

NGHIÊN CỨU VỀ SỰ THAY ĐỔI CƠ TÍNH HỢP KIM TITAN KHI XỬ LÝ NHIỆT

STUDY ON CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM ALLOY BY HEAT TREATMENT

¹Nguyễn Anh Xuân, ²Vũ Anh Quang

¹Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam, Hải Phòng, Việt Nam

²Cục An ninh kinh tế - Bộ Công An
nguyenanhxuan@vimaru.edu.vn

Tóm tắt: Thông qua kết quả nghiên cứu, tác giả đã trình bày sự biến đổi cơ tính của hợp kim titan khi xử lý nhiệt. Ngoài ra bài báo đã phân tích được ảnh hưởng của các pha α và β đến cơ tính của hợp kim. Bài báo cũng đã phân tích được về tính chất của các pha xuất hiện trong hợp kim Titan. Với chế độ xử lý nhiệt phù hợp giới hạn bền, giới hạn chảy và độ bền mỏi của hợp kim lần lượt là 150; 140 và 120 KG/mm². Ngoài ra modul đàn hồi của hợp kim cũng tăng lên một cách đáng kể đạt tới 11000 KG/mm².

Từ khóa: Hợp kim Ti; giới hạn bền; giới hạn chảy; độ bền mỏi; modul đàn hồi

Chỉ số phân loại: 2.3

Abstract: Through the results of research, the author presented the mechanical properties of titanium alloy when the heat treatment process. In addition, the paper analyzed the effects of phases α and β on the mechanical properties of this alloy. The paper also analyzed the properties of the phases that appear in titanium alloys. With appropriate heat treatment mode, the limit of strength, yield limit and fatigue strength of the alloy is 150; 140 and 120 KG/mm². In addition, the elastic modulus of the alloy also increased significantly to 11000 KG/mm².

Keywords: Titanium alloy; strength limit, yield limit, fatigue strength

Classification number: 2.3

1. Giới thiệu

Vật liệu Ti và hợp kim Ti có những tính chất đặc biệt mà những kim loại hay hợp kim khác không có được như: Khối lượng riêng nhỏ; dễ biến dạng (độ dẻo cao); khả năng chống ăn mòn trong môi trường, có khả năng làm việc ở nhiệt độ cao.... Chính những tính chất đặc biệt này mà hợp kim Ti có thể sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp đặc biệt là những ngành đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cao như: Hàng không, quân sự, đóng tàu...[1-5].

Nhược điểm lớn nhất của vật liệu này chính là giá thành cao; quy trình công nghệ chế tạo phức tạp nên tính ứng dụng thực tiễn thấp.

Như đã nói ở trên, các loại hợp kim Titan là rất đa dạng và do đó khả năng ứng dụng cũng như nhiệt luyện là khác nhau. Trong thực tế, các hợp kim Titan công nghiệp đã và đang được sử dụng rộng rãi ở nước ta chủ yếu là các hợp kim Titan có thành phần tổ chức là ($\beta + \alpha$) tức là các hợp kim nhóm II và III, điều này là do [2,4 - 7,15]:

- Các hợp kim Titan này có giá thành khá phù hợp (mặc dù vẫn đắt hơn thép rất

hiều) nhưng vẫn có đầy đủ các tính chất quý báu của Titan;

- Đặc biệt là khả năng hóa bền nhờ áp dụng các công nghệ phù hợp rất hiệu quả. Đồng thời khả năng tạo tính dẻo, độ dai va đập nhờ nhiệt luyện cũng rất tốt [1,8 - 10].

Nhìn chung, trên thế giới và ở nước ta việc nghiên cứu về chuyển pha cũng như quy trình xử lý nhiệt của hợp kim này là còn ít. Công trình có tính chất thống kê và phân tích về hệ hợp kim này lại không nhiều. Ở Việt Nam hiện nay, hợp kim Titan đã bắt đầu ứng dụng khá phổ biến, đặc biệt là trong lĩnh vực công nghiệp quốc phòng. Vấn đề quan trọng nhất của chúng ta trong ứng dụng hợp kim Titan là lập và thực hiện các quy trình nhiệt luyện cho những hợp kim Titan cụ thể đang sử dụng để khai thác được triệt để tiềm năng của vật liệu. Do đó việc nghiên cứu về Titan và hợp kim Titan, đặc biệt là nhiệt luyện các hợp kim Titan cụ thể là một vấn đề cấp thiết.

Chính vì vậy, trong khuôn khổ bài báo này tác giả giới thiệu về cấu trúc pha của hợp kim Ti cũng như một số quy trình nhiệt luyện

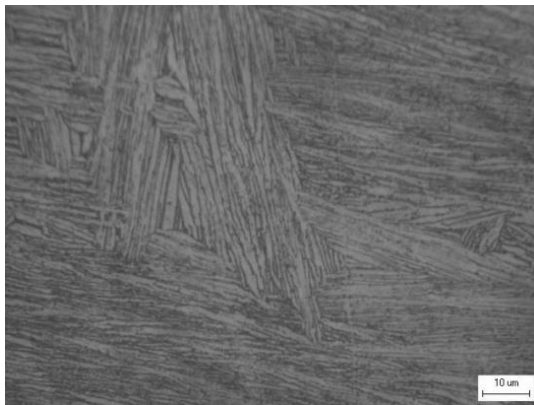
phổ biến của hệ hợp kim đang được nghiên cứu này.

2. Một số dạng pha của hợp kim

Tổ chức của hợp kim Ti phụ thuộc rất nhiều vào thành phần cũng như chế độ xử lý của hợp kim này. Tương tự như các hệ hợp kim khác, hợp kim Ti chỉ có thể xử lý nhiệt nếu có khả năng chuyển pha

2.1. Tổ chức một pha α

Đại diện cho hệ hợp kim này là các hợp kim được hợp kim hóa thêm Al. Ngoài ra, khi có xuất hiện một lượng nhỏ các nguyên tố như Mo, V trong hợp kim có thể hình thành pha β ; tuy nhiên sự xuất hiện của pha này không làm thay đổi điểm chuyển biến của dung dịch rắn Ti - α . Những hợp kim mà chỉ có một pha này sẽ có tính chất độ bền; độ dẻo ở nhiệt độ thấp là khá tốt; ngoài ra còn đảm bảo được tính hàn của hệ hợp kim nghiên cứu [11-14,16].



Hình 1. Hợp kim một pha α .

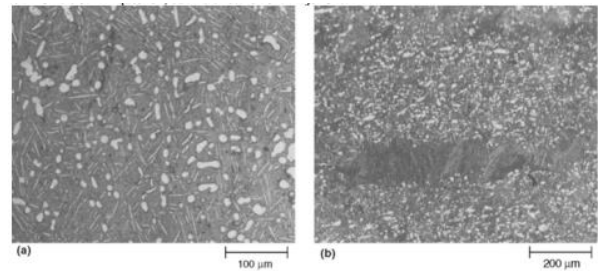
2.2. Tổ chức hai pha α và β với tỷ phần pha β thấp.

Hợp kim có dạng này trong tổ chức thường có khoảng 2% β - ổn định. So sánh với hợp kim chỉ có một pha α ; hợp kim này đảm bảo được tính công nghệ gia công áp lực. Sau biến dạng, hợp kim này có cơ tính tốt, đảm bảo làm việc trong điều kiện cụ thể. Điều này được lý giải do có sự xuất hiện của pha β [12,13,16].

2.3. Tổ chức hai pha α và β với tỷ phần pha β cao.

Đại diện cho nhóm này là những hợp kim có tỷ phần pha β lớn hơn 2%. Những hợp kim này có độ bền tốt không chỉ ở nhiệt độ phòng mà cả ở nhiệt độ cao. Khả năng biến dạng dẻo được nâng cao khi chi tiết được ủ trong điều kiện hợp lý. Ngoài ra khi áp dụng tôi và hóa

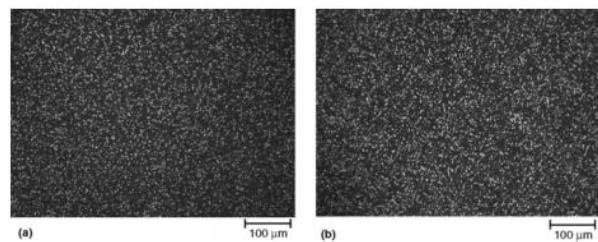
già hợp kim đảm bảo được độ bền đặc biệt là độ bền ở nhiệt độ cao. Đây là nhóm hợp kim thể hiện được tính ưu việt của hợp kim Ti [2, 3, 14, 16].



Hình 2. Hợp kim hai pha với hàm lượng β lớn.

2.4. Tổ chức một pha β

Nhóm hợp kim này có tổ chức hoàn toàn β hoặc phần lớn là pha β (trên 90%). Nhóm này có độ dẻo cao; khả năng biến dạng và gia công áp lực tốt. Hơn nữa nếu những hợp kim có thêm pha α ở trong hợp kim mà áp dụng quy trình xử lý nhiệt phù hợp thì cơ tính của hợp kim được cải thiện một cách đáng kể [15].



Hình 3. Tổ chức phân tán pha α trên nền β hợp kim Ti sau xử lý nhiệt.

3. Yếu tố ảnh hưởng đến xây dựng chế độ xử lý nhiệt

Cũng giống như với thép, các dạng nhiệt luyện áp dụng cho hợp kim Titan bao gồm đầy đủ từ ủ, tôi, ram và hóa già cũng như hầu hết các phương pháp hóa nhiệt luyện ngoại trừ thấm cacbon.

Tuy nhiên do đặc điểm cấu trúc tính chất và loại hình vật liệu kết cấu chủ yếu là dạng tấm mỏng nên khi áp dụng các dạng nhiệt luyện hợp kim Titan có một số đặc điểm sau:

- Các phương pháp ủ hợp kim Titan như ủ kết tinh lại hay ủ có chuyển biến pha tuy đều có mục đích chính là ổn định hóa tổ chức nhưng không giống như ủ thép. Chúng đều có hiệu quả hóa bền với mức độ khác nhau;

- Công nghệ tôi hợp kim Titan có hiệu quả khác nhau với từng nhóm hợp kim Titan. Chủ yếu chỉ các hợp kim Titan có tổ chức ($\beta + \alpha$) là có hiệu quả hóa bền tốt nhất, còn nhóm hợp

kim 100% α và 100% β khi tôi không có chuyển biến Mactenxit do đó hiệu quả hóa bền là không cao;

- Công nghệ ram với hợp kim Titan sau khi tôi luôn kèm theo sự hóa bền, vì vậy về bản chất chúng là công nghệ hóa già. Tuy nhiên thời gian của hóa già hợp kim Titan ngắn hơn rất nhiều so với hóa già hợp kim nhôm. Điều này đôi lúc dẫn đến bị hiểu sai là công nghệ ram.

Việc tôi hợp kim Titan theo các nghiên cứu của cơ quan hàng không vũ trụ Mỹ, hầu như chỉ áp dụng một môi trường nguội là nước, các kết quả nghiên cứu của Nga cũng tương tự như vậy.

Nhiệt độ nung phải đảm bảo trong vùng tổ chức có ($\beta + \alpha$), nhưng không đến giai đoạn 100% β do giảm đột ngột độ bền và tăng khả năng oxy hóa. Do đó khoảng giới hạn của nhiệt độ nung tốt nhất là cỡ ($675 \div 800$)⁰C. Nếu hàm lượng nhôm trong hợp kim tăng lên thì nhiệt độ cũng tăng tương ứng.

- Môi trường tôi chủ yếu là trong nước, tuy nhiên nếu kết cấu mỏng, dễ biến dạng có thể tôi trong không khí. Khi đó tỷ lệ pha β dư sẽ tăng lên làm tăng tính dẻo cho sản phẩm, đồng thời làm giảm độ bền;

- Hóa già nên tiến hành ở 480⁰C khi đó hợp kim sẽ được hóa bền nhờ quá trình tiết ra α từ pha β ;

- Làm nguội khi hóa già chủ yếu là trong không khí tĩnh, khi yêu cầu năng suất cao có thể nguội trong nước;

- Khi hóa già ở nhiệt độ thấp hơn (< 430⁰C) và thời gian giữ nhiệt lâu sẽ dẫn tới tiết ra pha chuyển tiếp ω làm tăng tính giòn.

4. Sự thay đổi cơ tính của hợp kim BT15 sau xử lý nhiệt

Hiện nay có nhiều mác hợp kim Titan ($\beta + \alpha$) nhưng được dùng nhiều nhất là BT15 với thành phần như sau:

Bảng 1. Thành phần hóa học hợp kim BT15.

NTHK	Al (%)	V (%)	Mo (%)	Cr (%)	Si (%)
BT15	3,5 ÷ 4,5	0,7 ÷ 1,5	2,5 ÷ 3,5	0,5 ÷ 0,7	0,25

Trên cơ sở khảo sát hợp kim Titan BT15 theo các nghiên cứu của Nga ta có các kết quả như sau:

Chế độ nhiệt luyện:

- Công nghệ Tôi:

+ Nhiệt độ nung tôi: 800⁰C;

+ Tốc độ nguội: > 3⁰C / giây;

+ Môi trường nguội: H₂O;

- Công nghệ Hóa già:

+ Nhiệt độ nung hóa già: ($475 \div 480$)⁰C;

+ Thời gian giữ nhiệt: (10 ÷ 25) giờ.

Kết quả thu được: Sau khi nhiệt luyện hàng loạt mẫu thử, các mẫu được đem kiểm tra chất lượng chủ yếu thông qua cơ tính của vật liệu sau khi nhiệt luyện. Các kết quả được cho trên bảng 2

Bảng 2. Cơ tính của hợp kim Titan sau nhiệt luyện theo quy trình thực.

Chi tiêu cơ tính của hợp kim	BT15
Giới hạn bền σ_b [KG/mm ²]	130 ÷ 150
Giới hạn chảy σ_{ch} [KG/mm ²]	118 ÷ 140
Giới hạn bền mỏi σ_{-1} [KG/mm ²]	100 ÷ 120
Mô đun đàn hồi E [KG/mm ²]	11000
Độ giãn dài tương đối δ [%]	3 ÷ 3,5
Độ dai va đập a_K [KG.m/cm ²]	3 ÷ 5

Từ kết quả thu được, so sánh với cơ tính ban đầu của hợp kim Titan ở trạng thái ủ sau khi sản xuất ta thấy có một số đặc điểm nổi bật sau:

- Hiệu quả hóa bền khi nhiệt luyện các hợp kim Titan nhóm có tổ chức ($\beta + \alpha$) đạt được rất cao (tăng xấp xỉ 2 lần), đặc biệt là cả độ bền mỏi. Do đó với hợp kim Titan nhóm này, việc nhiệt luyện với mục đích tăng bền là cực kỳ hiệu quả;

- Giá trị độ bền tuyệt đối đạt cũng rất cao (lớn hơn nhiều so với thép kết cấu) điều này giúp cho sử dụng không yêu cầu phải tăng độ

dày vật liệu, làm giảm đáng kể khối lượng, kích thước sản phẩm;

- Với khối lượng riêng của Titan nhỏ (cỡ 4,5 g/cm³) lại có độ bền rất cao nên đạt được giá trị độ bền riêng rất tốt do đó vô cùng hiệu quả cho vật liệu hàng không, vũ trụ và hàng hải;

- Các chỉ số về độ dẻo và độ dai va đập có giảm nhưng không đáng kể, về cơ bản vẫn giữ được như sau khi sản xuất.

Áp dụng kết quả nhiệt luyện thử nghiệm ở trên vào quá trình nhiệt luyện hợp kim Titan BT15 khi hàn thu được kết quả như sau:

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm cơ tính và đặc tính công nghệ hợp kim Ti ở các chế độ khác nhau.

Chế độ nhiệt luyện	Góc uốn (°)		Giới hạn bền uốn (KG/mm ²)	
	Cơ sở	Đường hàn	Cơ sở	Đường hàn
Không nhiệt luyện	70 ÷ 120	80 ÷ 150	60 ÷ 64	61 ÷ 67
Ủ ở (800 ÷ 815) ⁰ C	70 ÷ 120	70 ÷ 120	68 ÷ 75	66 ÷ 70
Nhiệt luyện theo quy trình	50 ÷ 60	60 ÷ 80	130 ÷ 140	115 ÷ 130

Từ kết quả trên ta thấy: Việc nhiệt luyện theo quy trình đã lập đạt hiệu quả hóa bền tốt cho cả môi hàn hợp kim Titan (ứng dụng hàn tự động dưới lớp thuốc). Sự chênh lệch cơ tính giữa vùng môi hàn và cơ sở là không đáng kể, tuy có sự suy giảm về góc uốn cho phép nhưng do quá trình nhiệt luyện là sau khi đã tạo hình sản phẩm nên ảnh hưởng này không quan trọng. Từ những phân tích về cơ tính của hợp kim sau khi xử lý nhiệt cho thấy giới hạn bền uốn; modul đàn hồi, giới hạn bền mỏi của hợp kim tăng lên gấp từ 2 đến 3 lần so với trạng thái không xử lý nhiệt. Các yếu tố về chỉ tiêu công nghệ hàn đáp ứng được yêu cầu của các chi tiết máy.

5. Kết luận

Thông qua kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng quá trình xử lý nhiệt đến tính chất của

hợp kim Titan nhóm tác giả có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Áp dụng quy trình xử lý nhiệt hợp lý giúp làm tăng cơ tính cũng như chất lượng môi hàn của hợp kim Titan;

- Phân tích thấy được vai trò của các pha trong hợp kim để làm thay đổi cơ tính theo tính chất mong muốn;

- Xây dựng được một quy trình xử lý nhiệt phù hợp trong điều kiện thực tế □

Tài liệu tham khảo

- [1] de Groot K, Geesink R, Klein CP, Serekian P. Plasma sprayed coatings of hydroxylapatite. J Biomed Mater Res 1987;21(12):1375-81.
- [2] Geesink RG, de Groot K, Klein CP. Chemical implant fixation using hydroxyl-apatite coatings. The development of a human total hip prosthesis for chemical fixation to bone using hydroxylapatite coatings on titanium substrates. Clin Orthop Relat Res 1987;(225):147-70.
- [3] Kitsugi T, Nakamura T, Oka M, Senaha Y, Goto T, Shibuya T. Bone-bonding behavior of plasma-sprayed coatings of BioglassR, AW-glass ceramic, and tricalcium phosphate on titanium alloy. J Biomed Mater Res 1996;30(2):261-9.
- [4] Takatsuka K, Yamamuro T, Kitsugi T, Nakamura T, Shibuya T, Goto T. A new bioactive glass ceramic as a coating material on titanium alloy. J Appl Biomater 1993;4(4):317-29.
- [5] Klein CP, Patka P, van der Lubbe HB, Wolke JG, de Groot K. Plasma-sprayed coatings of tetracalciumphosphate, hydroxylapatite, and alpha-TCP on titanium alloy: an interface study. J Biomed Mater Res 1991;25(1):53-65.
- [6] Overgaard S, Soballe K, Josephsen K, Hansen ES, Bunger C. Role of different loading conditions on resorption of hydroxyapatite coating evaluated by histomorphometric and stereological methods. J Orthop Res 1996;14(6):888-94.
- [7] Kangasniemi IM, Verheyen CC, van der Velde EA, de Groot K. In vivo tensile testing of fluorapatite and hydroxylapatite plasma-sprayed coatings. J Biomed Mater Res 1994;28(5):563-72.
- [8] Wang XX, Hayakawa S, Tsuru K, Osaka A. Improvement of bioactivity of H(2)O(2)/TaCl(5)-treated titanium after subsequent heat treatments. J Biomed Mater Res 2000;52(1):171-6.
- [9] Nishio K, Neo M, Akiyama H, Nishiguchi S, Kim HM, Kokubo T, et al. The effect of alkali- and heat-treated titanium and apatite-formed titanium on osteoblastic differentiation of bone marrow cells. J Biomed Mater Res 2000;52(4):652-61.
- [10] Kim HM, Takadama H, Miyaji F, Kokubo T, Nishiguchi S, Nakamura T. Formation of bioactive functionally graded structure on Ti-6Al-

- 4V alloy by chemical surface treatment. *J Mater Sci Mater Med* 2000;11(9):555-9.
- [11] Wang XX, Hayakawa S, Tsuru K, Osaka A. A comparative study of in vitro apatite deposition on heat-, H₂O(2)-, and NaOH-treated titanium surfaces. *J Biomed Mater Res* 2001;54(2):172-8.
- [12] Kaneko S, Tsuru K, Hayakawa S, Takemoto S, Ohtsuki C, Ozaki T, et al. In vivo evaluation of bone bonding of titanium metal chemically treated with a hydrogen peroxide solution containing tantalum chloride. *Biomaterials* 2001;22(9):875-81.
- [13] Wang XX, Yan W, Hayakawa S, Tsuru K, Osaka A. Apatite deposition on thermally and anodically oxidized titanium surfaces in a simulated body fluid. *Biomaterials* 2003;24(25): 4631-7.
- [14] Zhao JM, Tsuru K, Hayakawa S, Osaka A. Modification of Ti implant surface for cell proliferation and cell alignment. *J Biomed Mater Res A* 2008;84(4):988-93.
- [15] Rakngarm A, Miyashita Y, Mutoh Y. Formation of hydroxyapatite layer on bioactive Ti and Ti-6Al-4V by simple chemical technique. *J Mater Sci Mater Med* 2008;19(5):1953-61.
- [16] Wang XX, Hayakawa S, Tsuru K, Osaka A. Bioactive titania-gel layers formed by chemical treatment of Ti substrate with a H₂O₂/HCl solution. *Biomaterials* 2002;23(5):1353-7

Ngày nhận bài: 2/4/2019

Ngày chuyển phản biện: 5/4/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 26/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 3/5/2019
