

KHẢO SÁT MỘT SỐ CHẤT HÓA ĐÈO CHO NHIÊN LIỆU RẮN HỖN HỢP TRÊN NỀN POLYVINYL CLORUA

Phan Đức Nhân¹, Trần Quang Tuấn², Đoàn Minh Khai^{1,*}, Nguyễn Duy Tuấn¹

¹Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn;

²Tổng cục Kỹ thuật

DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v18.n01.586

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả khảo sát một số chất hóa dẻo cho nhiên liệu rắn hỗn hợp. Nhiên liệu rắn hỗn hợp được chế tạo từ PVC hóa dẻo bởi DOP, DOA và hỗn hợp DOP/DOA với chất oxi hóa ammoni peclorat (AP), chất cháy bột nhôm (Al) và xúc tác cháy bột sắt (III) oxit (Fe_2O_3). Các tính chất cơ học và đặc trưng nhiệt đã được xác định. Kết quả cho thấy các mẫu nhiên liệu có các đặc trưng đáp ứng được yêu cầu của nhiên liệu rắn hỗn hợp như: mô đun đàn hồi $176,7 \div 202,9$ MPa, độ biến dạng $28 \div 45$ %, nhiệt độ bùng cháy $304,8 \div 308,4$ °C và độ bền nhiệt $0,081 \div 0,178$ ml/g. Chất hóa dẻo DOP có hiệu quả hóa dẻo PVC tốt hơn so với DOA. Bên cạnh đó, nhiên liệu được hóa dẻo bởi DOA gây ra giảm khối lượng mạnh hơn khi già hóa và độ bền nhiệt thấp hơn so với DOP.

Từ khóa: Nhiên liệu rắn hỗn hợp; polyvinyl clorua; ammoni peclorat.

1. Mở đầu

Nhiên liệu rắn hỗn hợp là một loại vật liệu nỏ dạng polyme-composite, có biến đổi cháy được sử dụng làm nhiên liệu cho tên lửa và một số phương tiện kỹ thuật. Nhiên liệu rắn hỗn hợp có thành phần chính gồm chất oxi hóa, hệ chất cháy kết dính và phụ gia. Chất oxi hóa phổ biến trong các nhiên liệu rắn hỗn hợp hiện nay là muối ammoni peclorat (AP), có tỉ lệ $60 \div 72$ % khối lượng. Hệ chất kết dính thường bao gồm polyme, chất hóa dẻo và phụ gia $8 \div 20$ % [1]. Trong đó, chất kết dính dạng nhiệt rắn là các polyme chứa nhóm chức đầu mạch hoặc chứa liên kết đôi trong phân tử, được đóng rắn (khâu mạch) bởi lưu huỳnh và tác nhân khâu mạch [2, 3]; chất kết dính dạng nhiệt dẻo thường có nhiệt độ thủy tinh hóa cao hơn khá nhiều nhiệt độ thường. Nhiên liệu rắn hỗn hợp trên cơ sở polyvinyl clorua (PVC) và AP là nhiên liệu có chất kết dính dạng nhiệt dẻo.

Tính chất cơ học và đặc trưng nhiệt của nhiên liệu rắn hỗn hợp phụ thuộc chủ yếu vào bản chất và tính chất của chất kết dính polyme. Một số công trình nghiên cứu gần

* Email: khaihv@lqdtu.edu.vn

đây đã công bố về tính chất cơ học của hệ nhiên liệu trên cơ sở PVC/AP. James D. Martin (1984) đã công bố về nhiên liệu rắn dạng plastisol trên cơ sở PVC có ứng suất chảy 0,8 MPa ứng với biến dạng 6,4 % và mô đun 0,042 MPa [4]. George P. Sutton (2016) đã đưa ra hệ nhiên liệu rắn PVC/AP/Al có thể được chế tạo bằng phương pháp đúc hoặc ép đùn, có xung lượng riêng trong khoảng $260 \div 265$ s; chất kết dính polyme có độ bền kéo 0,262 MPa, độ biến dạng kéo đến đứt 220 % [1]. Kishore (1989) đã chế tạo một nhiên liệu rắn PVC/DBP/AP theo tỉ lệ 1 : 1 : 6 và nghiên cứu đặc tính phân hủy nhiệt [5]. Vladica S. Bozic (2001) đã công bố về ảnh hưởng của kích thước hạt AP đến tốc độ cháy của nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC/AP [6]. Tốc độ cháy của nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC dạng plastisol cũng đã được khảo sát bởi Manash và Mezroua [7, 8]. Những công bố chi tiết về đặc trưng của nhiên liệu trên cơ sở PVC là tương đối hạn chế.

Trong một báo cáo của Alain Davenas (2003) về sự phát triển của nhiên liệu rắn hỗn hợp hiện đại, nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC cũng được nhiều nhà khoa học quan tâm bởi tính phổ biến của PVC trên thị trường [9]. B. P. Mason (2019) đã công bố về đặc điểm của nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC đó là không thấy có liên kết ngang nên giới hạn về nhiệt độ làm việc. Mặc dù vậy, nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC vẫn có nhiều ứng dụng như động cơ Polaris A-3, các động cơ hành trình của tên lửa Mark 30, Stinger Launch và động cơ cho Trident IC-4. Các nhiên liệu này có tính chống lão hóa tốt và có thể duy trì hoạt động trong vài thập kỷ [10]. Ngoài ra, nhiên liệu trên cơ sở PVC còn được ứng dụng để tăng tầm đạn phản lực trên dàn phóng BM-21 cải tiến.

Như vậy, cho đến nay chưa có công bố đề cập đến ảnh hưởng của tỉ lệ cũng như bản chất của chất hóa dẻo đến tính chất cơ học và độ bền nhiệt của nhiên liệu rắn hỗn hợp. Nghiên cứu này đã khảo sát một số chất hóa dẻo cho nhiên liệu rắn hỗn hợp trên nền PVC trên cơ sở làm rõ tính chất cơ học và đặc trưng nhiệt.

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất và vật tư

PVC nhãn hiệu SG 660 được mua từ Công ty nhựa và hóa chất TPC Vina. PVC có dạng bột màu trắng, khối lượng trên sàng 250 μm nhỏ hơn 2 %, trên sàng 75 μm lớn hơn 90 % và khối lượng phân tử 81.000 đ.v.C.

Amoni peclorat: AP có độ tinh khiết $\geq 99,5$ %, dạng hạt được trộn từ hai phân đoạn: 80 % khối lượng kích thước hạt $0,15 \div 0,28$ mm và 20 % khối lượng kích thước hạt nhỏ hơn 0,08 mm.

Các hóa chất tinh khiết bao gồm chất hóa dẻo dioctyl adipat (DOA), dioctyl phtalat (DOP) được mua từ hãng Merk, Đức.

Bột nhôm có độ tinh khiết 99,5 %; 100 % lượng cỡ hạt đường kính nhỏ hơn 260 μm ; 85 % lượng cỡ hạt có kích thước trong khoảng 60 ÷ 175 μm . Sắt III oxit (Fe_2O_3) loại PA có xuất xứ Trung Quốc.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chế tạo mẫu

Các thành phần chất độn rắn được định lượng và trộn đều ở nhiệt độ thường trong 1 giờ (với tỉ lệ cố định AP/Al/ Fe_2O_3 là 58,9/21,1/0,59), PVC và chất hóa dẻo được định lượng như trong bảng 1. Sau đó, hồ nhiên liệu được nén định hình trong khuôn đường kính 10 mm. Mẫu được giữ ổn định ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 30 phút; tiếp theo mẫu được làm nguội từ từ trong tủ sấy chương trình với tốc độ làm nguội 0,5°C/phút. Cuối cùng, mẫu được tháo khỏi khuôn ép. Mẫu thuốc sau nén ép có mật độ trong khoảng 1,75 ÷ 1,77 g/cm³. Ký hiệu và thành phần của các mẫu được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu và thành phần của các mẫu

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng các cấu tử, %			Ký hiệu mẫu	Hàm lượng các cấu tử, %		
	PVC	DOP	DOA		PVC	DOP	DOA
DOP-1	9,01	10,40	0	DOA-3	8,22	0	11,18
DOP-2	8,62	10,79	0	DOP/DOA-1	9,01	5,20	5,20
DOP-3	8,22	11,18	0	DOP/DOA-2	8,62	5,40	5,40
DOA-1	9,01	0	10,40	DOP/DOA-3	8,22	5,60	5,60
DOA-2	8,62	0	10,79	-	-	-	-

2.2.2. Xác định tính chất cơ học

Phương pháp thử nghiệm tính chất cơ học dựa trên STANAG-4443 theo điều kiện đo của Đức DIN 53454. Mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp được chuẩn bị có đường kính 10 ± 0,02 mm, cao 10 ± 0,1 mm. Thử nghiệm xác định các tính chất cơ học được tiến hành trên thiết bị đo SALT-ST-1000C, ở nhiệt độ thử nghiệm 25 ± 2°C; chế độ thử nghiệm: tốc độ nén 5 mm/phút. Chương trình đưa ra giá trị mô đun đàn hồi ($E_{2\%}$) dựa trên giá trị ứng suất nén (σ , MPa) tại độ biến dạng (ϵ) 2 % [11].

2.2.3. Xác định độ suy giảm khối lượng

Phương pháp xác định độ suy giảm khối lượng mẫu theo thời gian gia nhiệt ở 100°C: Mẫu thử nghiệm được chứa trong đĩa petri. Cho đĩa petri chứa mẫu vào tủ sấy. Sau các khoảng thời gian sấy xác định, đậy nắp đĩa petri và cho vào bình hút ẩm để nguội 15 ÷ 20 phút. Cân và tính toán sự suy giảm khối lượng so với mẫu ban đầu.

2.2.4. Phương pháp xác định độ an định hóa học

Độ an định hóa học được xác định bằng phương pháp áp kế chân không trên thiết bị Stabil. Mẫu được định lượng và cho vào ống nghiệm có thể tích xác định. Mẫu trong ống nghiệm kín được hút chân không ($\leq 0,672$ kPa) và ghi lại áp suất, nhiệt độ trước khi già hóa. Ống nghiệm chứa mẫu được giữ ổn định nhiệt ở 100°C trong 40 giờ. Khi hết thời gian già nhiệt, mẫu được làm nguội đến nhiệt độ phòng và ghi lại nhiệt độ và áp suất sau già hóa. Thể tích khí thoát ra từ mẫu được tính toán tự động [12].

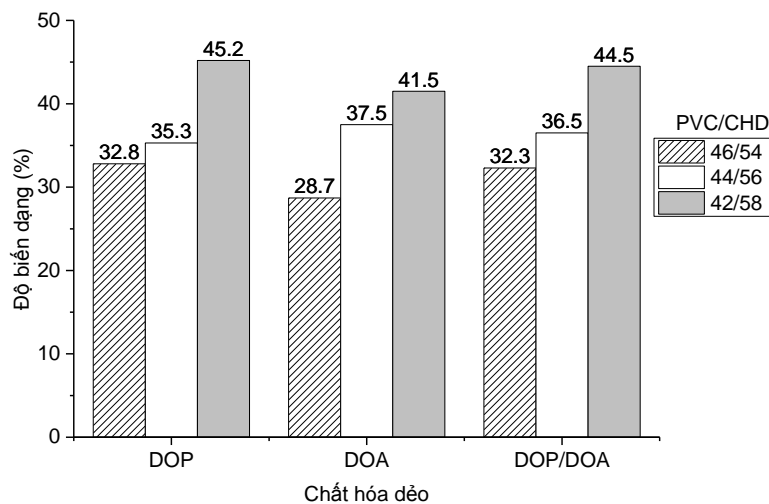
2.2.5. Xác định nhiệt độ bùng cháy

Nhiệt độ bùng cháy được xác định trên thiết bị DT-400. Mẫu được chuẩn bị và định lượng vào ống nghiệm hở. Mẫu được gia nhiệt tốc độ $5^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ từ nhiệt độ (SP1) 200°C đến nhiệt độ (SP2) 320°C và ghi lại nhiệt độ khi mẫu nhiên liệu bùng cháy [13].

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Tính chất cơ học của nhiên liệu rắn hỗn hợp

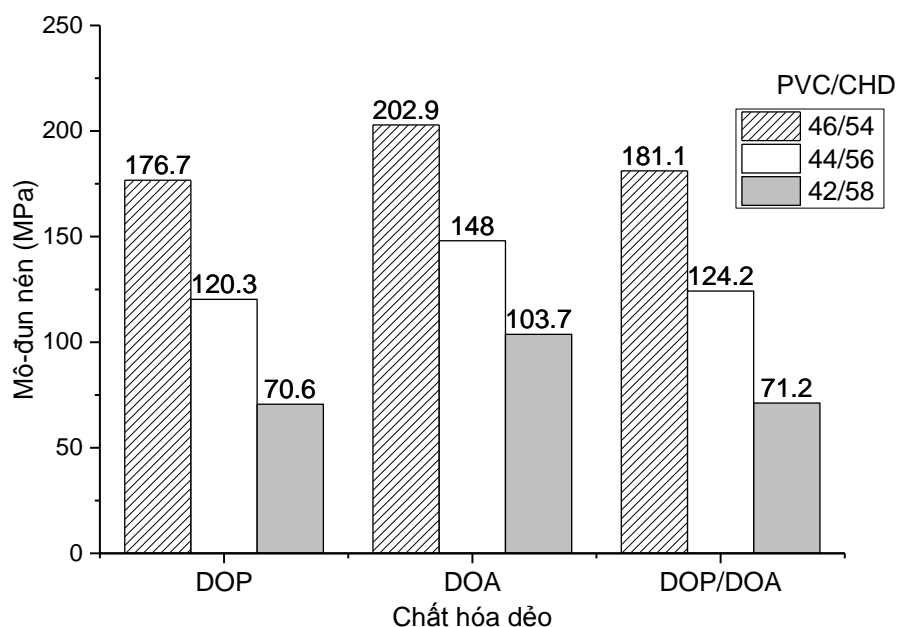
Tính chất cơ học là thông số đánh giá độ bền của nhiên liệu chịu tải trọng trong quá trình vận chuyển và phóng tên lửa. Dạng thỏi nhiên liệu được gắn chắc hay thối nhiên liệu gắn rời với thân động cơ phụ thuộc vào mô đun đàn hồi và độ biến dạng. Để khảo sát tính chất cơ học của nhiên liệu trên cơ sở PVC/AP, mẫu nhiên liệu được chế tạo với các chất hóa dẻo (CHD) DOP, DOA và hỗn hợp DOP+DOA và tỉ lệ PVC/CHD là 46/54, 44/56 và 42/58. Kết quả xác định độ biến dạng nén và mô đun nén được đưa ra trên đồ thị 1.



Hình 1. Độ biến dạng của mẫu nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC và một số chất hóa dẻo.

Kết quả trên hình 1 chỉ ra, với cùng tỉ lệ chất kết dính so với chất độn, độ biến dạng nén phụ thuộc vào tỉ lệ PVC/chất hóa dẻo và bản chất của chất hóa dẻo. Khi tăng

hàm lượng chất hóa dẻo, độ biến dạng của mẫu nhiên liệu rắn tăng tương ứng với mỗi hệ chất hóa dẻo. Mẫu nhiên liệu rắn sử dụng DOA có độ biến dạng thấp hơn đáng kể so với mẫu nhiên liệu rắn sử dụng DOP. Mẫu nhiên liệu sử dụng chất hóa dẻo hỗn hợp (DOP/DOA = 1 : 1) có độ biến dạng gần như tương đương với mẫu sử dụng DOP. Độ biến dạng của các mẫu này (trong khoảng 28 ÷ 45 %) tương đối phù hợp với độ biến dạng của nhiên liệu tên lửa rắn (khoảng 30 %) theo DIN-53454 của Đức và STANAG-4443 ở cùng điều kiện thử nghiệm [11].



Hình 2. Mô đun nén ($E_{2\%}$) của mẫu nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC và một số chất hóa dẻo.

Kết quả trên hình 2 cho thấy, trong tỉ lệ chất hóa dẻo đã khảo sát, mô đun nén của các mẫu thay đổi từ 70 ÷ 200 MPa. Tỉ lệ PVC/chất hóa dẻo (46/54 ÷ 42/58) ảnh hưởng mạnh đến mô đun nén của mẫu nhiên liệu rắn; chất hóa dẻo DOA cho mô đun nén cao hơn so với 2 hệ chất hóa dẻo còn lại. Rõ ràng rằng các tỉ lệ PVC/chất hóa dẻo này ảnh hưởng đến khả năng sử dụng của nhiên liệu ở dạng gắn rời hoặc gắn chắc. Các mẫu với tỉ lệ 46/54 có mô đun nén ở khoảng 176,7 ÷ 202,9 MPa phù hợp sử dụng cho nhiên liệu gắn rời.

3.2. Đặc trưng phân hủy nhiệt của nhiên liệu rắn hỗn hợp

Đặc trưng phân hủy nhiệt là thông số quan trọng đánh giá tính an toàn trong quá trình bảo quản cũng như sự tương thích giữa các cấu tử trong hệ nhiên liệu rắn hỗn hợp. Để đánh giá sự phân hủy nhiệt và mức độ bay hơi dung môi hóa dẻo thoát ra khỏi mẫu

nhiên liệu rắn hỗn hợp, các mẫu được xác định sự giảm khối lượng sau khi gia nhiệt ổn định ở điều kiện 100°C trong 85,5 giờ. Kết quả được đưa ra trong bảng 2.

Bảng 2. Độ suy giảm khối lượng của các mẫu được gia nhiệt ở 100°C trong 85,5 giờ

Mẫu	Suy giảm khối lượng (%)	Mẫu	Suy giảm khối lượng (%)	Mẫu	Suy giảm khối lượng (%)
DOP-1	0,29	DOP/DOA-1	0,53	DOA-1	0,79
DOP-2	0,34	DOP/DOA-2	0,46	DOA-2	0,72
DOP-3	0,44	DOP/DOA-3	0,61	DOA-3	0,80

Sự suy giảm khối lượng của mẫu thể hiện trên bảng 2 là tương đối nhỏ trong khoảng 0,29 ÷ 0,80 % khi gia nhiệt ở 100°C trong thời gian đến 85,5 giờ. Độ suy giảm khối lượng càng cao khi hàm lượng chất hóa dẻo càng lớn. Mẫu nhiên liệu được hóa dẻo bởi DOP có độ suy giảm khối lượng nhỏ hơn so với mẫu được hóa dẻo bởi DOA; mẫu nhiên liệu được hóa dẻo bởi hỗn hợp DOP/DOA có độ suy giảm khối lượng gần như trung bình so với khi sử dụng chất hóa dẻo đơn. Điều này có thể được giải thích bởi các nguyên nhân sau: 1 - Do sự bay hơi một phần chất hóa dẻo bởi mức độ liên kết vật lý giữa chất hóa dẻo và các cấu tử khác (hay có thể gọi là tính tương thích lý học của chất hóa dẻo với các cấu tử khác); 2 - Do sự phân hủy một phần nhiên liệu tạo thành sản phẩm khí do sự tương tác giữa các cấu tử trong nhiên liệu. Như vậy, nhiên liệu được hóa dẻo bởi DOP bền nhiệt hơn và tương thích tốt hơn so với được hóa dẻo bởi DOA.

Độ bền hóa học của mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp có thể được đánh giá theo tiêu chuẩn STANAG 4556 của NATO. Thể tích khí thoát ra khi gia nhiệt mẫu là tiêu chí đánh giá độ bền hóa học của mẫu. Trong phần thực nghiệm này, các mẫu nhiên liệu sử dụng chất hóa dẻo khác nhau với hàm lượng khác nhau đã được khảo sát. Kết quả được trình bày trên bảng 3.

Bảng 3. Độ an định hóa học của các mẫu trên cơ sở PVC đã hóa dẻo theo STANAG 4556

Mẫu	Thể tích khí (ml/g)	Mẫu	Thể tích khí (ml/g)	Mẫu	Thể tích khí (ml/g)
DOP-1	0,081	DOP/DOA-1	0,084	DOA-1	0,090
DOP-2	0,099	DOP/DOA-2	0,095	DOA-2	0,103
DOP-3	0,104	DOP/DOA-3	0,132	DOA-3	0,178

Theo tiêu chuẩn đánh giá độ an định hóa học bởi phương pháp này, mẫu được đánh giá an toàn trong bảo quản khi thể tích thoát ra được yêu cầu nhỏ hơn 2 ml/g. So với yêu cầu, thể tích khí thoát ra của tất cả các mẫu (0,081 ÷ 0,178 ml/g) đều nhỏ hơn nhiều so với tiêu chuẩn, nghĩa là các mẫu có độ bền hóa học cao.

Nhiệt độ bùng cháy là thông số đánh giá khả năng mỗi cháy và tính an toàn với xung nhiệt của nhiên liệu rắn. Nhiệt độ bùng cháy của các mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp được xác định theo STANAG 4491 với tốc độ gia nhiệt 5°C/phút. Kết quả khảo sát được chỉ ra trên bảng 4.

Bảng 4. Nhiệt độ bùng cháy của mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp trên cơ sở PVC đã hóa dẻo

Mẫu	T _{bc} , °C	Mẫu	T _{bc} , °C	Mẫu	T _{bc} , °C
DOP-1	306,6	DOP/DOA-1	305,0	DOA-1	303,7
DOP-2	307,5	DOP/DOA-2	305,3	DOA-2	304,8
DOP-3	308,4	DOP/DOA-3	306,5	DOA-3	305,0

Bảng 4 cho thấy nhiệt độ bùng cháy của các mẫu nhiên liệu với các chất hóa dẻo khác nhau trong khoảng 304,8 ÷ 308,4°C. Sự chênh lệch về nhiệt độ bùng cháy giữa các mẫu nhiên liệu sử dụng chất hóa dẻo khác nhau là không đáng kể. Trong đó, nhiệt độ bùng cháy của mẫu nhiên liệu được hóa dẻo bởi DOA nhỏ hơn so với được hóa dẻo bởi DOP. Như vậy, nhiên liệu rắn trên cơ sở PVC có độ nhạy với xung nhiệt khá thấp.

4. Kết luận

Nhiên liệu rắn hỗn hợp trên cơ sở PVC và AP, được hóa dẻo bởi DOA, DOP hoặc hỗn hợp DOP/DOA, đã được chế tạo bằng phương pháp nén ép đã được chế tạo thành công với một vài tỉ lệ thành phần khác nhau. Tính chất cơ học bao gồm mô đun nén (176,7 ÷ 202,9 MPa) và độ biến dạng (28 ÷ 45 %) cho phép sử dụng nhiên liệu ở dạng gắn rời. Đồng thời, nhiên liệu này có độ an định hóa học, độ bền nhiệt cao và độ nhạy với xung nhiệt khá thấp là thuận lợi cho quá trình bảo quản lâu dài. Kết hợp giữa độ bền cơ học và đặc trưng nhiệt nên ưu tiên lựa chọn chất hóa dẻo theo thứ tự như sau: DOP, hỗn hợp DOP/DOA, DOA.

Tài liệu tham khảo

- [1] George P Sutton, Oscar Biblarz, *Rocket Propulsion Elements*, John Wiley & Sons, 2016.
- [2] MHS Gradwell, D Grooff, "A comparison of tetraethylthiuram and tetramethylthiuram disulfide vulcanization. II. Reactions in rubber," *Journal of Applied Polymer Science*, 83(5), pp. 1119-1127, 2002, DOI: 10.1002/app.10138
- [3] James E Mark, Burak Erman, Mike Roland, *The Science and Technology of Rubber*, Academic Press, 2013.
- [4] Jame D. Martin, "Polyvinyl chloride plastisol propellants," in *20th Joint Propulsion Conference*, 1984.
- [5] Kaushal Kishore, Sivasubramanian Sankaralingam, Adamali Sameena Begum, "Studies on the ageing behaviour of Polyvinylchloride/ammonium perchlorate composite solid propellant," *Fuel*, 68(11), pp. 1476-1479, 1989, DOI: 10.1016/0016-2361(89)90047-1

- [6] Vladica S Bozic, Marko V Milos, "Effects of oxidizer particle size on propellants based on modified polyvinyl chloride," *Journal of Propulsion and Power*, 17(5), pp. 1012-1016, 2001, DOI: 10.2514/2.5863
- [7] A Manash, P Kumar, "Comparison of burn rate and thermal decomposition of AP as oxidizer and PVC and HTPB as fuel binder based composite solid propellants," *Defence Technology*, 15(2), pp. 227-232, 2019, DOI: 10.1016/j.dt.2018.08.010
- [8] Abderrahmane Mezroua, Michel H Lefebvre, Djalal Trache and Kamel Khimeche, "Burning Rate of PVC - Plastisol Composite Propellants and Correlation between Closed Vessel and Strand Burner Tests Data," in *Innovative Energetic Materials: Properties, Combustion Performance and Application*, Springer, 2020, pp. 351-372, DOI: 10.1007/978-981-15-4831-4_12
- [9] Alain Davenas, "Development of modern solid propellants," *Journal of Propulsion and Power*, 19(6), pp. 1108-1128, 2003, DOI: 10.2514/2.6947
- [10] BP Mason, CM Roland, "Solid propellants," *Rubber Chemistry and Technology*, 92(1), pp. 1-24, 2019, DOI: 10.5254/rct.19.80456
- [11] NATO -"STANAG 4443: Explosives, Uniaxial Compression Test," NATO Standardization, Germany, 2003. <https://standards.globalspec.com/std/338459/STANAG%204443>
- [12] NATO -"STANAG 4556: Explosives, Vacuum Stability Test," 2003. <https://standards.globalspec.com/std/188120/STANAG%204556>
- [13] NATO -"STANAG 4491: Explosives, Thermal Sensitiveness and Explosiveness Tests," 2003. <https://standards.globalspec.com/std/14507166/STANAG%204491>

INVESTIGATION OF SOME PLASTICIZERS FOR COMPOSITE SOLID PROPELLANT BASED ON POLYVINYL CHLORIDE

Abstract: *This article presents an investigation of some plasticizers for composite solid propellants. The samples are prepared from the PVC plasticized by the DOP, DOA, and a mixture of DOP/DOA with ammonium perchlorate (AP) oxidizer, aluminum (Al) powder, and iron (III) oxide (Fe₂O₃). Mechanical properties and thermal characteristics of the samples were determined. The results show that the characteristics of the samples meet the requirements of composite solid propellant such as elastic modulus $176.7 \div 202.9$ MPa, deformation $28 \div 45$ %, ignition temperature $304.8 \div 308.4$ °C and thermal stability $0.081 \div 0.178$ ml/g. The DOP plasticizer is a better effect on plasticization than the DOA. In addition, the sample from PVC/DOA causes more loss of weight and lower thermal stability than that from PVC/DOP.*

Keywords: Composite solid propellant; polyvinyl chloride; ammonium perchlorate.

Nhận bài: 26/11/2021; Hoàn thiện sau phân biện: 14/09/2022; Chấp nhận đăng: 22/03/2023

