

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ CHỊU TẢI NHIỆT LỚN NHẤT TRONG ĐỘNG CƠ TÊN LỬA NHIÊN LIỆU RẮN CỠ NHỎ

LOCATION OF THE MAXIMUM HEAT RESISTANT IN THE SMALL SOLID FUEL ROCKET ENGINE

TS. Bùi Trọng Tuấn
Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Nhiệt độ là một thông số quan trọng và không thể thiếu trong quá trình thiết kế chế tạo vũ khí nói chung cũng như động cơ tên lửa nhiên liệu rắn nói riêng (ĐTR). Thông qua nhiệt độ chúng ta có thể xác định được một số thông số quan trọng của ĐTR, ví dụ dựa vào thông số nhiệt độ lớn nhất xuất hiện khi ĐTR làm việc ta có thể bước đầu lựa chọn được vật liệu chế tạo động cơ, bề dày thành động cơ và một số chỉ tiêu khác trong quá trình thiết kế, chế tạo. Kết quả bài báo này chỉ ra vị trí trong ĐTR sẽ chịu tải nhiệt lớn nhất khi ĐTR làm việc.

Từ khóa: Nhiệt độ; Áp suất; Tên lửa; Nhiên liệu rắn.

ABSTRACT

Temperature is an important parameter and indispensable in the process of designing and manufacturing weapons in general as well as solid fuel rocket engines in particular (SFR). Through the temperature, we can determine some important parameters of SFR. For example, based on the maximum temperature parameters that appear when the SFR is working, we can initially choose the engine construction material, the engine wall thickness and a number of other criteria during the design and manufacturing process. The results of this paper show that the position in the terrarium will bear the greatest heat load when the terrarium is working.

Keywords: Temperature; Pressure; Rocket; Solid fuel.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông số nhiệt độ là một thông số vô cùng quan trọng trong quá trình nghiên cứu, thiết kế, chế tạo vũ khí đặc biệt, trong quá trình thiết kế động cơ tên lửa, nòng súng pháo, đạn và các chi tiết chịu tác động của nhiệt độ.

Trong kỹ thuật tên lửa là loại vũ khí sử dụng một lần người ta đặc biệt chú trọng đến trọng lượng thân vỏ của tên lửa và động cơ. Đây là những thành phần không mang hiệu quả sát thương trong chiến đấu, nên yêu cầu chung của chúng là càng nhẹ càng tốt nhưng vẫn phải đảm bảo đủ bền (chịu được các tải áp suất, nhiệt độ) trong suốt quá trình tên lửa hoạt động. 

Nếu tên lửa mang quá nhiều trọng lượng thừa, để đạt được yêu cầu chiến thuật đặt ra (mang một khối lượng chất nổ nhất định đến một vị trí đã định trước) thì lượng nhiên liệu cần thiết sẽ tăng cao, trọng lượng của toàn hệ thống sẽ lớn. Mặt khác trọng lượng của toàn hệ thống và của đạn tên lửa thông thường được quy định theo yêu cầu của người đặt hàng nên số lượng đạn mang kèm của tổ hợp sẽ bị giảm đi rất nhiều, làm giảm hiệu quả chiến đấu của tổ hợp.



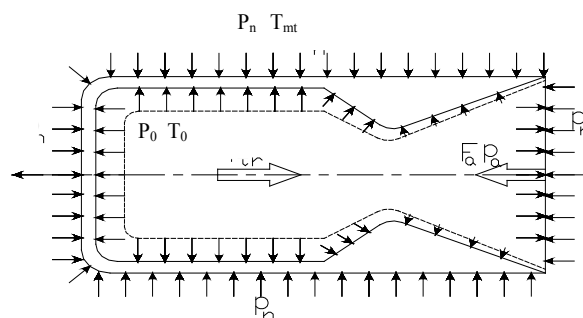
Hình 1. Tên lửa nhiên liệu rắn cỡ nhỏ C5K-Nga

Trong thiết kế ĐTR, dựa vào giá trị nhiệt độ lớn nhất và thời gian tác động của nhiệt độ kết hợp với các thông số làm việc của ĐTR (áp suất khí thuốc trong buồng đốt động cơ, lực đẩy động cơ hay lực tác dụng của khí thuốc...) các nhà thiết kế có thể sơ bộ lựa chọn được vật liệu cần thiết để chế tạo các chi tiết động cơ tên lửa hoặc xác định sơ bộ các thông số kết cấu và thông số làm việc của chúng. Ví dụ: Bề dày buồng đốt động cơ, loa phụt, thời gian làm việc của động cơ.

Vấn đề đặt ra trong kỹ thuật là chúng ta cần xác định vị trí, khu vực của ĐTR sẽ chịu tải nhiệt lớn nhất khi làm việc, từ đó các nhà thiết kế có cơ sở để lựa chọn vật liệu chế tạo đảm bảo tin cậy cho các chi tiết đó cũng như các thành phần còn lại.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NHIỆT ĐỘ TÁC CÁC CHI TIẾT KHÁC NHAU CỦA TÊN LỬA NHIÊN LIỆU RẮN

2.1. Kết cấu của ĐTR và các tải tác động khi ĐTR làm việc [1, 2]



Hình 2. ĐTR và các tải tác động khi ĐTR khi làm việc

Khi ĐTR làm việc, thuốc phóng cháy trên các bề mặt, kết quả của quá trình cháy làm cho thuốc phóng biến đổi từ trạng thái rắn thành sản phẩm cháy là hỗn hợp các loại khí có nhiệt độ cao. Khí thuốc phụt qua loa phụt làm xuất hiện thành phần lực đẩy động cơ. Áp suất và nhiệt độ trong buồng đốt và loa phụt rất cao, áp suất và nhiệt độ sẽ tác động lên thành buồng đốt và loa phụt làm cho nhiệt độ thành buồng đốt và loa phụt tăng nhanh và gây lên biến dạng của thành buồng đốt và loa phụt làm thay đổi các thông số hình học của ĐTR.

2.2. Hệ phương trình xác định nhiệt độ trong ĐTR [4, 5]

Để xác định được nhiệt độ tại các chi tiết khác nhau của ĐTR trong quá trình làm việc chúng ta thường sử dụng phương pháp lý thuyết: Xây dựng và giải hệ phương trình truyền nhiệt. Bài toán xác định nhiệt độ của vật chịu tác động của nhiệt độ và áp suất của khí thuốc trong vũ khí là một bài toán phức tạp vì quá trình truyền nhiệt từ khí thuốc qua thành loa và vào môi trường là một bài toán không dừng với rất nhiều tham số mà chỉ có thể xác định bằng thực nghiệm. Để đơn giản bài toán và có thể giải được ta sử dụng một số giả thiết sau: Chia ĐTR làm hai chi tiết: Buồng đốt (phần hình trụ) và loa phụt (phần hình côn). Chỉ xét phương truyền nhiệt theo phương pháp tuyến, tại các mặt cắt bất kỳ của buồng đốt và loa phụt, nhiệt

độ, áp suất, vận tốc và mật độ của dòng khí coi như phân bố đều (vận tốc dòng khí trong buồng đốt bằng không), vật liệu đồng nhất và đẳng hướng,...

Từ những giả thiết trên, theo tài liệu thiết kế ta có hệ phương trình:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \\ T_0 = T_m \\ \alpha(t_w - t_f) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \\ \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_w = 0 \\ \alpha = \alpha_T + \alpha_b \end{cases}$$

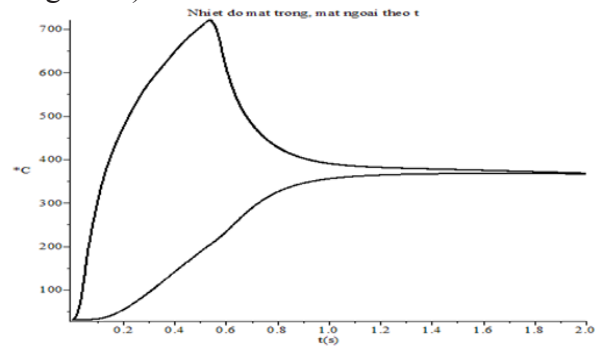
(Trong hệ phương trình trên: $a = \lambda / c\rho$ – hệ số dẫn nhiệt; T_0 - nhiệt độ dòng khí; T_v - nhiệt độ bề mặt của loa phụt; ở α - hệ số tỷ lệ gọi là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu; α_T - hệ số truyền nhiệt (được tính bằng tổng hệ số truyền nhiệt đối lưu và bức xạ: $\alpha = \alpha_T + \alpha_B$ α_T - hệ số truyền nhiệt đối lưu; α_B - hệ số truyền nhiệt bức xạ).

Để giải được hệ phương trình trên ta cần xác định các thông số hình học và vật lý của ĐTR, điều kiện đầu và điều kiện biên của bài toán nhiệt.

3.KẾT QUẢ TRƯỜNG NHIỆT TẠI CÁC VỊ TRÍ KHÁC NHAU TRONG ĐTR

Tính toán cho một động cơ cụ thể là tên lửa C5K và vật liệu chế tạo động cơ bằng thép 45.

Ta coi nhiệt độ thành buồng đốt bằng nhiệt độ của vào của loa phụt (giả thiết được sử dụng: vận tốc dòng khí tại cửa vào của loa phụt bằng 0m/s).



Hình 2. Nhiệt độ mặt trong và mặt ngoài của buồng đốt và loa phụt

Bảng 1. Nhiệt độ mặt trong và ngoài của loa phụt theo chiều dài:

Nhiệt độ ($t^{\circ}\text{max}$) $t = 0.53s$	Chiều dài của loa phụt tính từ cỡ vừa của loa (mm)										
	0	5,4	10,8	16,2	21,6	27-44	54	64	74	84	128
Mặt trong ($^{\circ}\text{C}$)	175.4	204.7	253.7	341.0	509.1	761.8	277.1	171.2	125.6	104.1	46.0
Mặt ngoài ($^{\circ}\text{C}$)	120.2	129.8	145.3	169.2	201.9	199.8	134.1	101.8	85.6	78.2	44.6
Nhiệt độ cân bằng	122.9	138.3	167.7	213.3	297.6	371.7	163.5	108.2	86.7	79.6	45.9



Nhận xét kết quả tính:

- Nhiệt độ mặt trong thành buồng đốt, loa phụt tăng rất nhanh và thay đổi theo chiều dài của loa phụt.

- Nhiệt độ mặt ngoài của ĐTR tiếp tục tăng sau khi động cơ kết thúc làm việc (0.53s) và đạt cao nhất sau khoảng 2s (khi nhiệt mặt trong truyền ra mặt ngoài và đạt nhiệt độ cân bằng trong tất cả các lớp vật liệu).

- Nhiệt độ tại vị trí tiết diện tới hạn của loa phụt cao nhất (371°C) mặc dù tại vị trí này có bề dày vật liệu lớn nhất (6.1 mm) trong khi thành buồng đốt chỉ dày 2.5 mm.

4. KẾT LUẬN

- Trong bài báo, tác giả đã phân tích, xây dựng hệ phương trình tính toán nhiệt độ và đã xác định được vị trí sẽ xuất hiện nhiệt độ lớn nhất xuất hiện khi ĐTR làm việc, đưa ra một ví dụ: Tính trường nhiệt thành động cơ tên lửa rắn cỡ nhỏ (tên lửa C5K) dưới tác dụng của nhiệt độ và áp suất khí thuốc khi động cơ làm việc để minh họa cụ thể.

- Từ kết quả nghiên cứu các nhà thiết kế có thể định hướng bước đầu về cách lựa chọn vật liệu khi nghiên cứu, thiết kế, chế thử ĐTR (vật liệu chế tạo loa phụt phải có độ dẫn nhiệt và khả năng chịu nhiệt tốt hơn nhiều so với vật

liệu chế tạo động cơ. Nếu sử dụng cùng một loại vật liệu thì bề dày vật liệu có thể phải tăng cao nhưng điều này vi phạm vào nguyên tắc giảm khối lượng của ĐTR).

- Thực tế khi các ĐTR có thời gian làm việc dài (>10s) khi chế tạo loa phụt người ta thường bổ xung thêm các lớp vật liệu lót phía trong (graphit, gốm...) để tăng khả năng chịu đựng và giảm khối lượng của ĐTR. Tuy nhiên, khả năng công nghệ của chúng ta hiện nay vẫn chưa hoàn toàn giải quyết triệt để vấn đề này nên khi thiết kế cần lựa chọn phương án sử dụng vật liệu hợp lý. ❖

Ngày nhận bài: **01/02/2023**

Ngày phản biện: **27/02/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Xuân Anh; *Động lực học bộ phóng tên lửa*, NXB. Quân đội Nhân dân, 2000.
- [2]. Phạm Thế Phiệt; *Lý thuyết động cơ tên lửa*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 1995.
- [3]. А. И. Борисенко, Газовая динамика двигателей, Государственное Научно Техническое издательство обронгиз, Москва, 1962.
- [4]. Б. В. Орлов, Г. Ю. Назинг, Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе, Машиностроение, Москва, 1968.