

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

Nguyễn Đức Long, Nguyễn Văn Hùng, Trần Hữu Thành*, Đoàn Văn Điệp, Hoàng Văn Hùng

Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, 192 Đức Giang, phường Thượng Thanh, quận Long Biên, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 15/6/2023; ngày chuyển phản biện 19/6/2023; ngày nhận phản biện 12/7/2023; ngày chấp nhận đăng 14/7/2023

Tóm tắt:

Vật liệu mang năng lượng dị thể (VLMNLD) sở hữu những ưu thế vượt trội so với các vật liệu mang năng lượng khác. Chính vì vậy, việc nghiên cứu, phát triển loại vật liệu này để tạo lực đẩy cho vật thể bay là xu hướng tất yếu trong lĩnh vực khoa học quân sự và vũ trụ. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy của VLMNLD trên nền cao su butadiene acrylonitrile CKH-10KTP và ammonium perchlorate (AP). Kết quả cho thấy, quy luật cháy phụ thuộc vào áp suất của VLMNLD trên nền CKH-10KTP và AP siêu mịn (diện tích bề mặt riêng $2,61 \div 3,85 \text{ m}^2/\text{g}$), sử dụng xúc tác cháy dẫn xuất ferrocene. Nghiên cứu cũng xác định được hàm lượng chất xúc tác cháy - chất hóa dẻo tối ưu là $3,5 \div 3,8\%$. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học vững chắc để tối ưu các thông số xạ thuật, năng lượng mác vật liệu mang năng lượng, bổ sung vào nguồn dữ liệu quốc gia về thiết kế động cơ vật thể bay.

Từ khóa: ammonium perchlorate siêu mịn, cao su butadiene acrylonitrile CKH-10KTP, dẫn xuất ferrocene, vật liệu mang năng lượng dị thể.

Chỉ số phân loại: 1.3

1. Mở đầu

VLMNLD sở hữu những ưu thế vượt trội so với các vật liệu mang năng lượng khác, chính vì vậy, việc nghiên cứu, phát triển loại vật liệu này để tạo lực đẩy cho vật thể bay là xu hướng tất yếu trong lĩnh vực khoa học quân sự và vũ trụ. VLMNLD là hệ polyme composite dị thể có thành phần gồm: chất cháy - kết dính; chất oxy 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 [1-4]. Thành phần cơ bản của VLMNLD bao gồm:

Chất oxy hoá ($60 \div 80\%$, theo khối lượng): Là chất trong quá trình phân hủy giải phóng ra lượng oxy tự do cần thiết để oxy hoá các thành phần khác trong VLMNLD. Một số loại chất oxy hóa thường được sử dụng là: NH_4ClO_4 , NH_4NO_3 , KNO_3 , LiNO_3 , KClO_3 , NClO_4 , NO_2ClO_4 , $\text{N}_2\text{H}_4\text{HClO}_4$, NH_3OClO_4 ...

Chất cháy - chất kết dính ($10 \div 15\%$, theo khối lượng): Chất cháy kết dính dùng trong VLMNLD chủ yếu là các cao su dạng lỏng (các cao su có phân tử khối thấp - oligome) hoặc nhựa nhiệt dẻo. Hiện nay, trên thế giới thường sử dụng chủ yếu cao su butadiene acrylonitrile có nhóm cacboxyl cuối mạch như: CKH-10KTP, CKH-18KTP và hydroxyl terminated polybutadiene (HTPB).

Chất cháy kim loại ($5 \div 18\%$, theo khối lượng): Chất cháy năng lượng cao đang được dùng phổ biến trong VLMNLD là các bột kim loại, khi cháy tỏa ra một lượng lớn nhiệt. Các kim loại thông dụng nhất là Al, B, Be, Zr. Các chất cháy năng lượng thường sử dụng với tổng hàm lượng không vượt quá 25% .

Chất hóa dẻo và các phụ gia khác ($2 \div 7\%$, theo khối lượng):

i) Chất hóa dẻo: Sự có mặt của chất hoá dẻo trong thành phần VLMNLD làm cho một số tính chất hoá lý của vật liệu thay đổi, giúp giảm độ nhớt, tăng độ dẻo và linh động, giảm nhiệt độ thủy tinh hoá. Một số chất hóa dẻo còn đóng vai trò chất phụ gia tốc độ cháy. Các chất hóa dẻo thường được dùng là: dioctyl sebacate, dibutyl phthalate.

ii) Chất phụ gia tốc độ cháy: Là thành phần được đưa vào VLMNLD nhằm mục đích điều chỉnh tốc độ cháy (tăng hoặc giảm tốc độ cháy).

iii) Các phụ gia khác: Đây là các chất lỏng hoặc rắn được thêm vào với khối lượng chỉ khoảng một vài phần trăm, thực hiện chức năng điều chỉnh đặc tính của VLMNLD để cải tiến chúng (độ bám dính, khả năng đóng rắn...), các thành phần phụ gia này cơ bản không tăng giá trị xung lượng riêng của VLMNLD. Ngoài ra, trong thành phần của một số VLMNLD hiện đại có thể bổ sung thêm các loại thuốc nổ mạnh như hexogen, octogen để tăng các đặc trưng năng lượng cho vật liệu.

Đã có những công bố liên quan đến ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy của VLMNL [5-8]. Các phương án điều chỉnh tốc độ cháy VLMNLD chủ yếu bao gồm: đưa vào thành phần nhiên liệu xúc tác cháy, thay một phần hoặc toàn bộ AP bằng chất oxy hóa khác, thay đổi kích thước của

*Tác giả liên hệ: Email: huuthanh.IPE@gmail.com

Study on the influence of some factors on the high burning rate of energy-carrying materials based on acrylonitrile butadiene rubber with end-chain carboxyl group

Duc Long Nguyen, Van Hung Nguyen,
Huu Thanh Tran*, Van Diep Doan, Van Hung Hoang

*Institute of Propellants and Explosives, General Department of Defense Industry,
192 Duc Giang Street, Thuong Thanh Ward, Long Bien District, Hanoi, Vietnam*

Received 15 June 2023; revised 12 July 2023; accepted 14 July 2023

Abstract:

Heterogeneous energy-carrying materials possess outstanding advantages compared to other energy-carrying materials, therefore, research and development of this type of material to create propulsion for flying objects is an inevitable trend in the field of military science and space. This paper presents the results of research on the influence of a number of factors on the technological properties and combustion rate of heterogeneous energy-carrying materials based on acrylonitrile butadiene rubber CKH-10KTP and ammonium perchlorate (AP). The research results show that the combustion law depends on the pressure of heterogeneous energy-carrying materials based on CKH-10KTP and ultra-fine AP (specific surface area $2.61 \div 3.85 \text{ m}^2/\text{g}$), using a combustion catalyst ferrocene derivative. The study also determined the optimal content of combustion catalyst - plasticiser to be $3.5 \div 3.8\%$. The research results are a solid scientific basis for optimally determining the parameters of radioactivity, energy of energy-carrying materials, supplementing the national data source in the design of aircraft engines, meeting requirements in the new context.

Keywords: acrylonitrile butadiene rubber CKH-10KTP, ferrocene derivative, heterogeneous energy carriers, ultrafine ammonium perchlorate.

Classification number: 1.3

chất cháy và oxy hóa, tăng tỷ lệ chất oxy hóa trong thành phần, sử dụng chất cháy - chất kết dính và chất oxy hóa hoạt động mang năng lượng cao.

V.A. Arkhipov và cs (2011) [9] nghiên cứu ảnh hưởng của bột nhôm đã xúc tác cháy đến tốc độ cháy thuốc phóng hỗn hợp, sử dụng mạt nhôm Alex (diện tích bề mặt riêng $13,9 \text{ m}^2/\text{g}$) làm tăng tốc độ cháy của thuốc phóng dị thể $1,2 \div 2,4$ lần so với chỉ sử dụng nhôm mạt ACD-4 (diện tích bề mặt riêng $0,51 \text{ m}^2/\text{g}$). Tuy nhiên, phương án sử dụng mạt nhôm có tính chất tương đương Alex với số lượng lớn để đáp ứng quy mô công nghiệp liên quan đến yếu tố công nghệ, giá thành sản phẩm, khả năng đảm bảo vật tư còn khó khăn, do đó nhóm nghiên cứu không lựa chọn.

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy của vật liệu mang năng lượng đặt ra bài toán hết sức phức tạp, đó là xây dựng cơ sở để ổn định tính chất xạ thuật và thiết kế động cơ vật thể bay. Tính chất cháy của VLMNLDT được các nước có công nghệ tên lửa phát triển nghiên cứu từ lâu. Tuy vậy, đối với các nghiên cứu liên quan đến lĩnh vực quân sự, đến nay chưa có nhiều công bố về ảnh hưởng của kích thước hạt AP, thành phần xúc tác cháy đến các đặc trưng xạ thuật và yếu tố công nghệ chế tạo VLMNLDT cho động cơ trên nền cao su CKH-10KTP.

Mặc VLMNLDT trên nền CKH-10KTP phục vụ chế tạo động cơ xuất phát đòi hỏi có tốc độ cháy cao ($35\text{-}40 \text{ mm/s}$ ở áp suất 80 at), cháy ổn định, nhiệt lượng lớn. Chính vì vậy, có thể làm chủ thành phần mạt VLMNLDT là mục tiêu lớn nhất của nghiên cứu này.

Tại Việt Nam, Viện Thuốc phóng Thuốc nổ là đơn vị tiên phong trong nghiên cứu VLMNLDT. Một số nghiên cứu về loại vật liệu này của Viện đã được áp dụng vào thực tiễn, góp phần quan trọng trong nâng cao tiềm lực quân sự nước nhà. Viện Thuốc phóng Thuốc nổ đã nghiên cứu được các mạt vật liệu hoạt động tin cậy ở các điều kiện khác nhau từ -50 đến $+50^\circ\text{C}$, có chất lượng tương đương với các sản phẩm cùng loại trên thế giới. Các vật liệu trước đây tùy theo yêu cầu có tốc độ cháy từ $1,0\text{-}13,5 \text{ mm/s}$. Tuy nhiên, trước yêu cầu mới về phát triển các mạt VLMNLDT mới, việc nắm rõ quy luật cháy của loại vật liệu mới này đặt ra nhiều thách thức cho các nhà khoa học. Bài báo này trình bày ảnh hưởng của một số yếu tố (hàm lượng xúc tác cháy, chất oxy hóa) đến tốc độ cháy của VLMNLDT trên nền cao su phân tử khối thấp (oligomer) butadiene acrylonitrile chứa nhóm cacboxyl cuối mạch CKH-10KTP và AP.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thành phần vật liệu mang năng lượng

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

Cao su phân tử khối thấp butadiene acrylonitrile chứa nhóm cacboxyl cuối mạch CKH-10KTP. Độ nhớt động học ở 50°C $7,5 \div 11,0 \text{ Pa.s}$, hàm lượng nhóm cacboxyl $2,8 \div 3,0\%$, hàm lượng tạp chất không tan trong chloroform $\leq 0,15\%$, hàm ẩm $\leq 0,2\%$, xuất xứ châu Âu. Đây là chất cháy - chất kết dính có chứa nitơ trong thành phần, trong phân tử có CKH-10KTP phân bố không gian của các nhóm cacboxyl đồng đều. Chất kết dính dạng butadiene acrylonitrile được đặc trưng bởi độ ổn định cơ lý, độ nhạy thấp và có thời gian sử dụng lâu dài.

Chất oxy hóa AP: hàm lượng chất chính $\geq 99,5\%$, xuất xứ Viện Thuốc phóng Thuốc nổ. Để đánh giá ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy VLMNLDT, hạt AP được gia công bằng công nghệ nghiền khí động theo các chế độ khác nhau để đạt các giá trị diện tích bề mặt riêng.

Epoxy ED-20: hàm lượng nhóm epoxy $20\text{-}22,5\%$, hàm lượng ion $\text{Cl} \leq 0,5$, xuất xứ châu Âu.

Diethyl 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 $0,913-0,919$ g/cm³, xuất xứ châu Âu.

Chì II oxit (PbO): dạng ngoài, bột màu vàng, hàm lượng chất chính $\geq 99,0\%$, xuất xứ Mỹ.

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

Diethylferrocene: chất lỏng màu nâu đỏ, hàm lượng sắt 22-24%, hàm lượng ẩm không lớn hơn 0,05%, nhiệt độ bốc cháy $125-140^{\circ}\text{C}$, đóng vai trò chất xúc tác cháy trong thành phần VLMNLDT, xuất xứ Việt Nam.

Bột nhôm: bột dạng cầu, hàm lượng chất chính $\geq 99,7\%$ nhôm, diện tích bề mặt riêng $0,51$ m²/g, xuất xứ châu Âu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Đo diện tích bề mặt riêng Brunauer-Emmett-Teller (BET): Kích thước của AP được phân tích thông qua diện tích bề mặt riêng trên thiết bị Micro Active for TriStar II plus 2.03 (Mỹ), các mẫu AP được sấy khô ở 100°C trong 6 giờ trước khi tiến hành phân tích.

Các mẫu VLMNLDT được chế tạo trong thiết bị trộn chân không: nhiệt độ trộn $25\div 75^{\circ}\text{C}$, tốc độ cánh khuấy $10\div 20$ vòng/phút, tốc độ trục khuấy $5\div 10$ vòng/phút, thời gian trộn 5 giờ. Hồ nhiên liệu được ép (có hút chân không) vào khuôn tạo mẫu đo tốc độ cháy. Hóa rắn mẫu theo chu trình 70°C : 12 giờ, 80°C : 12 giờ và 90°C : 120 giờ. Tổng thời gian hóa rắn $150\div 160$ giờ (tính cả thời gian tăng, hạ nhiệt). Các mẫu nhiên liệu ($\Phi 8 \times 80$) sau khi hóa rắn được tháo khỏi khuôn phục vụ đo tốc độ cháy ở áp suất không đổi (hình 1).



Hình 1. Mẫu thử nhiên liệu sau hóa rắn phục vụ kiểm tra tốc độ cháy.

Độ xuyên kim được đánh giá trên thiết bị K19500 (Mỹ) theo quy trình kiểm tra được Viện Thuốc phóng Thuốc nổ 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. Độ đàn trái Kp là thông số

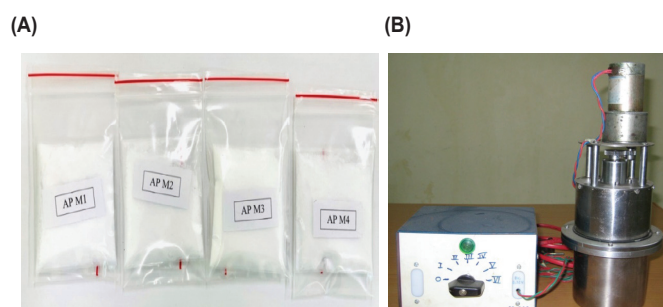
công nghệ chỉ sự thay đổi tương đối của đường kính ban đầu (30 mm) của mẫu cao 30 mm trong thời gian 30 phút, dưới tác dụng của lực trọng trường. Tốc độ cháy được xác định ở áp suất không đổi 80 at bằng thiết bị kiểm tra tốc độ cháy - bơm áp suất không đổi tại Viện Thuốc phóng Thuốc nổ (TCVN/QS 888:2019).

Để đánh giá khả năng làm việc ổn định của nhiên liệu sau khi Viện Thuốc phóng Thuốc nổ đã nghiên cứu, thiết kế (động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp có bề dày cháy 125 mm), tiến hành đốt thử nghiệm ở các nhiệt độ bảo ôn 0, 20 và 50°C .

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy của nhiên liệu

Để đánh giá ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy VLMNLDT, nhóm nghiên cứu đã tiến hành tạo mẫu trong phòng thí nghiệm, sử dụng 4 loại AP kích thước nhỏ: AP M1, AP M2, AP M3 và AP M4 (hình 2). Thành phần aerosil (0,06% theo khối lượng AP) được đưa vào trong thành phần AP nhằm hạn chế sự dính các hạt AP với nhau. Aerosil trong một số trường hợp mang hiệu ứng chất xúc tác cháy và làm giảm sản phẩm pha rắn trong quá trình cháy trong động cơ của vật liệu này [9, 10].



Hình 2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm. (A) Mẫu AP mức siêu mịn để kiểm tra diện tích bề mặt riêng; (B) Thiết bị trộn mẫu chân không mini.

Thành phần và tính chất của các mẫu AP này được mô tả ở bảng 1.

Bảng 1. Thành phần và tính chất của mẫu AP mức siêu mịn.

Thứ tự	Thông số	Mẫu AP M1	Mẫu AP M2	Mẫu AP M3	Mẫu AP M4
1	Diện tích bề mặt riêng (m ² /g)	0,72	2,61	3,85	5,70
2	Kích thước hạt trung bình (μm)	9-10	5,3	4,2	3,5

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 đảm bảo yếu tố công nghệ rất cao [1, 2, 9-11, 12]. Độ đàn trái không nhỏ hơn 0,3 và độ xuyên kim không nhỏ hơn 280 đơn vị. Kết quả kiểm tra tốc độ cháy (hàm lượng xúc tác cháy là 3,6%) được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của kích thước AP đến tính chất công nghệ và tốc độ cháy VLMNLDT (*).

Thứ tự	Tên chỉ tiêu	Mẫu thí nghiệm					
		Mẫu AP M1	Mẫu AP M2	Mẫu AP M3	Mẫu AP M4		
1	Tỷ lệ trộn AP mức siêu mịn/AP mức mịn (% theo khối lượng)	36/64	36/64	32/68	36/64	36/64	30/70
2	Độ đàn trái (Kp)	0,8	0,7	0,6	0,5	0,2	0,3
3	Độ xuyên kim (đơn vị)	340	320	315	300	268	275
4	Tốc độ cháy ở áp suất 80 tại U_{80} (mm/s)	23,2	36,5	38,0	38,0	41,0	40,0

(*): thành phần mức VLMNLDT: AP 66%, nhôm 18%, xúc tác cháy 3,6%, cao su và các phụ gia khác 12,4%.

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu lựa chọn tỷ lệ khối lượng AP hạt siêu mịn/hạt to lần lượt là 30/70, 32/68 và 36/64. Đây là những tỷ lệ nằm trong dải AP hạt nhỏ/lớn 30/70÷40/60 nhằm đạt được tính chất lưu biến và mật độ tốt nhất [13].

Kết quả thử nghiệm các mức AP cho thấy, theo chiều giảm của kích thước hạt AP, tốc độ cháy của VLMNLDT tăng lên. Sử dụng AP M1 (kích thước tương đương mức PA7), đảm bảo tốt yếu tố công nghệ để chế tạo nhiên liệu (độ đàn trái $K_p=0,8$, độ xuyên kim 340 đơn vị), tuy nhiên giá trị tốc độ cháy thấp hơn theo yêu cầu $U_{80}=23,2$ mm/s. Việc giảm kích thước AP cho kết quả rõ rệt (mẫu AP M2), đáp ứng được yêu cầu đặt ra trong việc nghiên cứu mẫu VLMNLDT có tốc độ cháy cao 36,5-38,0 mm/s. Điều này có thể được giải thích rằng, khi giảm kích thước, tốc độ phân hủy của các hạt AP siêu mịn tăng lên, ngoài ra có thể hạn chế hình thành liên kết Al-N giữa phản ứng của Al+AP và Al+CKH-10KTP trong VLMNLDT [11].

Việc tiếp tục giảm kích thước hạt AP không thay đổi nhiều đến tốc độ cháy của VLMNLDT (38÷41 mm/s). Điều này có thể do khi trộn mẫu ở quy mô phòng thí nghiệm các hạt AP siêu mịn có xu hướng kết dính lại. Mặt khác, đối với mẫu AP có diện tích bề mặt riêng lớn (mẫu AP M4), yếu tố công nghệ ($K_p=0,2÷0,3$, độ xuyên kim 268÷275 đơn vị) không đáp ứng để chế tạo mẫu nhiên liệu theo công nghệ đúc rót tự do. Theo P.D. Nhan (2010) [4], AP có kích thước càng nhỏ càng có độ nhạy va đập cao, là nguy cơ mất an toàn trong quá trình gia công hạt. Do đó, giá trị diện tích bề mặt riêng tối ưu của mức AP siêu mịn được nhóm nghiên cứu lựa chọn là $2,61÷3,85$ m²/g (kích thước hạt trung bình $4,2÷5,3$ μ m). Giá trị này được sử dụng cho nghiên cứu tiếp theo về ảnh hưởng của xúc tác cháy đến tốc độ cháy của VLMNLDT.

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của dẫn xuất ferrocene đến tốc độ cháy VLMNLDT

Sử dụng xúc tác cháy là phương án hiệu quả để thay đổi tốc độ của VLMNLDT. Trong một nghiên cứu về ảnh hưởng của diethylferrocene đối với nhiên liệu rắn hỗn hợp có tỷ lệ AP thấp (30÷35%), diethyl ferrocene (trong vai trò là một hợp chất hữu cơ chứa sắt) là một trong những phương án hiệu quả nhất để tăng tốc độ cháy của VLMNLDT trên nền AP [11]. Ngoài ra, diethylferrocene là chất lỏng dễ dàng hòa tan trong nhiều cao su tổng hợp nên ngoài xúc tác cháy hiệu quả, nó còn đóng vai trò chất

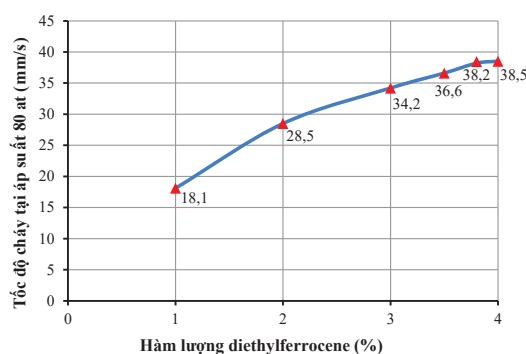
hóa dẻo, phụ gia công nghệ trong chế tạo VLMNLDT theo phương pháp đúc rót tự do. Sử dụng hỗn hợp dẫn xuất ferrocene 10% có thể tăng tốc độ cháy lên đến 55 mm/s ở áp suất 100 at [11].

Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi nghiên cứu mức VLMNLDT có tỷ lệ AP cao (66%), tốc độ cháy 35÷40 mm/s và chế tạo bằng công nghệ đúc rót tự do. Tỷ lệ thành phần dẫn xuất ferrocene được lựa chọn để nghiên cứu là 1,0÷4,0%.

Kết quả thử nghiệm kiểm tra mẫu thí nghiệm và thông số cháy ở áp suất 80 at được trình bày ở bảng 3 và hình 3. Kết quả cho thấy, khi cho thành phần diethylferrocene vào, độ xuyên kim và đàn trái tăng lên, điều này giải thích vai trò hóa dẻo của nó đối với vật liệu trên nền cao su CKH-10KTP. Hai thông số công nghệ này tăng khi tăng hàm lượng diethylferrocene tăng, các giá trị này đảm bảo yêu cầu theo phương pháp đúc rót tự do khi hàm lượng đạt giá trị >2% (bảng 3).

Bảng 3. Ảnh hưởng của diethylferrocene đến tính chất công nghệ VLMNLDT.

Thứ tự	Tên chỉ tiêu	Thành phần diethylferrocene (%)					
		1,0	2,0	3,0	3,5	3,8	4,0
1	Độ đàn trái (Kp)	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7
2	Độ xuyên kim (đơn vị)	250	265	290	300	315	330

**Hình 3. Ảnh hưởng của diethylferrocene đến tốc độ cháy VLMNLDT.**

Nghiên cứu ảnh hưởng của diethylferrocene đến tính chất cháy của VLMNLDT (hình 3) cho thấy, diethylferrocene với vai trò là chất xúc tác cháy làm tăng tốc độ cháy của nhiên liệu 18,1÷40,1 mm/s khi tăng hàm lượng xúc tác cháy 1,0÷4,0%. Đặc biệt khi tăng hàm lượng 1,0÷3,0%, tốc độ cháy tăng đến 89%. Việc tăng xúc tác 3,0÷4,0%, tốc độ cháy tăng chậm 12,6%. Điều này có thể được giải thích do khi tăng tỷ lệ diethylferrocene nhiệt lượng sinh ra giảm, từ đó làm giảm hiệu ứng xúc tác. Điều này phù hợp với kết quả của một số nghiên cứu trước đây [3, 4, 11, 12, 14].

3.3. Thử nghiệm đốt trên động cơ

Mức VLMNLDT nghiên cứu thành công trong phòng thí nghiệm được triển khai bằng công nghệ đúc rót tự do vào động cơ trên hệ thiết bị trộn đúc quy mô pilot của Viện Thuốc phóng Thuốc nổ. Kết quả thử nghiệm đốt cho thấy, động cơ hoạt động

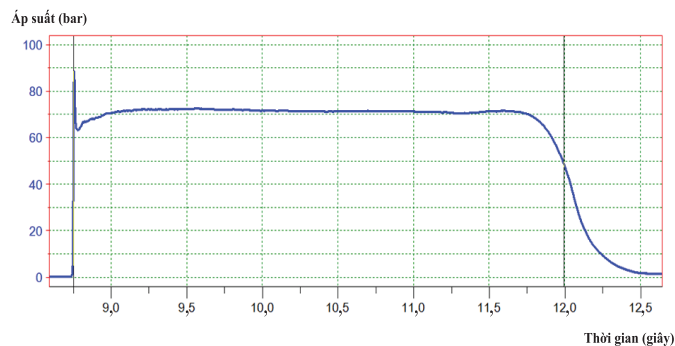
ổn định theo tính toán, đạt yêu cầu các chỉ tiêu về áp suất, lực đẩy, thời gian làm việc của động cơ theo thiết kế (hình 4). Đây là cơ sở quan trọng để nhóm nghiên cứu thực hiện các nghiên cứu sâu hơn.



(A) Hình ảnh tổng lắp động cơ.



(B) Hình ảnh đốt thử nghiệm động cơ mẫu.



(C) Kết quả đốt thử nghiệm động cơ mẫu.

Hình 4. Tổng lắp và đốt thử nghiệm động cơ mẫu.

4. Kết luận

Trên cơ sở khoa học và thực nghiệm, nhóm tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tốc độ cháy cao của VLMNLDT, từ đó xây dựng cơ sở xác lập thành công thành phần ứng dụng trong vật thể bay. Đây là lần đầu tiên nghiên cứu về quy luật ảnh hưởng của diện tích bề mặt riêng AP (0,72-5,70 m²/g) và thành phần diethylferrocene (1,0-4,0% theo khối lượng) với vai trò là chất xúc tác cháy đến quy luật tốc độ cháy của VLMNLDT trên nền cao su CKH-10KTP được tiến hành. Đặc biệt, sử dụng công

nghệ trong nước để chế tạo thành công mác VLMNLDT đạt tốc độ cháy trên 35 mm/s. Kết quả nghiên cứu là căn cứ để xác lập tỷ lệ xúc tác cháy tối ưu trong việc lựa chọn thành phần VLMNLDT có tốc độ cháy ổn định và yếu tố công nghệ đáp ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V.K. Marin, N.M. Boklasov, B.G. Romanenko, et al. (2005), *Production and Exploitation of Propellants And Explosives*, Penza Artillery University, 350pp (in Russian).
- [2] Mendelev Russian University of Chemistry and Technology (2001), *Solid Rocket Fuel and Propellant Chemistry and Technology Foundation*, Moscow, 316pp (in Russian).
- [3] N.D. Long (2022), *Textbook on Combustion Processes of Solid Fuels in Rocket Engines*, People's Army Publishing House, 200pp (in Vietnamese).
- [4] P.D. Nhan (2010), *Mixed Solid Rocket Fuel Technology Facility*, People's Army Publishing House, 198pp (in Vietnamese).
- [5] B.P. Jukov (2000), *Energy Condensation System*, Concise Encyclopedia, Janus-K, Moscow, 596pp (in Russian).
- [6] A.Z. Chulkov, I.D. Skvortsov, M.S. Shur (1974), *Fuel Combustion Process in Solid Fuel Rocket Engines. Scientific and Technical Results*, Rocket and Aircraft Engines Series, Viniti An SSSR, Moscow, 1, 218pp (in Russian).
- [7] N.N. Bakhman, A.F. Belyaev (1967), *Combustion Process of Heterogeneous Condensation System*, Science Publishing House, Moscow, 226pp (in Russian).
- [8] A.P. Glazkova (1976), *Catalyzes The Combustion of Explosive Materials*, Science Publishing House, Moscow, 253pp (in Russian).
- [9] V.A. Arkhipov, T.I. Gorbenko, A.S. Zhukov (2011), "Effect of catalyst on the combustion process of heterogeneous condensation system", *Butlerov Lecture Magazine*, **28**(17), pp.34-41 (in Russian).
- [10] P.F. Pokhil, A.F. Belyaev, Y.V. Frolov (1972), *Burning Process of Metal Powder in Operating Environment*, Science Publishing House, Moscow, 294pp (in Russian).
- [11] A.N. Chernui, S.A. Sokolov, V.P. Sinditsky (2011), "Burning rules for fuel components with low oxidant content and high ferrocene content", *Journal of Achievements in Chemistry and Chemical Technology*, **25**(28), pp.104-110 (in Russian).
- [12] N.D. Tuan (2021), *Research on The Rules and Combustion Mechanisms of Energy-Carrying Systems Based on Nitrates of Different Metals*, Doctoral thesis, Mendelev Russian Federal University of Chemical Technology, Moscow, 152pp (in Russian).
- [13] I.A. Lavugina (2003), *Practical Basis of Rheology and Rheological Theory*, KolosS, Moscow, 312pp (in Russian).
- [14] A.P. Denhisyk, Z.N. Aung, Y.G. Shepelev (2021), "Energetic materials combustion catalysis: Necessary conditions for implementation", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, **46**(1), pp.90-98, DOI: 10.1002/prep.202000170.