

Nghiên cứu chế tạo vỏ chống cháy ở điều kiện nhiệt độ thấp cho thỏi nhiên liệu ballistit dùng cho động cơ hành trình

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

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 9/11/2022; ngày chuyển phản biện 11/11/2022; ngày nhận phản biện 7/12/2022; ngày chấp nhận đăng 9/12/2022

Tóm tắt:

Báo cáo trình bày kết quả chế tạo vỏ chống cháy cho thỏi thuốc phóng 2 gốc chứa 3,5% dinitrotoluen trong thành phần. Hệ đóng rắn sử dụng trên nền polymethylmetacrylat và polyester không no. Xác định chế độ công nghệ tối ưu: nhiệt độ đóng rắn 45-50°C, thời gian hóa rắn 12-16 giờ, hàm lượng dietylanilin 0,5-1,0%. Vật liệu sau đóng rắn có đặc trưng cơ tính cao (độ bền kéo đến 16,2 MPa, độ bền bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu đến 3,8 MPa). Kết quả thử nghiệm tĩnh và đốt trên giá tại Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng đạt yêu cầu. Kết quả nghiên cứu là bước tiến quan trọng trong việc kết hợp lý luận khoa học và thực tiễn vào việc chế tạo vỏ chống cháy cho thỏi nhiên liệu ballistit ở nhiệt độ thấp, bổ sung vào các công nghệ đang có tại Việt Nam, đáp ứng yêu cầu phát triển công nghiệp tên lửa trong thời gian tới.

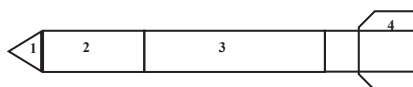
Từ khóa: mục tiêu bay, thỏi nhiên liệu ballistit, vỏ chống cháy.

Chỉ số phân loại: 2.3

1. Mở đầu

Hiện nay, trong trang bị quân đội nhiều nước trên thế giới như Nga, Mỹ, Trung Quốc... đang được biên chế một số tên lửa đạn đạo có thể gây nguy hiểm trong chiến lược phòng thủ của nhiều quốc gia. Do đó, việc huấn luyện cho bộ đội phòng không sẵn sàng ứng phó với những nguy cơ này là nội dung hết sức quan trọng. Một trong những phương án quan trọng nhằm huấn luyện cho bộ đội là tạo ra điều kiện sát với thực tế chiến đấu, sử dụng hệ mục tiêu đặc biệt - mục tiêu bay (MTB) [1].

Trên thế giới, các MTB được nhiều quốc gia có nền công nghiệp tên lửa phát triển (Nga, Mỹ, Trung Quốc...) nghiên cứu, chế tạo. Các MTB chủ yếu để mô phỏng chuyển động của mục tiêu trên không, phục vụ huấn luyện, diễn tập, bắn thử nghiệm tên lửa, làm cơ sở đánh giá hiệu quả chiến đấu của hệ thống vũ khí và tên lửa phòng không, tên lửa hàng không có điều khiển “không đối không”, cũng như huấn luyện chiến đấu của phi công. Để đạt được mục tiêu này đòi hỏi mô phỏng các đặc trưng về độ cao, tốc độ, đường chuyển động của các cuộc tấn công trên không. Mô hình



Hình 1. Mô hình MTB. 1: chóp gió; 2: khoang thiết bị; 3: động cơ hành trình nhiên liệu rắn; 4: cụm cánh lái.

chung của MTB gồm 4 phần chính: chóp gió, khoang thiết bị, động cơ hành trình nhiên liệu rắn và cụm cánh lái (hình 1) [1].

Động cơ hành trình (3) thường sử dụng thỏi nhiên liệu rắn ballistit được bọc lớp vỏ chống cháy nhằm đảm bảo MTB bay với vận tốc theo thiết kế trong thời gian dài (>25 giây). Các thông số của thỏi nhiên liệu được xác định bởi bản chất của nhiên liệu và các yêu cầu đối với mỗi loại động cơ: thời gian hoạt động, áp suất trong động cơ, lực đẩy thiết kế [2].

Để đảm bảo các yêu cầu này, việc nghiên cứu, chế tạo lớp phủ chống cháy cho thỏi nhiên liệu ballistit là vấn đề hết sức quan trọng. Lớp phủ này kết hợp với hình dạng liềm phóng sẽ đảm bảo một quy luật sinh khí theo yêu cầu trong suốt quá trình làm việc của động cơ nhiên liệu rắn. Thông thường người ta sử dụng các loại vật liệu composite trên nền polime đặc chủng [2, 3].

Trên thế giới, việc nghiên cứu cơ chế hoạt động của vật liệu chống cháy nói chung, vật liệu chống cháy dùng cho nhiên liệu tên lửa nói riêng đã được thực hiện từ lâu. Tuy nhiên, do yếu tố bí mật việc công bố cụ thể thành phần, công nghệ chế tạo vỏ chống cháy còn rất hạn chế.

Ở Việt Nam, Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng và Viện Hóa học Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự đã nghiên cứu, chế tạo thành công một số loại vật liệu chống cháy dùng cho nhiên liệu rắn hỗn hợp và ballistit [3, 4]. Tuy nhiên, đối với lớp phủ chống cháy nhiên liệu tên lửa ballistit dùng cho động cơ hành trình (có thời gian hoạt động >25 giây), sử dụng công nghệ trong nước chưa được nghiên cứu và công bố rộng rãi.

Thông thường, để phủ chống cháy cho thỏi nhiên liệu ballistit sử dụng phương pháp rót hỗn hợp chất chống cháy, hóa rắn ở nhiệt độ cao (70-90°C). Thực hiện công đoạn này

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

Research and development of a fireproof coating under low-temperature conditions for ballistite fuel for a main rocket engine

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

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

Received 9 November 2022; revised 7 December 2022; accepted 9 December 2022

Abstract:

This paper presents the results of manufacturing an inhibitor layer for double-base propellant grain, with 3.5% dinitrotoluene. Curing system based on polybutylmetaacrylate and unsaturated polyester. Optimal technology parameters: curing temperature 45-50°C, curing time is 12-16 hours, diethylaniline content 0.5-1%. The post-curing material has high mechanical properties (tensile strength up to 16.2 MPa, fuel adhesion strength - flame retardant shell up to 3.8 MPa). Static and burning testing results at the Institute of Propellants and Explosives, General Department of Defence Industry meet the requirements. The research results are an important step forward in combining scientific theory and practice in manufacturing fireproof shells for ballistite fuel ingots at low temperature, supplementing existing technologies in Vietnam, and meeting the requirements of rocket industry development in the coming time.

Keywords: ballistite fuel, fireproof coating, flying targets.

Classification number: 2.3

ở thời gian dài dễ dẫn đến sự thoát nitroglycerin ra ngoài, gây thay đổi tính chất, độ an định hóa học, độ đồng nhất của thời nhiên liệu; khiến biến dạng thời nhiên liệu trong và sau khi phủ chống cháy, đồng thời có thể gây mất an toàn trong quá trình thực hiện công đoạn phủ chống cháy. Đặc biệt, với các thời nhiên liệu mà trong thành phần có chứa lượng lớn chất hóa dẻo phụ (dinitrotoluen và dibutylphtalat) thì việc nghiên cứu phương pháp phủ chống cháy cho thời nhiên liệu ballistit ở nhiệt độ thấp (<50°C) càng đóng vai trò cấp thiết.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Thời nhiên liệu tên lửa ballistit: Loại nhiên liệu là ballistit, nhiệt lượng cháy 1020 Cal/g, thể tích khí 880 ml/g, mật độ 1,67 g/cm³, hàm lượng dinitrotoluen 3,5%. Thời nhiên liệu này được phủ lớp chống cháy dày 2±0,5 mm, được lắp vào động cơ hành

trình MTB một loa phụt, buồng đốt dạng hình trụ (đường kính trong 63,1^{+0,2} mm, chiều dài 550^{+1,0} mm).

Vật liệu phủ chống cháy:

- Hóa chất butylmethacrylat (BMA): Chất lỏng trong suốt, không màu, hàm lượng chất chính 99,3%, chỉ số axit 0,2 mg KOH/g, xuất xứ Hàn Quốc.

- Polybutylmethacrylat (PBMA): Dạng hạt cầu, trong suốt, hàm lượng nước 0,4%, chỉ số axit 0,55 mg KOH/g, độ nhớt tương đối của dung dịch 1% polyme trong toluen 1,72%, hàm lượng monomer trong polyme 0,3%, xuất xứ Viện Thuốc phóng Thuốc nổ.

- Polyester không no: Mác PIH-609-21M, chất lỏng trong suốt, màu nâu nhạt, khối lượng riêng ở 23°C là 1,175 g/ml, độ nhớt trên thiết bị VZ246 28 giây, thời gian gel hóa 120 giây, xuất xứ Viện Thuốc phóng Thuốc nổ.

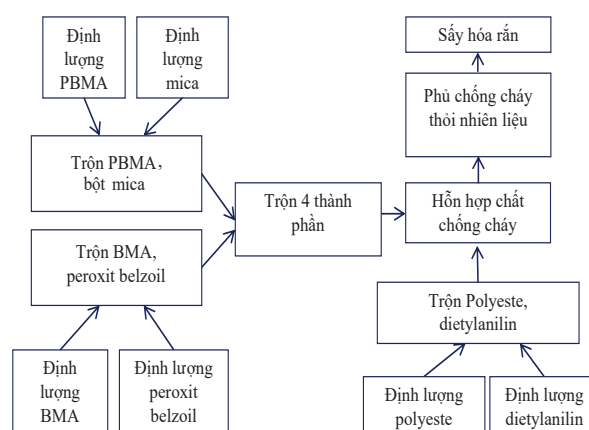
- Bột mica: Bột mịn, màu xám, cỡ hạt trung bình 25 µm, độ pH nước chiết 6-8, xuất xứ Mỹ.

- Peroxit belzoil: Dạng bột màu trắng, hàm lượng chất chính 98,9%, hàm lượng nước 0,3%, hàm lượng Clo 0,21%, xuất xứ Nga.

- N,N-diethylanilin (DEA): Chất lỏng trong suốt, màu vàng nhạt, hàm lượng chất chính 99,5%, hàm lượng nước 0,2%, khối lượng riêng ở 20°C là 0,939 g/ml, xuất xứ Nga.

Trang thiết bị, dụng cụ chế tạo vật liệu chống cháy:

Máy trộn chân không: Thể tích buồng trộn 3 l, nhiệt độ gia nhiệt 20-90°C, độ chân không không lớn hơn 5 mm Hg, tốc độ trục khuấy 5-60 vòng/phút, tốc độ cánh khuấy 15-300 vòng/phút. Thiết bị gia nhiệt hóa rắn chuyên dụng: nhiệt độ gia nhiệt 40-90°C, độ lệch nhiệt độ tại các vị trí ±2°C. Sơ đồ quy trình chế tạo hỗn hợp phủ chống cháy được mô tả ở hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình chế tạo vữa chống cháy cho nhiên liệu ballistit.

Hỗn hợp polyme - chất độn thu được bằng phương pháp trộn PBMA và bột mica theo tỷ lệ 1:1, thời gian 10-40 phút ở nhiệt độ 80-90°C để thu được hỗn hợp đồng nhất, sau đó

làm nguội đến 20°C. Sử dụng máy khuấy chân không hòa tan hoàn toàn peroxit bằng BMA trước khi trộn cùng với hỗn hợp polyme - chất độn trong thời gian 100-120 phút. Sau khi thu được hỗn hợp đồng nhất, cho polyeste không no PIH-609-21M và chất xúc tiến hóa rắn vào tiếp tục trộn, độ chân không $p \leq 10$ mm Hg, trong thời gian 10-20 phút. Hỗn hợp tạo thành được sử dụng để phủ chống cháy cho thời nhiên liệu ballistit bằng phương pháp rót. Nhiệt độ hóa rắn lựa chọn là 45-50°C, thời gian hóa rắn 10-20 giờ. Công đoạn hóa rắn được thực hiện trên thiết bị gia nhiệt do Viện Thuốc phóng Thuốc nổ chế tạo.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lựa chọn thành phần hỗn hợp chống cháy.
- Độ phân tán đồng đều chất độn chống cháy bằng kính hiển vi điện tử.
- Nghiên cứu tối ưu hóa thời gian hóa rắn hỗn hợp chống cháy bằng cách đánh giá độ bền vỏ chống cháy và dính nhiên liệu - vỏ chống cháy.
- Kiểm tra sự bong tách nhiên liệu - vỏ chống cháy bằng thiết bị chụp X-quang New oriental 1000 CA.
- Độ bền cơ lý vỏ chống cháy, độ bám dính của nhiên liệu - vỏ chống cháy được xác định trên thiết bị kéo vạn năng ở nhiệt độ bảo ôn 20°C, theo tiêu chuẩn TCVN 7121:2014.
- Hiệu quả chống cháy được đánh giá bằng phương pháp đốt thử nghiệm động cơ trên giá tại trường thử Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng. Các thử nhiên liệu trước khi thử nghiệm được bảo ôn ở các nhiệt độ xác định trong khoảng -10-50°C trong thời gian không nhỏ hơn 18 giờ.

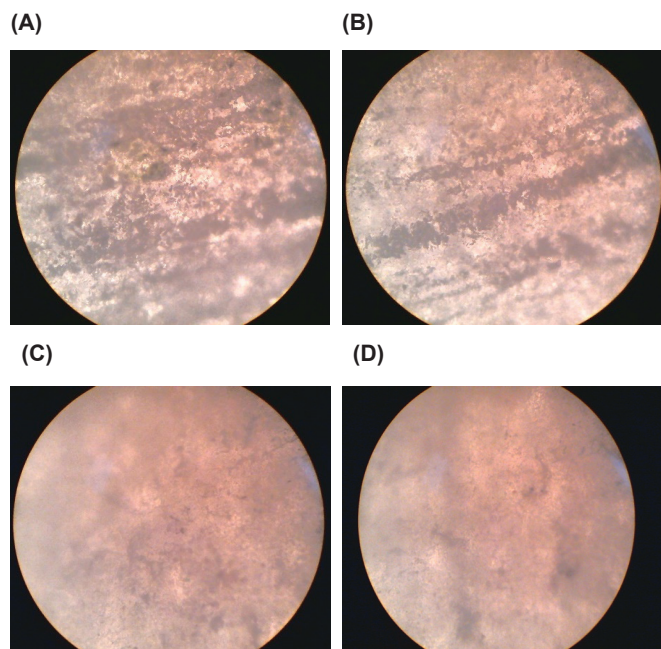
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian trộn đến tính chất của vật liệu

Tính chất cơ - lý của vật liệu phụ thuộc nhiều vào độ phân tán của các thành phần trong nó. Mặt khác, hiệu ứng chịu nhiệt - xói mòn của vỏ chống cháy dùng cho nhiên liệu ballistit sử dụng chất độn mica được bảo đảm khi chất độn này phân tán đều trên toàn bộ thể tích vật liệu, cách nhiệt khỏi tác động của dòng khí nóng đến lớp nhiên liệu. Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian trộn đến tính chất vật liệu, các mẫu vật liệu chống cháy được chế tạo trên nền polyme - chất độn trong thời gian 10 (mẫu 1), 20 (mẫu 2), 30 (mẫu 3) và 40 phút (mẫu 4).

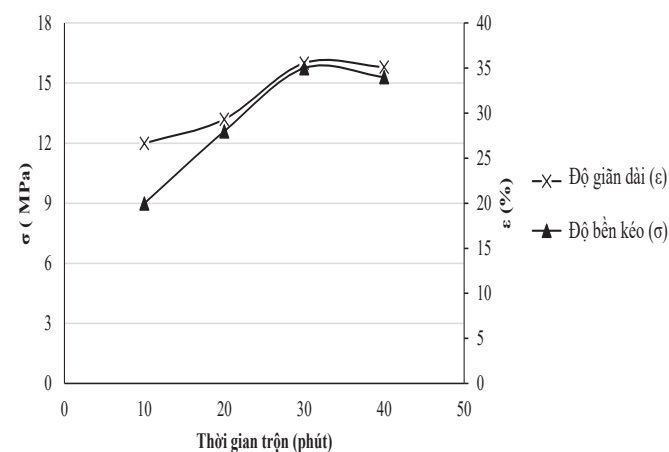
Trên cơ sở kết quả quan sát vật liệu chống cháy sau hóa rắn trên kính hiển vi điện tử thu được cho thấy, thời gian trộn PBMA và bột mica ảnh hưởng nhiều đến chất lượng vật liệu. Thời gian trộn polyme - chất độn để đảm bảo độ đồng nhất không dưới 30 phút (mẫu 3, 4, hình 3C và 3D). Hiện tượng phân tán không đều trong vật liệu xảy ra trong

trường hợp thời gian trộn vào khoảng 10-20 phút có thể được giải thích bởi liên kết cơ - hóa của polyme - chất độn kém dẫn đến sự sa lắng của polyme - chất độn trong thành phần vỏ chống cháy trong quá trình hóa rắn (mẫu 1, 2, hình 3A và 3B).



Hình 3. Ảnh quan sát vật liệu chống cháy trên kính hiển vi điện tử. Thời gian trộn polymer - chất độn là 10 (A), 20 (B), 30 (C) và 40 (D) phút.

Kết quả kiểm tra độ bền cơ lý các mẫu vật liệu cho thấy, mẫu vật liệu sử dụng PBMA và bột mica thời gian 30 phút cho kết quả tốt nhất. Việc tăng thời gian trộn lên 40 phút làm giảm độ bền kéo và độ giãn dài của vật liệu (hình 4). Nguyên nhân có thể do dưới tác động cơ học ở nhiệt độ cao (80-90°C) khi trộn trong thời gian dài gây ra hiện tượng suy thoái polyme.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian trộn PBMA và bột mica đến tính chất cơ lý của vỏ chống cháy.

3.2. Nghiên cứu công nghệ hóa rắn

Trên cơ sở phân tích các nhược điểm của phương pháp hóa rắn thông thường ở nhiệt độ cao (đã được nghiên cứu, sử dụng để phủ chống cháy cho các thổi nhiên liệu sinh khí có kích thước nhỏ trong bình tích áp) có thể thấy, phương pháp này không hiệu quả đối với những thổi nhiên liệu có khối lượng, kích thước lớn (do bị biến dạng trong quá trình hóa rắn) và chứa hàm lượng dinitrotoluen lớn. Chất hóa dẻo phụ dinitrotoluen có thể là nguyên nhân gây ra hiện tượng bong hoặc không hóa rắn một phần bề mặt tiếp xúc vỏ chống cháy - nhiên liệu [5]. Việc nghiên cứu ra phương pháp phủ chống cháy ở nhiệt độ thấp giúp giải quyết những tồn tại của việc phủ bằng phương pháp trên.

Nhiệt độ hóa rắn lựa chọn là 45-50°C (thấp hơn nhiệt độ nóng chảy của dinitrotoluen 54-71°C) nhằm giảm nhiệt độ hóa rắn hỗn hợp cần đưa vào trong hỗn hợp DEA - thành phần thường được sử dụng trong việc chế tạo các polieste chất có vai trò xúc tiến [6, 7].

Để nghiên cứu ảnh hưởng của DEA đến thời gian đóng rắn ở nhiệt độ lựa chọn và tính chất cơ lý của vật liệu, chúng tôi sử dụng hỗn hợp polyme - chất độn được tối ưu hóa ở trên, chế tạo 4 mẫu vật liệu sử dụng hàm lượng DEA 0-3%. Kết quả đánh giá cho thấy, vai trò xúc tiến đóng rắn của DEA thể hiện trong hỗn hợp chống cháy. Ở nhiệt độ 50°C, hiện tượng hóa rắn không hoàn toàn xảy ra ở mẫu M1 (độ bền kéo đứt thấp - 8,6 MPa, độ giãn dài lớn - 50%) (bảng 1). Khi sử dụng DEA hàm lượng cao (3%) độ bền kéo mẫu M4 không tăng, thời gian hóa rắn giảm, tuy nhiên thời gian sống của vật liệu thấp (0,5 giờ), độ nhớt của vật liệu tăng nhanh theo thời gian, không đảm bảo yếu tố công nghệ để phủ chống cháy bằng phương pháp đúc rót. Mẫu M2 và M3 có hàm lượng DEA 0,5-1%, đảm bảo tốt về yếu tố công nghệ chế tạo vật liệu phủ chống cháy.

Bảng 1. Ảnh hưởng của DEA đến tính chất vật liệu chống cháy.

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng DEA (%)	Thời gian hóa rắn (giờ)	Độ bền kéo đứt (Mpa)	Độ giãn dài đến đứt (%)	Thời gian sống ở nhiệt độ 25°C (giờ)
M1	0	-	8,6	50	5
M2	0,5	16	16,2	35	2,5
M3	1	12	15,8	33	1,5
M4	2	6	13,8	20	0,5

3.3. Nghiên cứu khả năng bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu

Độ bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu là một yếu tố quan trọng trong việc đảm bảo hoạt động hiệu quả của thổi nhiên liệu rắn. Chúng tôi sử dụng thành phần M2 và M3 để đánh giá khả năng bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu.

Kết quả chụp X-quang cho thấy, thành phần bọc chống cháy tương đối đồng nhất, bám đều lên toàn bộ bề mặt nhiên liệu được phủ (hình 5). Điều này có thể được giải thích do thành phần hỗn hợp chống cháy hòa tan một phần nhiên liệu bên ngoài bề mặt, sau đó đóng rắn lên bề mặt nhiên liệu. Thành phần dinitrotoluen trong nhiên liệu chưa bị thoát khỏi bề mặt nên chất lượng đóng rắn của vỏ chống cháy đảm bảo.



Hình 5. Kết quả chụp X-quang thổi nhiên liệu sau khi phủ chống cháy.

Kết quả đo độ bền bám dính ở bảng 2 cho thấy vỏ chống cháy bám tốt trên bề mặt nhiên liệu.

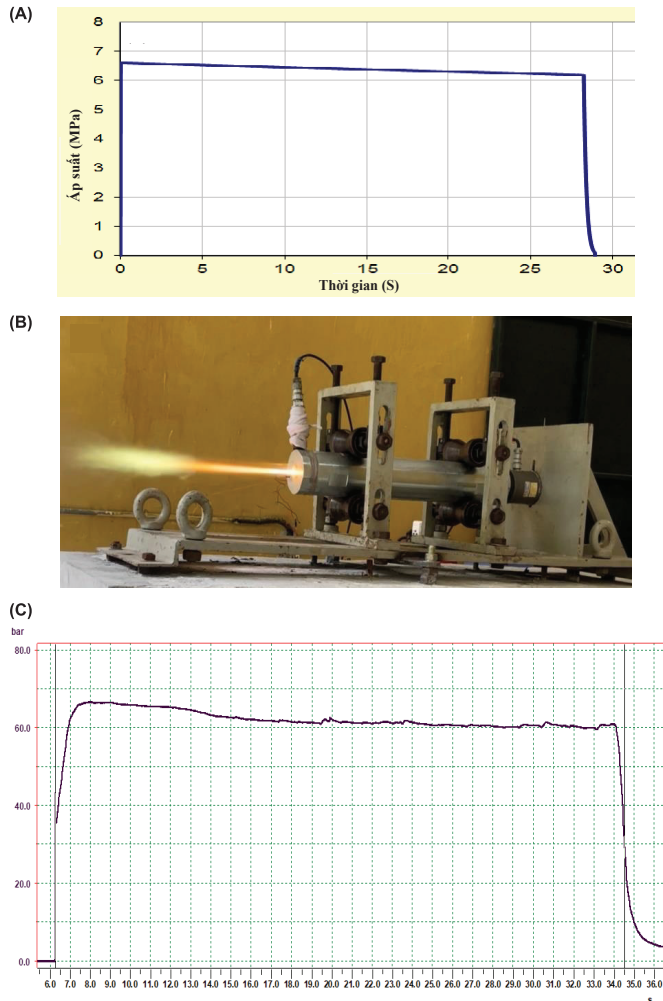
Bảng 2. Kết quả đánh giá độ bền bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu.

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng DEA (%)	Thời gian hóa rắn (giờ)	Độ bền bám dính vỏ chống cháy - nhiên liệu (Mpa)
M2	0,5	16	3,2
M3	1	12	3,8

3.4. Thử nghiệm đốt trên giá thổi nhiên liệu

Tại trường thử, Viện Thuốc phóng Thuốc nổ đã thử nghiệm đánh giá vỏ chống cháy thổi nhiên liệu với thành phần và công nghệ được tối ưu hóa theo các mục nghiên cứu nêu trên. Vỏ chống cháy đảm bảo cho thổi nhiên liệu hành trình hoạt động trong thời gian dài và duy trì quy luật cháy của thổi nhiên liệu, đáp ứng yêu cầu thiết kế của động

cơ hành trình MTB (hình 6). Thỏi nhiên liệu đã được thử nghiệm đảm bảo hoạt động ổn định ở dải nhiệt độ $-10-50^{\circ}\text{C}$. Đây là cơ sở quan trọng để phủ chống cháy cho các thỏi nhiên liệu dùng cho MTB và các thỏi nhiên liệu hành trình ballistit khác.



Hình 6. Kết quả đốt thử nghiệm trên giá đánh giá chất lượng vỏ chống cháy. (A) Đồ thị áp suất/thời gian tính toán; (B) Ảnh chụp hoạt động của động cơ; (C) Đồ thị áp suất/thời gian thử nghiệm thực tế.

4. Kết luận

Trên cơ sở kết hợp lý thuyết và thực nghiệm, Viện Thuốc phóng Thuốc nổ đã tối ưu hóa thành phần, công nghệ chế tạo vỏ chống cháy ở nhiệt độ thấp ($45-50^{\circ}\text{C}$) trên nền PBMA sử dụng cho thỏi nhiên liệu dùng cho MTB. Kết quả kiểm tra và đánh giá tính cho thấy, vật liệu có cơ tính cao (độ bền kéo đến 16,2 MPa, độ bền bám dính nhiên liệu - vỏ chống cháy đến 3,8 MPa) và thử nghiệm đốt trên giá thỏi nhiên liệu ballistit cho kết quả đạt yêu cầu. Kết quả là bước tiến quan trọng trong việc kết hợp lý luận khoa học và thực tiễn trong việc chế tạo vỏ chống cháy cho thỏi nhiên liệu ballistit, bổ sung vào các công nghệ đang có tại Việt Nam, đáp ứng yêu cầu phát triển công nghiệp tên lửa trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.Y. Semashko (2016), "Target missiles are an important component in ensuring the defense capabilities of the Russian Federation", *Proceedings of The 68th Scientific Conference, South Ural State University* (in Russian).
- [2] Institute of Military Science and Technology, Ministry of National Defense (2021), *Textbook of Combustion Processes of Solid Fuel in Rocket Engines*, People's Army Publishing House, 198 pages (in Vietnamese).
- [3] N.D. Long, T.H. Thanh, N.V. Hung, et al. (2020), "Research and development of fireproof coating for projectile gas generators to increase the range of the M46 130 mm artillery system", *Russian Journal of Military Science and Technology Research*, **67**(6), pp.106-113 (in Russian).
- [4] T.S. Hai (2005), *Research on Manufacturing Fireproof Materials for Rockets Using Solid Fuel*, Doctoral Thesis in Chemistry, Center for Military Science, Engineering and Technology, Ministry of National Defense (in Vietnamese).
- [5] F.S. Krasilnikov (2005), *Patent RU 2261239 Armor Element C2 for Ballistic Solid Fuel Charges* (in Russian).
- [6] A.V. Erastov (2007), *House Frame Composite Materials Based on Polyester Resin PN-19*, Summary of Doctoral Thesis in Science and Technology, 24 pp (in Russian).
- [7] E.V. Deryaeva (2015), *Composite Construction Materials Based on Vinylester Resin RP-14S*, Summary of Doctoral Thesis in Science and Technology, 234 pp (in Russian).