M3 giảm xuống 17,2 mm/s mẫu M7). Điều này có thể được giải thích rằng, khi tăng kích thước của các hạt AP, tốc độ phân hủy AP giảm xuống dẫn đến sự giảm nhanh của tốc độ cháy [7, 13]. Việc đồng thời giảm xúc tác cháy và tăng kích thước hạt AP (Mẫu M8) cũng làm giảm đáng kể tốc độ cháy của NLRHH trên nền HTPB. Như vậy, kích thước hạt AP ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ cháy của các mẫu NLRHH, kết quả nghiên cứu có ý nghĩa quan trọng trong việc điều chỉnh tốc độ cháy của NLRHH trên cơ sở chất cháy kết dính HTPB.

### 3.5. Ảnh hưởng của thời gian hóa rắn tới cơ tính mẫu NLRHH

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu mục 3.1 và 3.2 bài báo lựa chọn Mẫu M3 phục vụ đánh giá khả năng đóng rắn và cơ tính của NLRHH (Mẫu M3 có tính chất công nghệ và tốc độ cháy cao). Mẫu M3 được sấy hóa rắn ở nhiệt độ 60 °C trong thời gian 6÷8 ngày.

Kết quả kiểm tra một số tính chất cơ lý của mẫu nhiên liệu trình bày trong bảng 5.

**Bảng 5.** Ảnh hưởng của thời gian hóa rắn đến cơ tính của NLRHH.

TT	Thông số	Thời gian hóa rắn		
		6 ngày	7 ngày	8 ngày
1	Độ cứng, đơn vị theo thang Shore A	78	81	82
2	Độ bền nén, MPa	2,22	2,65	2,67
3	Độ biến dạng, %	37,0	44,4	42,9
4	Mật độ, g/cm <sup>3</sup>	1,75	1,75	1,75

Kết quả kiểm tra độ cứng và độ bền nén cho thấy, ở nhiệt độ 60 °C, mẫu nhiên liệu hóa rắn hoàn toàn trong thời gian 7 ngày và cơ tính không giảm khi sấy thêm 24 giờ. Việc tăng thời gian đóng rắn lên 01 ngày không làm thay đổi nhiều tính chất cơ học của nhiên liệu trên cơ sở chất cháy kết dính HTPB. Độ biến dạng của nhiên liệu trên cơ sở HTPB tương đối cao, phù hợp với định hướng công nghệ đúc liền thỏi nhiên liệu hỗn hợp với vỏ động cơ [14].

#### 4. KẾT LUẬN

Đã thiết lập các đơn thành phần NLRHH trên nền HTPB, nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy và tính chất công nghệ như: ảnh hưởng kích thước hạt AP và một số xúc tác cháy, chất đóng rắn. Xác lập thời gian đóng rắn mẫu NLRHH trên cơ sở HTPB ở nhiệt độ 60 °C là 7 ngày (mẫu M3). NLRHH trên cơ sở HTPB (mẫu M3) có tính chất công nghệ tốt (độ đàn trải 0,9, độ xuyên kim 340 x10<sup>-1</sup> mm), đặc trưng năng lượng, tốc độ cháy, cơ tính tương đối tốt, định hướng công nghệ đúc rót tự do cho chế tạo các loại động cơ đúc liền. Kết quả nghiên cứu bước đầu là cơ sở khoa học quan trọng phục vụ nghiên cứu tính chất của NLRHH trên cơ sở HTPB, kết quả các thông số xạ thuật, năng lượng được bổ sung vào nguồn dữ liệu đầu vào cho thiết kế động cơ vật thể bay phục vụ mục đích quân sự và dân sự, đáp ứng yêu cầu nhiệm vụ trong tình hình mới.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. В. К. Марьян, Н. М. Боклашов, Б. Г. Романенко и др., “Производство и эксплуатация порохов и взрывчатых веществ”, Пенза ПАИИ - 350 с, (2005).
- [2]. Фиошина М.А., Русин Д.Л., “Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив”, РХТУ им. Д.И. Менделеева, М - 316 с, (2001).
- [3]. Nguyễn Đức Long, Ngô Văn Giao, Nguyễn Mạnh Tường, “Giáo trình các quá trình cháy của nhiên liệu rắn trong động cơ tên lửa”, Quân đội nhân dân, 200 trang, (2021).
- [4]. Phan Đức Nhân, “Cơ sở công nghệ nhiên liệu tên lửa rắn hỗn hợp”. Quân đội nhân dân, 198 trang, (2010).
- [5]. Гараев И.Х., Косточко А.В., Мухаметшин Т.И., “Лабораторное получение связующих смесевых твердых ракетных топлив” М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 112 с, (2015).
- [6]. Nguyễn Đức Long, Nguyễn Văn Hùng, Trần Hữu Thành, Đoàn Văn Điệp, Hoàng Văn Hùng “Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy cao của vật liệu mang năng lượng trên nền cao su butadiene acrylonitrile có nhóm cacboxyl cuối mạch”, Bản B của Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam, 65(11) (2023).
- [7]. Черный А.Н., Соколов С.А., Синдицкий В.П. “Закономерности горения топливных композиций с низким содержанием окислителя и высоким содержанием ферроценов”. Успехи химии и химической технологии, **25(12)**, С. 104-110, (2011).
- [8]. Islam K Boshra, Guo Lin and Ahmed Elbeih “Influence of different crosslinking mixtures on the mechanical properties of composite solid rocket propellants based on HTPB”. High Performance Polymers. **33 (1)** (2020). DOI: 10.1177/0954008320940359.
- [9]. Архипов В.А., Горбенко Т.И., Жуков А.С., Пестерев А.В. “Влияние катализаторов на горение гетерогенных конденсированных систем”, Бутлеровские сообщения. **Т. 28. № 17**. С. 34-41, (2011).
- [10]. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В., Логачев В.С., Коротков А.И., “Горение порошкообразных металлов в активных средах”, М.: Наука, 294 с, (1972).
- [11]. Н.Д. Туан, “Изучение закономерностей и механизма горения энергонасыщенных систем на основе нитратов различных металлов”, диссертация. РХТУ, 152 с, (2021).

- [12]. И.А. Лавыгина, “Основы практической реологии и реометрии/Пер. с англ.; Под ред. В. Г. Куличихина”, М.: Колос С, 312 с, (2003).
- [13]. A.P. Denisyuk, Z.N. Aung, Y.G. Shepelev, “Energetic materials combustion catalysis: Necessary conditions for implementation”, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, **46(1)**, pp.90-98, (2020), DOI: 10.1002/prep.202000170.
- [14]. Цуцуран В. И., Петрухин Н.В., Гусев С.А. “Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив”. М.: МОРФ, 332 с, (1999).

#### ABSTRACT

##### **Study on the influence of some factors on the combustion rate and technological properties of composite solid fuels based on hydroxyl-terminated polybutadiene**

*The paper presents the results of research on the influence of some factors on the burn rate and technological properties of composite solid rocket fuels (CSRPs) based on hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB). The initial step to determine the curing time of CSRPs sample based on HTPB at 60 °C to be 7 days. CSRPs based on HTPB have burning rates at pressure from 40 at to 22.5 mm/s, have good technological properties (spreading rate up to 0.9, penetration rate up to  $340 \times 10^{-1}$  mm) with mechanical properties, oriented for use in manufacturing all types of cast engines.*

**Keywords:** CSRП; HTPB; Burn rate; Technological properties.