

Nghiên cứu xử lý nhiệt thép 03Ni18Co9Mo5TiAl cho cơ tính tổng hợp cao ứng dụng trong sản phẩm quốc phòng

Sái Mạnh Thắng^{1*}, Nguyễn Bích Vân²

¹Viện Tên lửa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Viện Khoa học vật liệu/Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

*Email: smtbk77@yahoo.com

Nhận bài: 29/8/2022; Hoàn thiện: 6/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 20/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.185-190>

TÓM TẮT

Hệ thép maraging là hệ thép đặc biệt có độ bền cao nhất trong các loại thép và được ứng dụng nhiều trong quân sự cho chế tạo vỏ động cơ tên lửa, vỏ đạn xuyên giáp,... Mác thép 03Ni18Co9Mo5TiAl là một thép thuộc loại này. Bài báo này tiến hành khảo sát xử lý nhiệt thép 03Ni18Co9Mo5TiAl gồm tôi và hóa già hóa bền, đánh giá tổ chức tế vi, đo độ cứng, độ bền kéo làm cơ sở cho lựa chọn chế độ xử lý nhiệt cho cơ tính tổng hợp cao ứng dụng trong các sản phẩm quốc phòng. Kết quả thu được cho thấy tôi ở 820 °C, hóa già ở 490 °C trong 4 - 6 h cho cứng đạt 53,5 HRC và độ bền kéo đạt trên 2200 MPa.

Từ khóa: Thép maraging; Thép hợp kim 03Ni18Co9Mo5TiAl; Thép máctenxít độ bền cao; Xử lý nhiệt thép maraging; Hóa già thép macstenxít.

1. MỞ ĐẦU

Thép Maraging được phát triển vào những năm 1950 thế kỷ 20, tên gọi được kết hợp từ hai thuật ngữ là mactenxít (martensite) và hóa già (aging), có nghĩa là mactenxít được hóa già. Đây loại thép có các tính chất ưu việt như độ bền gần như cao nhất trong các dòng thép, độ dẻo cao, khả năng hóa bền tốt, khả năng hàn tốt, xử lý nhiệt đơn giản mà không gây biến dạng tổ chức. Do vậy, thép maraging được áp dụng rộng rãi cho các ứng dụng đòi hỏi điều kiện làm việc khắc khe, như ứng dụng cho các ngành công nghiệp hàng không vũ trụ, quân sự và công nghệ hạt nhân, giao thông vận tải, sản xuất, dụng cụ, chế tạo khuôn và các kết cấu cơ điện,... Độ bền cao và độ dẻo dai cao của thép đến từ sự tiết pha tăng bền của vi cấu trúc mactenxít hợp kim cao trong quá trình xử lý nhiệt hóa già.

Thép Maraging ban đầu được xây dựng bằng hợp kim hóa với khoảng 18% Ni tạo ra mactenxít khi xen kẽ của Ni trong nền Fe với hàm lượng C rất thấp khi tôi. Hợp kim hóa thêm Co và Mo làm gia tăng đáng kể về độ bền cơ học thông qua hóa già, một lượng nhỏ Al, Ti thúc đẩy hóa già dễ dàng. Nhóm thép 18%Ni-Co-Mo được xây dựng cho một số mác thép Maraging thương mại như ở bảng 1.

Bảng 1. Một số mác thép maraging 18%Ni[1].

Loại thép	Ni	Co	Mo	Ti	Al	C _{max}	Si _{max}	Mn _{max}	P _{max}	S _{max}
18Ni (200)	17-19	8,0-9,0	3,0-3,5	0,15-0,25	0,05-0,15	0,03	0,12	0,12	0,01	0,01
18Ni (250)	17-19	7,0-8,5	4,6-5,1	0,3-0,5	0,05-0,15	0,03	0,12	0,12	0,01	0,01
18Ni (300)	18-19	8,0-9,5	4,6-5,2	0,5-0,8	0,05-0,15	0,03	0,12	0,12	0,01	0,01
18Ni (350)	17-18	12-13	3,5-4,0	1,6-2,5	0,1-0,2	0,01	0,10	0,10	0,005	0,005
18Ni (đúc)	16-17,5	9,5-11,0	4,4-4,8	0,15-0,45	0,02-0,10	0,03	0,10	0,10	0,01	0,01

Yêu cầu đối với dòng thép này là có hàm lượng cacbon rất thấp <0,03%, hàm lượng tạp chất cực thấp, S,P ≤0,01% và loại có độ bền cao nhất 18Ni(350) có tạp chất S,P ≤0,005%, tổng hàm lượng (Mn+Si) < 0,2%.

Một trong những ưu điểm của thép maraging niken so với các hợp kim độ bền cao khác là có quy trình xử lý nhiệt đơn giản. Sau khi ủ dung dịch rắn autennit hóa, tiến hành tôi nguội nhanh

trong nước, hợp kim này có tổ chức mactenxit mềm dẻo (mactenxit Fe-Ni dạng thớ, kiểu mạng lập phương khối thay thế) dễ dàng cho biến dạng và tạo hình. Sau bước hóa già hợp kim tạo các pha hóa bền, hợp kim cho độ bền và độ cứng cao, lên tới trên 2000 MPa và 50 HRC [2].

Thép maraging 03Ni18Co9Mo5TiAl là thép được sử dụng cho chế tạo vỏ động cơ tên lửa phòng không tầm thấp Iglá, thân vỏ đạn tăng xuyên giáp. Trong nghiên cứu của bài báo này, trên cơ sở phối hợp kim thép 03Ni18Co9Mo5TiAl sau đúc và tinh luyện, tiến hành nhiệt luyện và khảo sát tổ chức và cơ tính thép để chọn được chế độ nhiệt luyện có cơ tính tốt phục vụ cho công nghệ chế tạo chế tạo các sản phẩm phục vụ quốc phòng như động cơ nhiên liệu rắn cơ nhỏ, vỏ đạn chống tăng.

2. THỰC NGHIỆM

Thép nghiên cứu có thành phần theo bảng 2:

Bảng 2. Thành phần hóa học thép.

Nguyên tố	Ni	Co	Mo	Ti	Al	C	Cr	Mn	Si	Fe	P	S
%	19	9,3	5	0,64	0,06	≤0,03	0,08	0,04	0,07	65,78	<0,01	<0,01

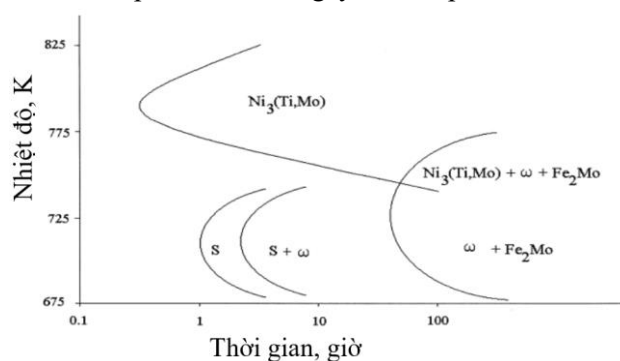
Thép tương đương mác 18Ni300 (ASTM A583-72a grade 73) mác của Nga 03H18K9M5TIO (TY 14-1-4805-90).

Chế độ nhiệt luyện được khảo sát cho như ở bảng 3:

Bảng 3. Chế độ nhiệt luyện thực hiện.

Chế độ xử lý nhiệt	Nhiệt độ, °C	Thời gian giữ nhiệt, giờ
Tôi	820	1
Hóa già	450	2, 4 và 6
	490	2, 4 và 6
	530	2, 4 và 6

Mẫu vật liệu sau đúc, được xử lý nhiệt đồng đều dung dịch rắn và tôi ở 820 °C, hóa già ở khoảng nhiệt độ từ 450-530 °C. Kích thước mẫu khảo sát 2 cm³. Việc lựa chọn nhiệt độ tôi, hóa già và thời gian giữ nhiệt dựa trên giản đồ TTT của thép maraging như ở hình 1, chọn nhiệt độ trên 450 °C để có được pha Ni₃(TiMo) có hiệu quả hóa bền tốt, và dưới nhiệt độ autennit hóa của thép. Tránh tạo các pha S, ω là các pha trật tự hóa gây giòn thép.



Hình 1. Giản đồ TTT của thép maraging [3].

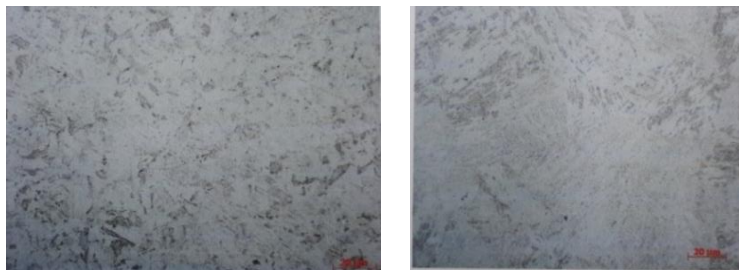
Mẫu sau xử lý nhiệt được tiến hành khảo sát sự biến đổi tổ chức tế vi, đo độ cứng và cơ tính để đánh giá khả năng hóa bền qua xử lý nhiệt từ đó chọn chế độ xử lý cho cơ tính tổng hợp cao.

3. TỔ CHỨC VÀ CƠ TÍNH VẬT LIỆU

3.1. Tổ chức tế vi

Tổ chức tế vi thép maraging 03Ni18Co9Mo5TiAl nghiên cứu được khảo sát ở chế độ sau đúc,

tôi và hóa già. Tổ chức sau đúc là tổ chức dạng nhánh cây tạo thành do quá trình nguội chậm sau đúc, tạo thành từ sự thiên tích của các nguyên tố hợp kim cao có trong thép. Tổ chức sau tôi thu được là mactenxit tấm (pha màu tối) và autenit dư màu sáng.



Tổ chức sau đúc Tổ chức sau tôi
Hình 2. Tổ chức tế vi sau đúc và sau tôi ở 820 °C.

Tổ chức tế vi sau hóa già 450 °C.



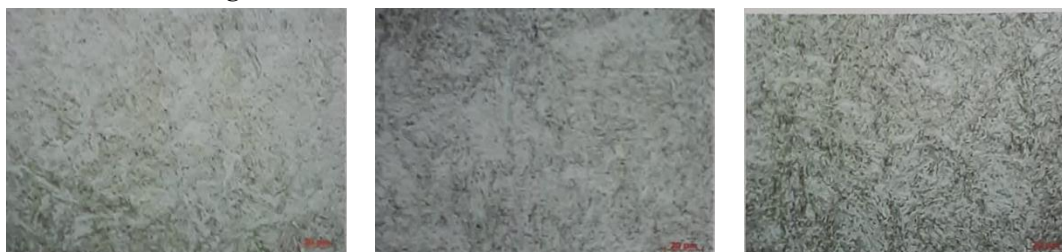
2 giờ 4 giờ 6 giờ
Hình 3. Tổ chức tế vi hóa già ở 450°C, thời gian khác nhau.

Tổ chức tế vi sau hóa già 490 °C



2 giờ 4 giờ 6 giờ
Hình 4. Tổ chức tế vi hóa già 490°C thời gian khác nhau.

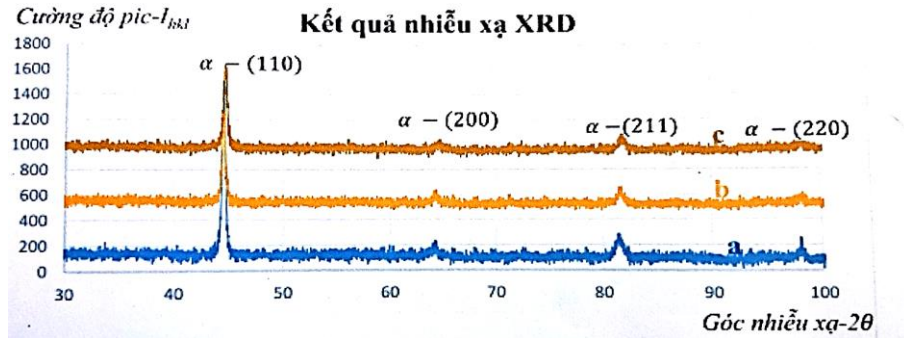
Tổ chức tế vi sau hóa già 530 °C



2 giờ 4 giờ 6 giờ
Hình 5. Tổ chức tế vi hóa già 530 °C thời gian khác nhau.

Nhận xét: Các tổ chức thu được sau hóa già ở 450 °C; 490 °C; 530 °C cơ bản là tổ chức có nền mactenxit dạng thớ, xuất hiện các pha tiết ra nhưng trên nền nhưng các pha này nhỏ khó quan sát thấy bằng hiển vi quang học. Hóa già ở nhiệt độ cao và thời gian dài hơn tổ chức quan sát thấy có sự thô hóa với tổ chức hạt lớn hơn.

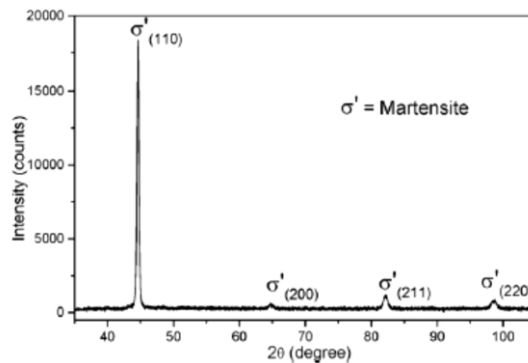
3.2. Kết quả nhiễu xạ



Hình 6. Nhiễu xạ XRD.

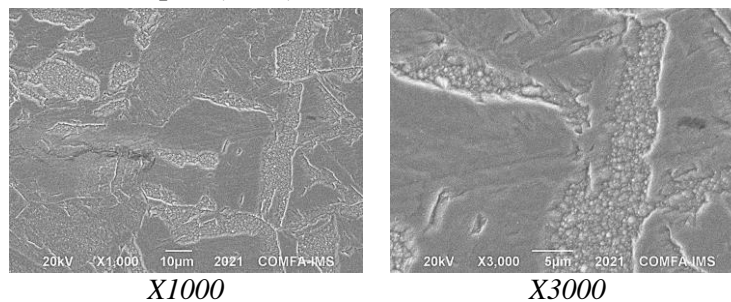
a - Mẫu sau cán và khử ứng suất; *b* - Mẫu sau tôi; *c* - Mẫu sau hóa già ở 490 °C

Nhận xét: Nhiễu xạ tia X mẫu sau tôi và hóa già cho các vạch 110, 200, 211, 220 của cấu trúc lập phương tâm khối (fcc) của nền thép. So sánh với kết quả ở hình 7 [4], với mẫu sau tôi và hóa già đó của là cấu trúc mactenxit Fe-Ni-Co. Các pha phân tán nhỏ mịn có cường độ không lớn đó vậy khó phát hiện bằng Xray thông thường.



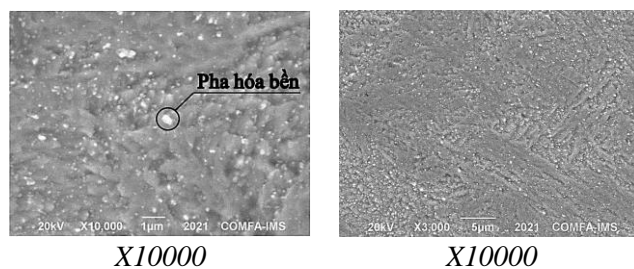
Hình 7. Nhiễu xạ XRD cho xử lý dung dịch rắn và hóa già thép maraging 300 với các peak tương ứng với pha mactenxitit [4].

3.3. Tổ chức hiển vi điện tử quét (SEM)

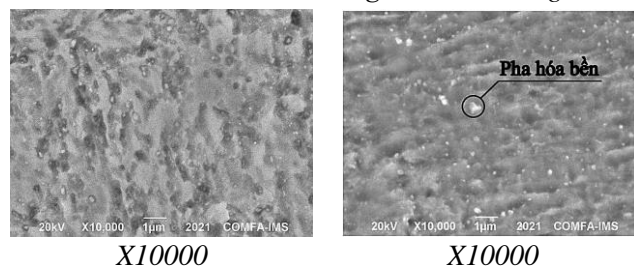


Hình 8. Ảnh SEM mẫu sau đúc.

Ảnh SEM các mẫu hóa già ở 2, 6 giờ với độ phóng đại x10000 (hình 9, hình 10) đã quan sát thấy các pha hóa bền với kích thước khoảng 0,1 μm (màu trắng trên nền thép), dạng cầu nhỏ phân bố trên nền mactenxit Fe-Ni. Các pha hóa bền hóa bền sau có thể có trong thép 03Ni18Co9Mo5TiAl là Ni_3Mo (dạng trực thoi), Ni_3Ti (lục giác trật tự), dạng hỗn hợp $Ni_3(Ti,Mo)$; $Fe_2(Mo, Ti)$ (dạng lục giác laves), $FeMo$ (tứ giác), $FeTi$ (lập phương dạng CsCl), Ni_7Mo_4 (lục giác), $R(Mo-Co-Cr)$ (lục giác dạng thoi), $X(Fe-Cr-Mo)$ (lập phương tâm khối) [5-7]. Các pha này hóa bền mạnh mẽ cho thép.



Hình 9. Ảnh SEM mẫu hóa già 490 °C trong 2 h.



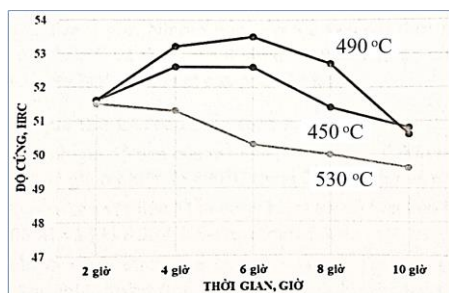
Hình 10. Ảnh SEM mẫu hóa già 490 °C trong 6 h.

3.4. Kết quả cơ tính

Tiến hành đo độ cứng các mẫu sau xử lý nhiệt ở nhiệt độ và thời gian khác nhau cho kết quả như bảng 4, đồ thị biến đổi độ cứng như ở hình 11. Thử kéo mẫu hóa già ở 490 °C với thời gian khác nhau cho ở bảng 5.

Bảng 4. Độ cứng khi xử lý nhiệt.

Chế độ nhiệt luyện	Nhiệt độ, °C	Thời gian, h	Độ cứng, HRC
Mẫu đúc	-	-	32
Tôi	820	1	31,9
Hóa già	450	2	51,6
		4	52,6
		6	52,6
		8	51,4
		2	51,6
	490	4	53,2
		6	53,5
		8	52,6
	530	2	51,5
		4	51,3
		6	50,3
		8	50,0



Hình 11. Đồ thị biến đổi độ cứng theo thời gian hóa già.

Bảng 5. Kết quả thử kéo với mẫu hóa già ở 490 °C.

Mẫu	Độ bền kéo, MPa
Mẫu tôi	1095
Hóa già 2 h	2070
Hóa già 4 h	2030
Hóa già 6 h	2210

Có thể thấy khi tăng thời gian hóa già ở 3 nhiệt độ hóa già, độ cứng thép tăng lên mạnh mẽ, hóa già ở 2 h đạt khoảng 50HRC và đạt cao nhất ở khoảng thời gian 6 giờ, hóa già lên tới 8h thì độ cứng có xu hướng giảm. Với thép nghiên cứu hóa già ở 490 °C ở 6 giờ cho độ cứng cao nhất 53,5 HRC, độ bền kéo đạt được 2210 MPa. Kết quả độ cứng và độ bền kéo thu được cùng phù hợp với một số kết quả đã đạt được trong các nghiên cứu đã được công bố [1, 2].

4. KẾT LUẬN

Thép 03Ni18Co9Mo5TiAl là một thép đặc biệt thuộc dòng thép maraging có cơ chế hóa bền khác với thép thông thường. Tôi để tạo tổ chức mactenxit đồng nhất mềm dẻo dễ dàng cho biến dạng tạo hình, cơ tính tăng cao đạt được thông qua hóa già thép sau tôi nhờ sự tiết pha của các pha hóa bền liên kim.

Thời gian hóa già ảnh hưởng mạnh tới quá trình tiết pha hóa bền, xu hướng tăng bền sẽ diễn ra trong khoảng thời gian hóa già dưới 6 giờ và đạt cực đại. Thời gian dài hơn dẫn tới thô hóa tổ chức và làm giảm cơ tính.

Với mẫu thép 03Ni18Co9Mo5TiAl chế độ nhiệt luyện thích hợp cho cơ tính cao là tôi ở 820 °C, tôi nước và hóa già ở 490 °C trong khoảng 4 - 6 giờ, làm nguội trong không khí. Độ cứng có thể đạt tới 53,5 HRC, độ bền kéo đạt trên 2200 MPa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Metals HandBook Volume 1 - "Properties and Selection Irons Steels and High Performance Alloy", pp 1869-1887, (1993).
- [2]. "18 percent nickel maraging steels, engineering properties", Distributed by the Nickel Development institute, courtesy of inco Limited, (1976).
- [3]. R. Tewari1, S. Mazumder, I. S. Batra, G. K. Dey, S. Banerjee1. "Precipitation in 18 wt% Ni maraging steel of grade 350", Acta Materialia Volume 48, Issue 5, pp. 1187-1200, (2000).
- [4]. Adriano Gonçalves dos Reis, Danieli Aparecida Pereira Reis, Antônio Jorge Abdalla, Jorge Otubo, "High-temperature creep resistance and effects on the austenite reversion and precipitation of 18 Ni (300) maraging steel", Materials Characterization 107, pp. 350–357, (2015).
- [5]. Tamura, K. Tsuzaki, T. Maki, "Morphology of lath martensite formed from deformed austenite in 18% Nimaraging steel". Journal de Physique Colloques, pp.C4-551-C4-556, (1982).
- [6]. Aline Castilho Rodrigues, Heide Heloise Bernardi, Jorge Otubo, "Microstructural Analysis of Co-Free Maraging Steel Aged", Journal of Aerospace Technology and Management, vol. 6, pp. 389-394, (2014).
- [7]. S. W. Ooia, P. Hillb, M. Rawsonb, H. K. D. H. Bhadeshiaa, "Effect of retained austenite and high temperature Laves phase on the work hardening of an experimental maraging steel", Materials Science and engineering A564, pp 485-492, (2013).

Abstract

Study on the heat treatment of 03Ni18Co9Mo5TiAl steel for high synthetic mechanical applications in defence products

Maraging steel is a special steel system with the highest strength of all steels and is widely used in the military for the manufacture of rocket engine shells, armor-piercing shells, etc. Steel 03Ni18Co9Mo5TiAl is one of these grades. This paper researches heat treatment of 03Ni18Co9Mo5TiAl steel including quenching and aging, observing microstructure. Measurement of hardness, tensile strength as the basis for selecting heat treatment regimes for high mechanical properties, and applications in defence products. The obtained results show that quenching at 820 °C, aging at 490 °C for 4 - 6 h for hardness reaches 53,5 HRC and tensile strength over 2200 MPa.

Keywords: Maraging steel; 03Ni18Co9Mo5TiAl alloy steel; High strength martensitic steel; Heat treatment of maraging steel; Aging martensitic steel.