NGHIÊN CỨU PHƯƠNG ÁN CHẾ TẠO VỎ ĐỘNG CƠ NHIÊN LIỆU RẮN CỠ NHỎ TỪ HỢP KIM NHÔM ĐỘ BỀN CAO

Sái Mạnh Thắng*, Bùi Đình Tân

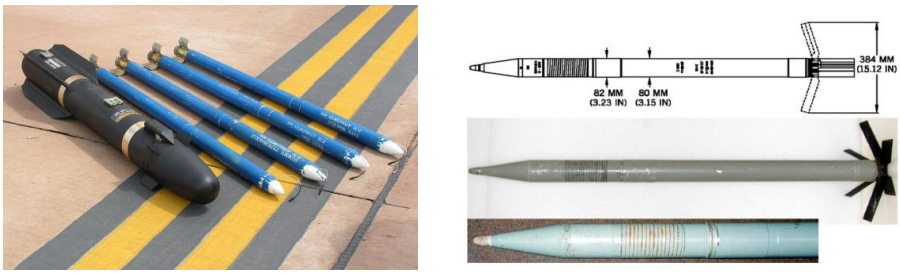
Tóm tắt: *Trong một số động cơ tên lửa nhiên liệu rắn cỡ nhỏ với thời gian cháy ngắn hiện có, chi tiết thân vỏ được chế tạo từ hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al-Mg-Cu–Zn hoặc Al-Mg-Cu. Vật liệu được gia công chế tạo có độ cứng, độ bền cao bằng công nghệ gia công và xử lý cơ nhiệt. Bài báo nghiên cứu khảo sát kết cấu, cơ tính và tổ chức một số vỏ động cơ tên lửa nhiên liệu rắn từ đó xây dựng phương án chế tạo từ vật liệu và công nghệ hiện có trong nước.*

Từ khóa: Vỏ động cơ; Hợp kim nhôm hệ Al-Mg-Cu-Zn; Hợp kim nhôm hệ Al-Mg-Cu.

1. MỞ ĐẦU

Hợp kim nhôm độ bền cao được ứng dụng khá phổ biến trong các ngành công nghiệp quan trọng, đặc biệt ngành hàng không như làm thân vỏ, cánh máy bay, làm các ống phóng, vỏ động cơ, chi tiết tên lửa,... Với đặc tính nhẹ (trọng lượng riêng ≈ 30% thép) và độ bền cao (độ bền lên tới 600 MPa), hợp kim nhôm giúp giảm đáng kể khối lượng kết cấu động cơ tên lửa, đồng thời vẫn đảm bảo bền trong thời gian động cơ làm việc.

Một số tên lửa hàng không điển hình sử dụng vỏ động cơ bằng hợp kim nhôm (hình 1) như: tên lửa hàng không thế hệ Hydra 70 Folding Fin Areal Rocket (FFAR) của Mỹ sử dụng động cơ MK4, MK40, MK105, MK66,...có đường kính thân ống làm từ hợp kim nhôm đường kính đến 2,75 inch (Ø70mm) chiều dày vỏ cỡ 2,8 mm; Tên lửa hàng không của Nga: S-5K, S-5KO, S-8KO, S-8KOM,... có đường kính 50 mm và 80 mm với thời gian làm việc của động cơ đến 1,5 s [1, 2].



Tên lửa Hydra 70 M261 *Tên lửa S-8KO*

Hình 1. *Tên lửa Hydra 70 M261 và Tên lửa S-8KO [3].*

Để có cơ sở cho việc ứng dụng vật liệu hợp kim nhôm chế tạo vỏ động cơ nhiên liệu rắn, cần phải khảo sát đặc tính vật liệu các nước đã sử dụng để chế tạo vỏ động cơ, đồng thời tìm hiểu các đặc trưng làm việc của các động cơ tương ứng. Ngoài ra, việc khảo sát còn có thể cho phép định hình được công nghệ gia công chế tạo tương ứng để đạt được chất lượng mẫu vỏ động cơ, từ đó, xây dựng phương án chế tạo bằng vật liệu và công nghệ hiện có trong nước.

2. KHẢO SÁT VẬT LIỆU VÀ ĐẶC ĐIỂM LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ

Dựa trên hai vỏ động cơ tên lửa tiếp cận được (hình 2): S-8KO (Nga) và MK40 (Mỹ), tiến hành lấy mẫu vật liệu, phân tích thành phần hóa vật liệu, phân tích tổ chức tế vi, đo độ bền kéo, độ cứng, độ giãn dài,... đồng thời nghiên cứu các đặc trưng làm việc của động cơ làm cơ sở ứng dụng loại vật liệu này.



Vỏ động cơ S-8KO



Vỏ động cơ MK40

Hình 2. *Vỏ động cơ S-8KO và MK40.*

2.1. Phân tích thành phần vật liệu

Kết quả phân tích thành phần vật liệu hai vỏ động cơ được trình bày trên bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. *Thành phần hóa học vỏ động cơ S-8KO.*

Nguyên tố	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	V	Zr
%	86,4	0,119	0,202	2,31	0,434	2,19	0,0106	0,0082	8,17	0,0128	0,0021	0,0033	0,126

Kết luận: Vỏ động cơ S-8KO chế tạo từ hợp kim nhôm B96ц.

Bảng 2. *Thành phần hóa học vỏ động cơ MK40.*

Nguyên tố	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	V	Sn
%	93,2	0,90	0,2168	4,4916	0,792	0,8884	0,01	<0,005	0,058	0,0269	<0,005	0,0043	0,01

Kết luận: Vỏ động cơ MK40 chế tạo từ hợp kim nhôm AA2014

Vỏ hai động cơ trên đều được chế tạo từ hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al-Cu– Mg-Zn. Vật liệu này hiện đang được các nước ứng dụng khá phổ biến trong ngành công nghiệp hàng không. Trong đó, mác hợp kim B95, B96ц (ГОСТ) (tương đương AA 7075), AA 2014 (tương đương Д16) là những đại diện cho hệ hợp kim này (bảng 3).

Bảng 3. *Thành phần hóa học một số hợp kim hệ Al-Zn-Mg-Cu [4, 5].*

Mác hợp kim	Thành phần hóa học các nguyên tố hợp kim nhôm, % khối lượng									
	Al	Zn	Mg	Cu	Cr	Ti	Si	Fe	Ni	Mn
B95	Còn lại	5,0-7,0	1,8-2,8	1,4-2,0	0,1-0,25	Max 0,05	Max 0,5	Max 0,5	Max 0,1	0,2-0,6
B96ц	Còn lại	7,6-8,6	2,5-3,2	2,2-2,8	0,1-0,25	-	-	Max 0,5	-	0,2-0,5
B96ц -1	Còn lại	7,0-9,0	2,3-3,0	2,0-2,6	0,1-0,25	-	-	Max 0,5	-	-
AA7075	87,1-91,4	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	0,18-0,28	Max 0,20	Max 0,4	Max 0,05	-	Max 0,3
AA2014	Còn lại	0,25	0,2-0,8	3,9-5,0	Max 0,1	Max 0,15	0,5-1,2	Max 0,7	-	0,4-1,2

Từ bảng 3 cho thấy, các nguyên tố hợp kim chính trong hệ hợp kim nhôm này là Zn, Mg, Cu. Trong đó, Zn và Mg có độ hòa tan lớn, tối đa tới 82% và 17,4%. Cu có mức hòa

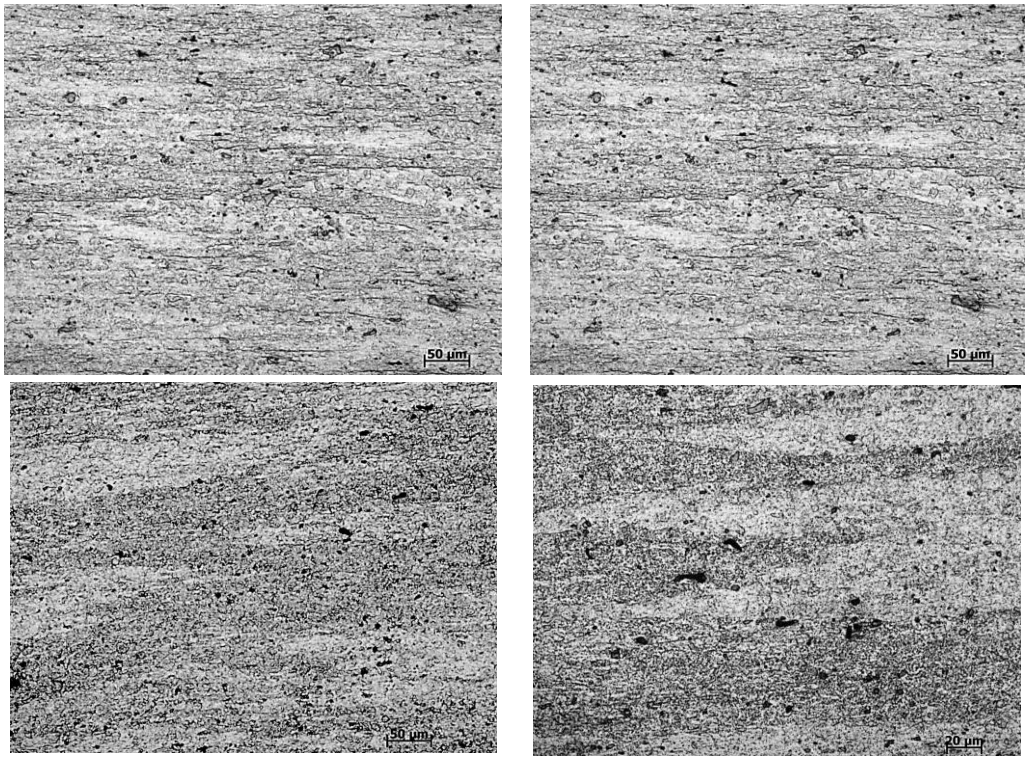
tan ít hơn (cao nhất 5,65%). Ở nhiệt độ thường, các nguyên tố này hòa tan ít hơn nhiều, do đó các hệ hợp kim này được hóa bền cao bằng xử lý nhiệt kết hợp với biến dạng.

Theo [6], các nguyên tố hợp kim ngoài tạo với Al thành dung dịch rắn, nó còn tạo các pha liên kim, các pha thường gặp là η($MgZn_2$), T(Al2Mg3Zn3), S(Al2CuMg) và θ(Al2Cu). Tỷ lệ hàm lượng các nguyên tố hợp kim, đặc biệt là tỷ lệ Mg/ZnMg/Cu ảnh hưởng tới sự hình thành pha hóa bền hợp kim này.

Nhóm hợp kim này là các hợp kim nhôm hệ 4 nguyên, có độ bền cao nhất trong số các hợp kim nhôm. Sau gia công tôi, biến dạng, gia công nhiệt luyện (tôi + hóa già),… có thể đạt giới hạn bền đến trên 600 MPa, giới hạn đàn hồi tới 500 MPa, độ cứng tới 170 HB, khả năng gia công cắt gọt tốt. Khả năng chịu nhiệt của nhóm hợp kim này kém (tương tự các hợp kim nhôm khác), độ bền giảm mạnh khi tăng nhiệt độ.

2.2. Phân tích tổ chức và cơ tính vật liệu

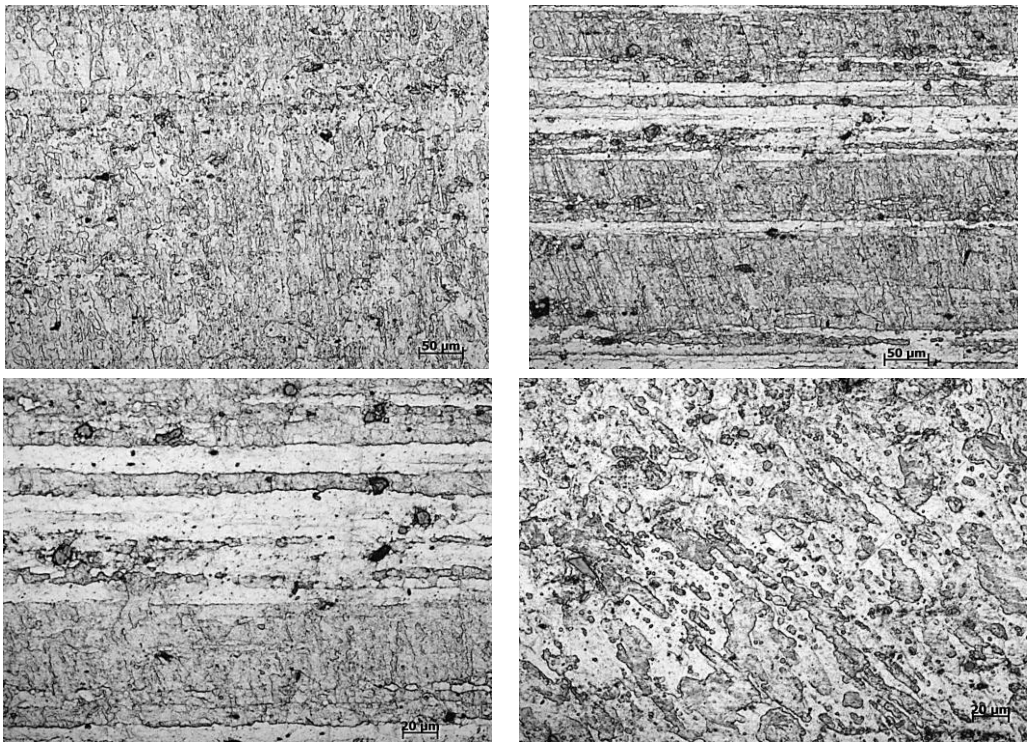
Phân tích tổ chức tế vi vật liệu nhằm xác định cơ tính, công nghệ biến dạng và phương pháp xử lý nhiệt. Tổ chức tế vi mặt cắt ngang thân ống động cơ S-8KO được biểu diễn trên hình 3, tổ chức tế vi mặt cắt dọc được biểu diễn trên hình 4.



Hình 3. *Tổ chức tế vi mặt cắt ngang động cơ tên lửa S-8KO.*

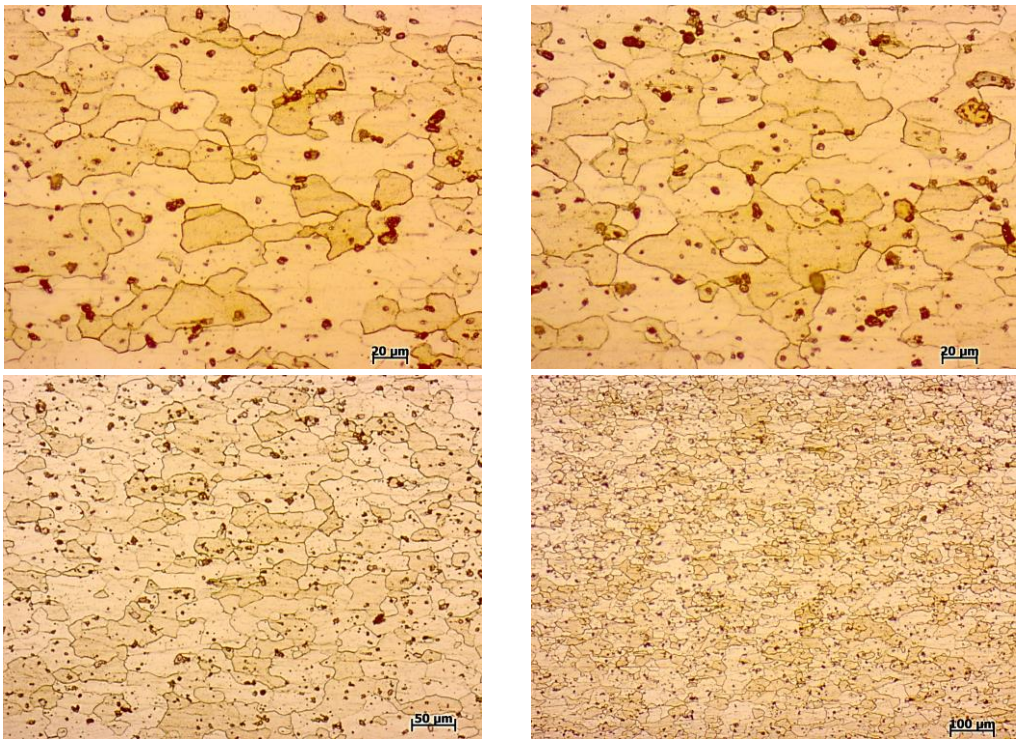
Hình 3 cho thấy hợp kim được biến dạng theo phương dọc thân. Xuất hiện các pha nhỏ trên nền dung dịch rắn nhôm. Đây là tổ chức hóa già hóa bền sau khi biến dạng.

Hình 3, 4 cho thấy hợp kim được biến dạng mạnh tạo thành các thớ vật liệu chạy theo phương biến dạng. Sự kết hợp tiết pha trên nền tổ chức này giúp tăng bền mạnh cho hợp kim. Mức độ biến dạng khá lớn, do vậy, các dải biến dạng vẫn được giữ lại sau hóa già hóa bền. Xuất hiện các pha nhỏ hóa bền kết quả của xử lý biến dạng và hóa già trên nền dung dịch rắn nhôm.

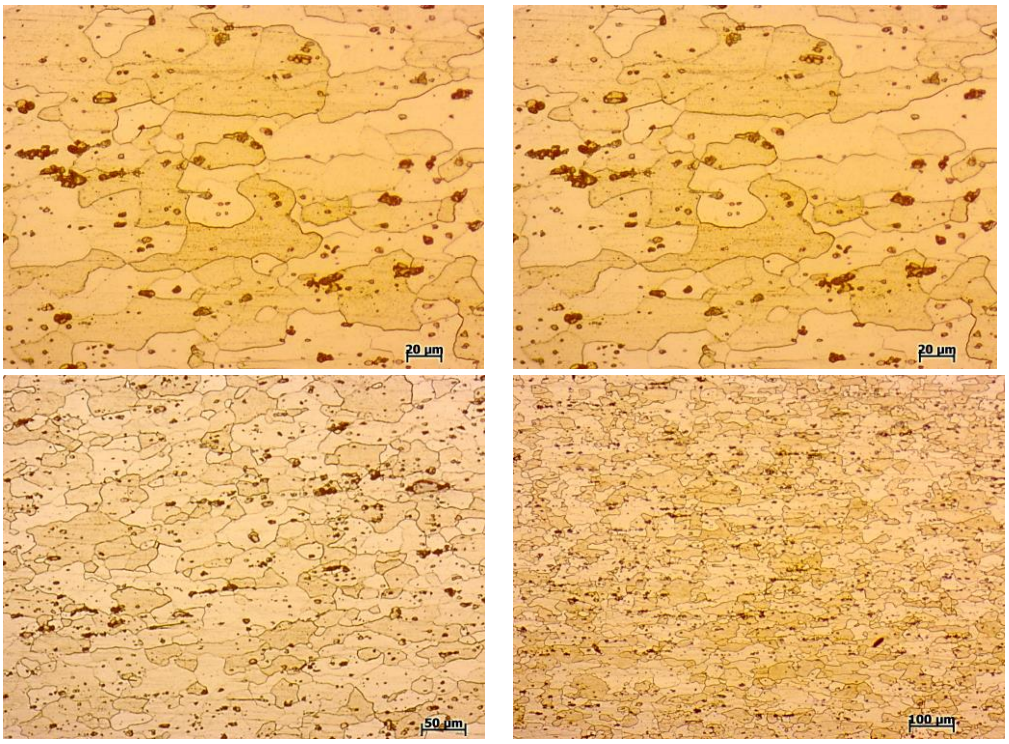


Hình 4. *Tổ chức tế vi mặt cắt dọc thân động cơ tên lửa S-8KO.*

Tổ chức tế vi mặt cắt ngang thân ống động cơ MK40 được biểu diễn trên hình 5, tổ chức tế vi mặt cắt dọc thân ống được biểu diễn trên hình 6.



Hình 5. *Tổ chức tế vi mặt cắt ngang động cơ tên lửa MK40.*

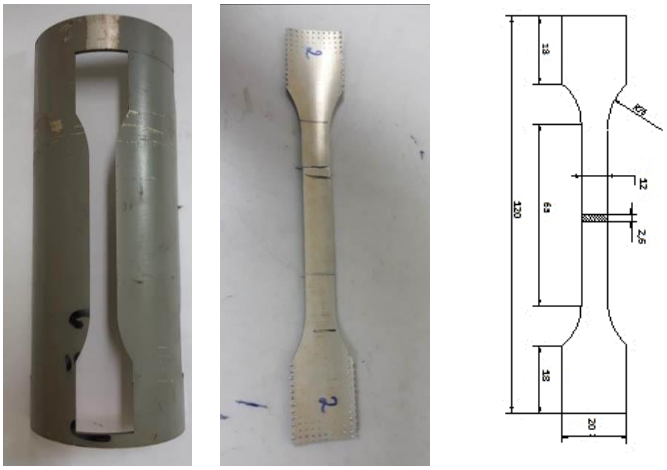


Hình 6. *Tổ chức tế vi mặt cắt dọc động cơ tên lửa MK40.*

Phân tích tổ chức tế vi mặt cắt động cơ MK40 (hình 5,6) cũng có đặc điểm gần tương tự mẫu mặt cắt ngang vỏ động cơ S-8KO. Đó là tổ chức nhôm AA2014 biến dạng gồm nền dung dịch rắn và các pha hóa bền phân bố trong hạt và trên biên hạt. Tổ chức sau hóa già vẫn giữ lại thớ của biến dạng dọc theo thân ống.

2.3. Đo cơ tính vật liệu

Mẫu đo độ bền kéo mẫu vỏ động cơ được chuẩn bị theo tiêu chuẩn TCVN-197-85 (hình 7). Kích thước: dài 120 mm, dày 2,6 mm, l_o = 65 mm.



Hình 7. *Mẫu đo bền kéo.*

Kết quả đo cơ tính vỏ động cơ S-8KO:

- Độ bền kéo đạt khoảng 620 ÷ 650 Mpa;

- Giới hạn đàn hồi đạt khoảng : 490 ÷ 500 Mpa;
- Độ giãn dài: 3 ÷ 4%;
- Độ cứng đạt khoảng: 150 ÷ 160 HB.

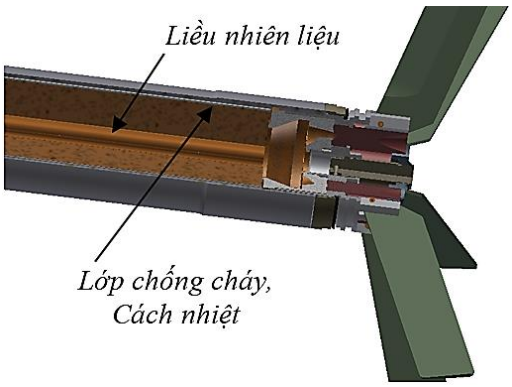
Kết quả đo cơ tính vỏ động cơ MK40:

- Độ bền kéo đạt khoảng 470 ÷ 500 Mpa;
- Giới hạn đàn hồi đạt khoảng: 400 ÷ 430 Mpa;
- Độ giãn dài: 4 ÷ 5%;
- Độ cứng đạt khoảng: 130÷140 HB.

Nhận xét: Các hợp kim này đều có độ bền cao, được hóa bền tới độ bền cao tới 600 MPa, độ cứng từ 130÷160 HB và có độ giãn dài thấp <10%.

2.4. Đặc điểm kết cấu, đặc trưng làm việc của các động cơ

Đặc điểm kết cấu chung của hai mẫu động cơ khảo sát là đều sử dụng nhiên liệu Balistic: S-8KO (BN-K), MK40 (N5). Liều nhiên liệu có dạng liều kẹp chặt, mặt ngoài liều được bọc chống cháy (đồng thời là lớp cách nhiệt) tỳ sát vào thành vỏ động cơ (hình 8), mặt trong được tạo hình phức tạp nhằm tạo ra diện tích bề mặt cháy đáp ứng yêu cầu lực đẩy của động cơ. Với kết cấu động cơ và liều nhiên liệu dạng này, sản phẩm cháy không tiếp xúc với thành vỏ động cơ. Đồng thời, do nhiên liệu cháy theo từng lớp song song từ trong ra ngoài nên bản thân liều nhiên liệu không những đóng vai trò lớp cách nhiệt mà còn giúp vỏ chịu một phần áp suất khí thuốc.



Hình 8. *Kết cấu đuôi động cơ S-8KO.*

Đặc trưng làm việc của hai động cơ khảo sát được nêu trên bảng 4.

Bảng 4. *Đặc trưng làm việc của động cơ S-8KO và MK40 [1,2].*

TT	Thông số	Đơn vị	S-8KO	MK40
1	Áp suất lớn nhất	Pa	116.10^5	105.10^5
2	Lực đẩy trung bình chế độ 2	N	4300	3200
3	Thời gian cháy	s	1,38	1,55
4	Thời gian làm việc	s	1,55	1,72
5	Tổng xung	N.s	6126	5115

Từ số liệu bảng 4 cho thấy, hai động cơ này có thời gian làm việc nhỏ (dưới 2 s), áp suất lớn nhất dưới 120.105 Pa, tạo ra lực đẩy 3000 ÷ 4500 N.

Nhận xét: Các mẫu động cơ tiếp cận được có thời gian làm việc không lớn (dưới 2 s),

liều nhiên liệu có dạng kẹp chặt (bọc chống cháy mặt ngoài, ép sát vào thành vỏ động cơ) nhằm tăng khả năng chịu lực cho vỏ và tránh sản phẩm cháy tiếp xúc với thành vỏ động cơ. Với đặc tính hoạt động như vậy loại động cơ kiểu này đều có thể sử dụng hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al-Mg-Cu–Zn hoặc Al-Mg-Cu làm thân vỏ, ống phóng.

3. ĐÁNH GIÁ CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO

Về vật liệu: Từ kết quả phân tích thành phần vật liệu cho thấy: các mẫu động cơ khảo sát đều sử dụng vật liệu hợp kim nhôm hệ 4 nguyên có độ bền cao nhất trong số các hợp kim nhôm. Trong số các hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al-Zn-Mg-Cu, hợp kim B95, B96ц gồm B96ц, B96ц-1, B96ц-2, B96ц-3 là các hợp kim được hợp kim hóa cao và có độ bền sau nhiệt luyện cao nhất trong các hợp kim nhôm biến dạng, chủ yếu được sử dụng cho lĩnh vực quân sự ở Nga để chế tạo các loại ống phóng, đạn, tên lửa. Tuy nhiên, trong đó chỉ có B95 là được sử dụng nhiều và được chế tạo trong nước, B96ц có độ bền cao đang được đưa vào sử dụng ở một số chi tiết quan trọng chế tạo đạn và tên lửa thay thế B95.

Hiện nay, xí nghiệp X59 (thuộc nhà máy Z127 Tổng cục CNQP) đã chế tạo đã chế tạo được các phôi nhôm tương đương mác B95 và Д16Т phục vụ cho các nhu cầu quốc phòng.

Về công nghệ, từ kết quả phân tích tổ chức tế vi, đo độ cứng, độ bền cho thấy sản phẩm vỏ động cơ được chế tạo theo các bước: Phôi cây hoặc ống hợp kim nhôm, B96ц, AA 2014 đã được tôi đồng đều hóa và biến dạng tạo hình phôi lần cuối; Kết hợp giữa gia công cắt gọt và nhiệt luyện hóa già, tổ chức biến dạng được hóa già đạt đạt độ bền trên 600 MPa, giới hạn đàn hồi 500 MPa, độ cứng tới 160 HB, độ giãn dài 5 ÷ 6%.

Công nghệ nhiệt luyện hợp kim nhôm biến dạng độ bền cao Al-Zn-Mg-Cu đã được nghiên cứu nhiều và được công bố trên nhiều công trình nghiên cứu. Với các mục đích sử dụng hợp kim khác nhau có quy trình nhiệt luyện khác nhau để đáp ứng các yêu cầu về cơ tính tổng hợp. Với yêu cầu về độ bền và các đặc trưng cơ tính như các mẫu vỏ động cơ khảo sát, công nghệ này hoàn toàn có thể triển khai thực hiện được tại các nhà máy quốc phòng ở Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả phân tích thành phần vật liệu cho thấy vỏ động cơ tên lửa S-8KO được chế tạo từ hợp kim nhôm B96, vỏ động cơ MK40 được chế tạo từ hợp kim nhôm AA 2014. Đây là các hợp kim thuộc hệ Al-Zn-Mg-Cu độ bền cao.

Các kết quả nghiên cứu cơ tính và tổ chức cho thấy vỏ động cơ tên lửa chế tạo từ hợp kim được xử lý cơ nhiệt gồm xử lý dung dịch rắn đồng đều, biến dạng mạnh, hóa già hóa bền đạt độ bền tới 500÷600 MPa, giới hạn đàn hồi 500 MPa, độ cứng tới 140÷160 HB, độ giãn dài 5-6%.

Từ kết quả tìm hiểu kết cấu và đặc trưng làm việc của động cơ sử dụng đã lý giải được phần nào về thiết kế đối với động cơ sử dụng vỏ hợp kim nhôm. Do tính chịu nhiệt kém, để sử dụng vật liệu hợp kim nhôm chế tạo vỏ động cơ cần đặc biệt lưu ý đến phương pháp bảo vệ nhiệt cho vỏ động cơ nên ưu tiên sử dụng vỏ hợp kim nhôm (vẫn đảm bảo bền, giảm đáng kể khối lượng kết cấu) đối với động cơ có dạng liều kẹp chặt nhiên liệu Balistic với thời gian làm việc ngắn và bảo vệ nhiệt toàn bộ mặt trong của vỏ động cơ.

Với vật liệu và công nghệ gia công để đạt được các đặc trưng độ bền như các mẫu khảo sát có thể hoàn toàn chế tạo được từ nguồn vật liệu và công nghệ trong nước.

Bài báo là bước đầu nghiên cứu khảo sát, đánh giá khả năng sử dụng hợp kim nhôm cho động cơ tên lửa. Để sử dụng được cho một động cơ cụ thể, cần có quá trình nghiên cứu tính toán ứng suất cơ nhiệt tương ứng với kết cấu và điều kiện làm việc cụ thể của động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. *"Technicalmanual army ammunition data sheets for rockets, rocketsystems, rocketfuses, rocketmotors"*. (Federal Supply Class 1340) Headquarters, department of the army, Washington DC, 17 August 2001.

[2]. Широкорад А.Б. (2003), *"Неуправляемые ракеты (1946-2002)"*, АСТ, Москва.

[3]. http //*Wikipedia.org*./Folding-Fin Aerial Rocket.

[4]. ASM metal handbook, volume 02, *"Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials"*, 1992, pp 48-69

[5]. *"Справочникцветные металлы и сплавы"*. –Нижний Новгород, 2001.-34с.

[6]. Ngô MinhTiến, *"Nghiên cứu ảnh hưởng của một số chế độ nhiệt luyện nhiều giai đoạn đến tổ chức và tính chất của hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al-Zn-Mg-Cu được sản xuất trong nước",* Luận án tiến sĩ kỹ thuật, 2020.tr 5.

ABSTRACT

RESEARCH FOR MAKING BODY SHELLS OF SMALL SOLID PROPERLANT ROCKET ENGINE FROM HIGH STRENGTH ALUMINUM ALLOYS

In some small solid properlant rocket engines has short burn times, the body shells are made from high strength aluminum alloys, grade Al-Mg-Cu-Zn or Al-Mg-Cu. The material is maded with high hardness and high strength by deformation and heat treatment. The article stadies structure, microstructure and properties of shells rocket engines, from which to develop a manufacturing plan from materials and technologies available in the country.

Keywords: Body shells Rocket engine; High strength aluminum alloys Al-Mg-Cu-Zn; Al-Mg-Cu.

Nhận bài ngày 10 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 18 tháng 9 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: smtbk77@yahoo.com.