

MỘT VÀI KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM KÉO DÀI THỜI GIAN CHÁY CỦA NHIÊN LIỆU RẮN TRONG ĐỘNG CƠ TÊN LỬA

MAI VĂN TÚ, MAI KHÁNH, BÙI DUY NAM, NGUYỄN NGỌC LÂN

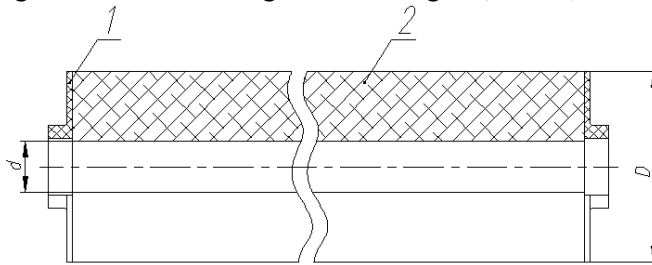
Tóm tắt: Bài báo trình bày một số kết quả thực nghiệm kéo dài thời gian cháy của nhiên liệu rắn RSI-12M trong động cơ tên lửa. Bằng phương pháp cung cấp thêm nguồn nội nhiệt, tăng bề dày cháy và giảm áp suất trong buồng đốt, thời gian cháy tăng lên đáng kể. Kết quả nghiên cứu ban đầu này có thể áp dụng cho thiết kế, chế tạo động cơ hành trình sử dụng nhiên liệu rắn RSI-12M.

Từ khóa: Động cơ tên lửa, Nhiên liệu rắn, Tốc độ cháy, Thời gian cháy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các thiết bị bay có điều khiển cần phải có động cơ hành trình - thời gian làm việc dài - để duy trì quỹ đạo bay cho thiết bị. Động cơ hành trình sử dụng nhiên liệu rắn là loại động cơ đơn giản, giá thành thấp, phù hợp với các thiết bị bay sử dụng một lần như: tên lửa, mục tiêu bay huấn luyện...

Thỏi nhiên liệu hữu cơ RSI-12M là nhiên liệu rắn hình ống, một lỗ, bịt chống cháy hai mặt đầu, cháy đẳng diện từ mặt trụ trong và mặt trụ ngoài (hình 1).



1- Bịt chống cháy; 2- Nhiên liệu RSI-12M

Hình 1. Thỏi nhiên liệu RSI-12M.

Có 2 thỏi nhiên liệu RSI-12M sử dụng cho động cơ đạn 9M-22Y với các kích thước hình học và bề dày cháy $2e1 = (D - d)/2$ như sau [5] (bảng 1):

Bảng 1. Một số đặc trưng hình dạng các thỏi nhiên liệu RSI-12M.

TT	D (mm)	d (mm)	2e1(mm)
1	92,5	17,5	37,5
2	102,5	27,5	37,5

Một số kết quả nghiên cứu [1], [4] về tốc độ cháy ổn định của nhiên liệu rắn RSI-12M theo áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt được tổng hợp trong bảng 2. Theo bảng 2, các động cơ sử dụng nhiên liệu rắn RSI-12M chỉ làm việc ổn định trong điều kiện áp suất trong buồng đốt lớn hơn 40 bar.

Bảng 2. Giá trị tốc độ cháy của nhiên liệu rắn RSI-12M theo áp suất buồng đốt.

Áp suất (bar)	Dưới 40	40	50	60	70	80	90	100	110
Tốc độ cháy (mm/s)	Không cháy hoặc cháy không ổn định	7,1	7,8	8,4	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0

Gọi e [m], u [m/s], t [s] - là bề dày cháy, tốc độ cháy và thời gian cháy của nhiên liệu trong buồng đốt động cơ. Ta có:

$$u = \frac{de}{dt} \quad (1.1)$$

Trong điều kiện cháy ổn định, coi tốc độ cháy u là hằng số, sau khi biến đổi (1.1) và lấy tích phân hai vế ta nhận được công thức tính thời gian cháy của nhiên liệu trong động cơ:

$$t = \frac{e}{u} \quad (1.2)$$

Với bề dày cháy $2e1 = 37,5$ mm và giá trị tốc độ cháy theo bảng 2, tính toán theo công thức (1.2) ta thấy thời gian cháy lớn nhất của nhiên liệu RSI-12M trong động cơ (ở điều kiện áp suất buồng đốt lớn hơn 40 bar) nhỏ hơn 2 giây.

Vì vậy, muốn sử dụng nhiên liệu rắn RSI-12M để chế tạo động cơ có thời gian làm việc lớn hơn 2 giây chúng ta phải có giải pháp kỹ thuật kéo dài thời gian cháy của nhiên liệu trong buồng đốt động cơ.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Cơ sở khoa học

Theo (1.2), để tăng (kéo dài) thời gian cháy của nhiên liệu chúng ta phải:

- Tăng bề dày cháy $2e1$;
- Giảm tốc độ cháy u của nhiên liệu.

- *Giải pháp tăng bề dày cháy:*

Với nhiên liệu rắn RSI-12M có đặc trưng hình dạng và kích thước xác định thì chúng ta có thể tăng bề dày cháy bằng giải pháp hạn chế bề mặt cháy (bọc chống cháy). Hiện nay, Việt Nam đã làm chủ công nghệ bọc chống cháy đối với nhiên liệu rắn hữu cơ bằng nguồn lực trong nước [3].

- *Giải pháp giảm tốc độ cháy:*

Theo [1] tốc độ cháy của nhiên liệu rắn phụ thuộc vào áp suất trong buồng đốt của động cơ theo công thức:

$$u = K \cdot p^v \quad (2.1)$$

trong đó: K - hệ số thực nghiệm phụ thuộc bản chất, nhiệt độ ban đầu và hiệu ứng cháy sôi mòn của nhiên liệu rắn trong buồng đốt;

p - áp suất trong buồng đốt;

v - số mũ tốc độ cháy phụ thuộc bản chất nhiên liệu.

Theo (2.1) tốc độ cháy giảm khi áp suất trong buồng đốt động cơ giảm. Tuy nhiên, theo bảng 2, với nhiên liệu rắn RSI-12M khi áp suất trong buồng đốt nhỏ hơn 40 bar thì nhiên liệu cháy không ổn định hoặc không cháy. Vì vậy, để giảm tốc độ cháy, cần thiết phải duy trì nhiên liệu RSI-12M cháy ổn định trong điều kiện áp suất trong buồng đốt động cơ nhỏ hơn 40 bar.

Nghiên cứu bản chất vật lý quá trình cháy [6] nhận thấy: sự cháy của nhiên liệu rắn là sự phân hủy hoàn toàn lớp mỏng trên bề mặt nhiên liệu chuyển vào pha khí khi có đủ điều kiện cháy. Từ động lực học phản ứng hoá học, quá trình cháy là quá trình phản ứng hóa học xảy ra trong lớp mỏng trên bề mặt cháy, nó phụ thuộc vào nhiệt độ tức thời của nhiên liệu và thời gian nung nóng của lớp nhiên liệu này trong vùng bị nung nóng. Mặt khác, ứng suất tiếp điểm do sự tác động của áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt lên lớp mỏng nhiên liệu làm phá vỡ các hạt, các phân tử của nhiên liệu làm tăng tốc độ phản ứng trong pha rắn (tăng tốc độ cháy).

Do đó, sự cháy của NLR là sự phân hủy lớp mỏng trên bề mặt cháy xảy ra dưới tác động tổng hợp của:

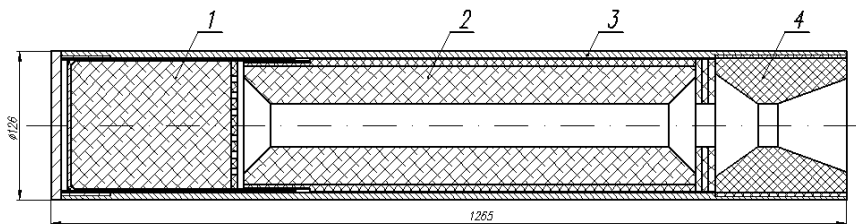
- Cơ năng: dưới tác động của áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt;
- Nhiệt năng: tạo ra từ phản ứng phân rã nhiên liệu trong pha rắn và dòng nhiệt truyền từ pha khí vào pha rắn. Giá trị nhiệt năng phụ thuộc vào: bản chất nhiên liệu, cường độ trao đổi nhiệt giữa sản phẩm cháy và nhiên liệu, thời gian nung nóng của nhiên liệu.

Về mặt bản chất vật lý, điều kiện để lớp mỏng trên bề mặt nhiên liệu bị phân huỷ (cháy) tạo ra sản phẩm cháy được thoát hẳn bằng phương pháp này hoặc phương pháp khác nhưng phải đồng nhất, nghĩa là điều kiện này phải là tổng hợp của các yếu tố: nhiệt độ, áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt, thời gian nhiên liệu bị nung nóng.

Như vậy, áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt chỉ là một yếu tố ảnh hưởng đến quá trình cháy của nhiên liệu rắn. Nhiệt năng là yếu tố quyết định quá trình phản ứng cháy, do đó, để duy trì quá trình cháy của nhiên liệu khi áp suất trong buồng đốt giảm chúng ta có thể sử dụng giải pháp: cung cấp nguồn nội nhiệt bên trong buồng đốt động cơ đảm bảo đủ điều kiện để nhiên liệu cháy ổn định.

2.2. Thiết kế, chế tạo động cơ thí nghiệm

Tiến hành chế tạo động cơ thí nghiệm sử dụng liệu nhiên liệu liên hợp như hình 2, gồm: thời nhiên liệu hỗn hợp (vị trí 1) và thời nhiên liệu RSI-12M (vị trí 2) trong cùng một buồng đốt động cơ.

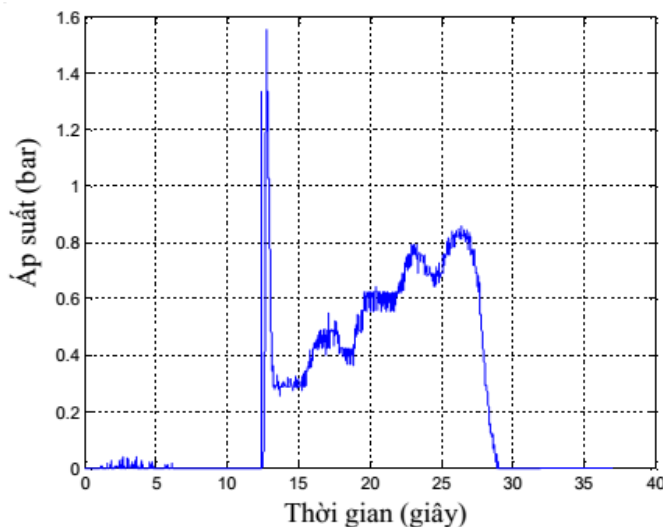


Hình 2. Động cơ thí nghiệm sử dụng liệu nhiên liệu liên hợp.

Động cơ thí nghiệm với các thành phần chính như sau:

1- Thời nhiên liệu rắn hỗn hợp với các thông số cơ bản:

+ Thành phần chính của nhiên liệu: $KClO_4$: 42%; Mg : 36%; Cao su : 14%, các chất phụ gia 8%;



Hình 3. Biểu đồ áp suất-thời gian động cơ mẫu sử dụng thời nhiên liệu hỗn hợp.

+ Khối lượng, Kg : 0,78;
+ Bề dày cháy, mm : 130;
+ Kết quả nghiên cứu [2], thời nhiên liệu rắn hỗn hợp được chế tạo và thử nghiệm đốt đo áp suất trong động cơ mẫu cho thấy: loại nhiên liệu này cháy ổn định trong buồng đốt với áp suất thấp đến 0,4 bar (hình 3).

2- Nhiên liệu rắn RSI-12M với các thông số chính:

+ Khối lượng, Kg: 8,65;
+ Bọc chống cháy bề mặt trụ ngoài;
+ Bề dày cháy 2e1, mm: 75;
+ Bề mặt cháy: mặt trụ trong và hai mặt đầu.

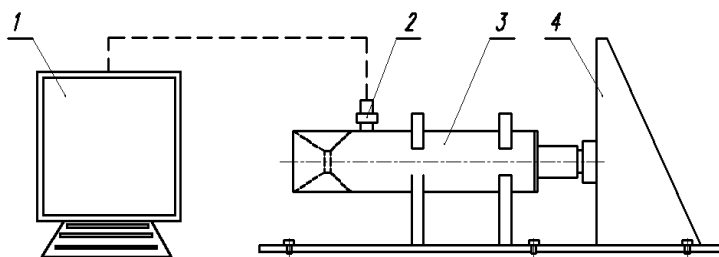
3- Thành buồng đốt động cơ gồm 2 lớp: Lớp bảo vệ nhiệt và vỏ thép.

4- Khối loa phụt, với đường kính tiết diện tối hạn của loa phụt, mm: 35.

Nguyên lý làm việc: Sau khi mỗi cháy, mặc dù áp suất trong buồng đốt giảm dưới 40 bar nhưng thời nhiên liệu hỗn hợp vẫn cháy tạo ra nhiệt lượng duy trì thời nhiên liệu RSI-12M cháy ổn định trong buồng đốt.

2.3. Thử nghiệm đo áp suất làm việc của động cơ

Thử nghiệm đốt và đo áp suất động cơ thí nghiệm tại trường bắn theo sơ đồ sau (hình 4).



Hình 4. Sơ đồ đo áp suất động cơ thí nghiệm.

trong sơ đồ trên:

- 1- Thiết bị đo đa năng DASIM-IPC;
- 2- Cảm biến đo áp suất:
 - + Giới hạn đo, Bar : 0 đến 300;
 - + Sai số, % : nhỏ hơn 5;
- 3- Động cơ thí nghiệm; 4- Giá đỡ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

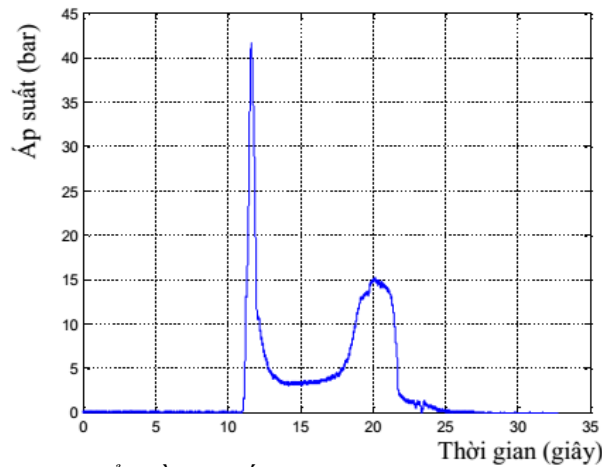
3.1. Kết quả đo áp suất động cơ thí nghiệm

Kết quả đo biểu đồ áp suất - thời gian động cơ thí nghiệm (hình 5).

3.2. So sánh, đánh giá

Từ biểu đồ áp suất-thời gian (hình 5) cho thấy, không tính “pick” áp suất môi (41,69 bar) động cơ thí nghiệm làm việc ổn định ở áp suất từ 5 bar đến 15 bar.

Từ các kết quả khảo sát nghiên cứu các động cơ sử dụng nhiên liệu RSI-12M (không sử dụng giải pháp kéo dài thời gian cháy) và kết quả thử nghiệm động cơ sử dụng giải pháp kéo dài thời gian cháy, chúng ta có bảng kết quả để so sánh sau (bảng 3).



Hình 5. Biểu đồ áp suất-thời gian của động cơ thí nghiệm.

Bảng 3. Các tham số đặc trưng của các loại động cơ dùng nhiên liệu rắn RSI-12M.

Loại động cơ	Nhiên liệu	Bề dày cháy 2e1 (mm)	Áp suất buồng đốt (bar)	Thời gian cháy (giây)	Tốc độ cháy trung bình (mm/giây)
Bình thường	RSI-12M	37,5	Phải lớn hơn 40	nhỏ hơn 2	$\cong 10$
Sử dụng giải pháp kéo dài thời gian cháy	Hỗn hợp và RSI-12M	75	5÷15	10,73	$\cong 3,45$

Kết quả trên cho thấy:

- Với việc sử dụng nguồn nội nhiệt sinh ra từ thời nhiên liệu rắn hỗn hợp cháy liên tục trong buồng đốt động cơ chúng ta đã duy trì được thời nhiên liệu RSI-12M cháy ổn định ở áp suất (thấp) từ 5 bar đến 20 bar.

- Bằng giải pháp hạn chế bề mặt cháy chúng ta đã tăng được bề dày cháy của nhiên liệu RSI-12M lên 2 lần;

- Với việc duy trì quá trình cháy của nhiên liệu RSI-12M ở áp suất thấp, tốc độ cháy của nhiên liệu đã giảm gần 3 lần và đồng thời thời gian cháy (thời gian làm việc của động cơ) tăng lên hơn 5 lần (10,73 giây);

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu đã dẫn trên đây có thể rút ra một số kết luận sau:

1- Quá trình cháy của nhiên liệu rắn trong động cơ tên lửa không chỉ phụ thuộc vào áp suất sản phẩm cháy trong buồng đốt mà còn phụ thuộc vào các quá trình nhiệt lí xảy ra bên trong buồng đốt động cơ.

2- Kết quả nghiên cứu bước đầu này có thể áp dụng để chế tạo động cơ hành trình dùng nhiên liệu rắn RSI-12M với thời gian làm việc lớn hơn 10 giây sử dụng cho các thiết bị bay có điều khiển đơn giản như: tên lửa cỡ nhỏ, mục tiêu bay huấn luyện,...

3- Động cơ thí nghiệm là mô hình động cơ nhiên liệu rắn hoạt động theo nguyên lý mới, có tính ứng dụng và ý nghĩa thực tiễn cần được nghiên cứu chuyên sâu và luận giải bằng các luận chứng khoa học.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Nhiệm vụ cấp Bộ Quốc phòng: Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo động cơ hành trình dùng thuốc phóng keo RSI-12M [2].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Thế Phiệt, “*Lý thuyết động cơ tên lửa,*” Học viện KTQS (1995).
- [2]. Thuyết minh nhiệm vụ KHCN cấp Bộ Quốc phòng, “*Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo động cơ hành trình dùng thuốc phóng keo RSI-12M,*” Viện Tên lửa (2013).
- [3]. Báo cáo tổng kết đề tài cấp TT KHKT&CNQS, “*Nghiên cứu chế tạo vật liệu và công nghệ chống cháy cho nhiên liệu rắn sử dụng trong một số loại tên lửa cỡ nhỏ,*” Viện Hóa học - Vật liệu (2005).
- [4]. Đặng Hồng Triển, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, “*Nghiên cứu xác định quy luật tốc độ cháy của nhiên liệu rắn tên lửa trên cơ sở đo đặc tuyến làm việc của động cơ mẫu*” Viện Khoa học và Công nghệ quân sự (2009).
- [5]. Ngô Văn Giao, “*Tính chất thuốc phóng và nhiên liệu tên lửa*”, Học viện Kỹ thuật quân sự (2005).
- [6]. Р.Е. Соркину, “*Газотермодинамика ракетных двигателей на твердом топливе,*” Наука. Москва (1967).
- [7]. Я.Б.Зельдович, О.И.Лейпунский, В.Б.Лбрович, “*Теория нестационарного горения пороха,*” Наука. Москва (1975).
- [8]. Б.В.Новожилов, “*Нестационарное горение твердых ракетных топлив,*” Наука. Москва (1973).
- [9]. Oleg Ya.Romanov, “*Unsteady Burning of Solid Propellant,*” J. of Propulsion, **Vol. 15**, No. 6 (1999), pp. 823-837.
- [10]. M. W. Beckstead, “*Solid propellant combustion mechanisms and flame structure,*” Pure&Appl. Chem., **Vol. 65**, No. 2 (1993), pp. 297-307.

ABSTRACT

SOME EXPERIMENTAL RESULTS OF EXTENDING THE BURNING TIMES OF SOLID-PROPELLANT IN ROCKET MOTORS

This paper presents some experimental results of extending the burning times of solid propellant RSI-12M in rocket motor. By the method of providing more internal heat source, increasing the burning thickness and reducing the pressure in the combustion chamber, the burning times has been increased significantly. The initial results may be applied to the design, manufacture the cruise motor using solid propellant RSI-12M.

Keywords: Rocket motors, Solid propellant, Burning rate, Burning times.

*Nhận bài ngày 20 tháng 10 năm 2014
Hoàn thiện ngày 20 tháng 01 năm 2015
Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 4 năm 2015*

Địa chỉ: Phòng Thiết kế hệ thống, Viện Tên lửa, Viện Khoa KH-CN Quân sự.

Email: maivantu0101@gmail.com. *Điện thoại:* 0982.747.368