

ESTUDO DE OXIDAÇÃO EM DIFERENTES ESTRUTURAS OBTIDAS NA LIGA Ti-6Al-4V ¹

*Luiz Daniel Cortez²
Douglas de Jesus Pinto³
Luciana A. N. Silva Briguento⁴
Danieli A. P. Reis⁵
Francisco Piorino Neto⁶
Miguel Justino Ribeiro Barboza⁷*

Resumo

A liga Ti-6Al-4V foi submetida a diferentes condições de tratamentos térmicos para avaliação de diferentes tipos de microestrutura no material, visando obtenção das estruturas de Widmanstätten e Martensita. Para a obtenção da estrutura de Widmanstätten, as amostras foram submetidas à temperatura de 1050°C por 30 minutos, com resfriamento ao forno até a temperatura de 700°C (6°C/min), mantendo-se esta temperatura por 1 hora seguido de resfriamento ao ar. Para a obtenção da estrutura Martensita, as amostras foram aquecidas à temperatura de 1050°C por 1 hora, seguido de resfriamento em água. Nas ligas tratadas termicamente, foi estimada a microestrutura menos sensível à oxidação, por meio de estudos envolvendo análises microestruturais e estudos de microdureza. Os resultados obtidos sugeriram que a estrutura de Widmanstätten caracteriza a condição de maior resistência à oxidação e, eventualmente, está associado a dificuldades relacionadas à difusão de solutos na matriz α ou aos mecanismos para auto-difusão.

Palavras-chave: Ti-6Al-4V; Oxidação; Microestrutura.

STUDY OF OXIDATION OF DIFFERENT STRUCTURES IN THE Ti-6Al-4V ALLOY

Resumo

The Ti-6Al-4V alloy was submitted to different conditions of thermal treatment to evaluation of material microstructure with Widmanstätten and Martensita structures. To obtain of Widmanstätten structure, the samples were treated at 1050°C during 30 minutes, with cooling in the furnace until 700°C (6°C/min), holding this temperature for 1 hour followed air-cooling. To obtain the Martensita structure, the samples were treated at 1050°C during 1 hour followed water-cooling. In the alloys thermal treated were estimated the microstructure lower sensitive to oxidation, using microstructural analysis and microhardness study. The results obtained suggest the Widmanstätten structure had higher oxidation resistance and this fact could be associated to the difficulties associated to the solutes diffusion in α matrix or self-diffusion mechanisms.

Key words: Ti-6Al-4V; Oxidation; Microstructure.

¹ *Contribuição técnica ao 63° Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1° de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Aluno de Iniciação Científica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos – SP*

³ *Aluno de Iniciação Científica da Divisão de Materiais – AMR/IAE/CTA – São José dos Campos, SP*

⁴ *Aluna de Mestrado do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos, SP*

⁵ *Pesquisadora do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos – SP – danielireis@hotmail.com*

⁶ *Pesquisador da Divisão de Materiais – AMR/IAE/CTA – São José dos Campos – SP.*

⁷ *Pesquisador do Departamento de Engenharia de Materiais – Escola de Engenharia de Lorena – DEMAR/EEL/USP – Lorena – SP.*

1 INTRODUÇÃO

Materiais com comportamento adequado em temperaturas elevadas e ambientes agressivos tornaram-se necessidades científicas, tecnológicas e economicamente viáveis, nos dias de hoje. Estudos têm sido realizados, independentemente de objetivos comerciais, para o aprimoramento na obtenção de novas ligas e, em particular, para a reavaliação de ligas comerciais já existentes, por meio da aquisição de dados em condições de maior severidade.^[1-4] A afinidade do titânio por oxigênio é um dos principais fatores que limitam a aplicação de suas ligas como materiais estruturais em altas temperaturas. A oxidação resulta na perda de material pelo crescimento na camada de óxido e endurecimento da liga pela dissolução de oxigênio.^[5] Apesar dos notáveis avanços no desenvolvimento de ligas de titânio com alta resistência à tração, ductilidade e resistência à fluência em altas temperaturas, problemas com oxidação limitam o uso dessas ligas em temperaturas superiores a 600°C.^[6]

O comportamento de metais e ligas durante deformação em altas temperaturas é complexo e muda com parâmetros de processamentos termomecânicos e com as condições de trabalho. Pesquisas extensivas têm sido feitas em metais cúbicos de face centrada (CFC) e cúbicos de corpo centrado.^[7-9] Entretanto, a resposta da alta taxa de deformação e alta temperatura de metais hexagonais compactos, particularmente ligas, permanece investigada de forma incipiente.^[7-9]

A liga Ti-6Al-4V é a mais importante das ligas de titânio usadas em engenharia, combinando propriedades atrativas com trabalhabilidade. Tem sido muito utilizada nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, particularmente para aplicações que requerem resistência em alta temperatura.^[8] Com o propósito de se projetar novas ligas de titânio com melhores propriedades, e para otimizar as condições de processamento de forjamento à quente da liga Ti-6Al-4V, é necessário entender os mecanismos associados à deformação, sob temperaturas elevadas.^[10]

Revestimentos de proteção que servem como barreiras à ação de oxigênio seriam, em princípio, passíveis de serem usados em ligas de titânio por longos tempos em altas temperaturas. Todavia, problemas de aderência durante o ciclo térmico e a difusão dos elementos do recobrimento no substrato são as atuais dificuldades encontradas na pesquisa destes materiais.^[6]

O objetivo deste trabalho é o estudo das ligas de titânio tratadas termicamente com diferentes microestruturas, visando obtenção das estruturas de Widmanstätten e Martensita, visto a necessidade de estudo da oxidação e resistência em materiais estruturais em temperaturas elevadas e condições de maior severidade.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A liga Ti-6Al-4V recozida foi submetida a três diferentes condições de tratamentos térmicos para avaliação de diferentes tipos de microestrutura no material, visando obtenção das estruturas de Widmanstätten e Martensita.

O tratamento térmico consistiu no encapsulamento a vácuo dos corpos-de-prova em tubos de quartzo com diâmetro interno de 21 mm, colocados em um forno tubular Lindberg/blue-M modelo STF 54434C, sob atmosfera de argônio. Para a obtenção da estrutura de Widmanstätten as amostras foram submetidas à temperatura de 1.050°C por 30 minutos, com resfriamento ao forno até a temperatura de 700°C (6°C/min), mantendo-se esta temperatura por 1 hora seguido de resfriamento ao ar.

Para a obtenção da estrutura Martensita, as amostras foram aquecidas à temperatura de 1.050°C por 1 hora, seguido de resfriamento em água. Para a obtenção da estrutura Bimodal, as amostras foram aquecidas a 950°C na região $\alpha+\beta$ por 1 hora seguido de resfriamento rápido em água. Logo após, foi envelhecida por 24 horas a 600c e resfriada ao ar.

As ligas tratadas termicamente foram aquecidas em forno ao ar por 48h nas temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C e 800°C, em seguida foi estimada a microestrutura menos sensível à oxidação, por meio de estudos envolvendo análises microestruturais e estudos de microdureza. Utilizou-se um microscópio óptico Leica modelo DMRXP e um microdurômetro da marca Futuretech modelo FM com carga de 300 gF.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta uma micrografia por microscopia óptica da liga Ti-6Al-4V como recebida. Observam-se grãos α (HC) e regiões escuras que definem a presença da fase β (CCC) ao longo dos contornos de grão.

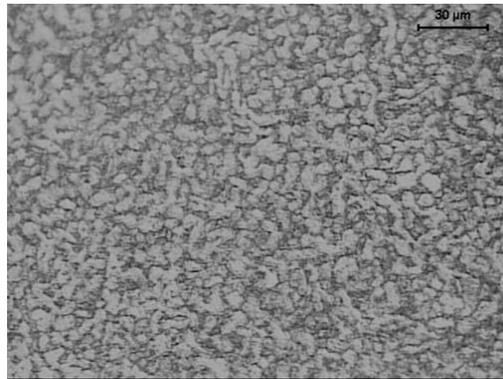


Figura 1 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V como recebida.

As Figuras 2 e 3 obtidas via microscópio óptico apresentam as estruturas obtidas nos tratamentos térmicos. Pôde-se observar que a estrutura de Widmanstätten apresentou maior tamanho médio de grão, em torno de 395 μm , podendo desta forma, ocasionar uma maior resistência à oxidação da liga, pois quanto maior o tamanho de grão menor será a energia de ativação presente no contorno de grão e com isso o material reagirá menos com o meio. Os valores de microdureza e ganho de massa ajudarão na conclusão da estrutura que será mais resistente a oxidação.

A Tabela 1 apresenta os valores de microdureza obtidos para as estruturas obtidas nos tratamentos térmicos.

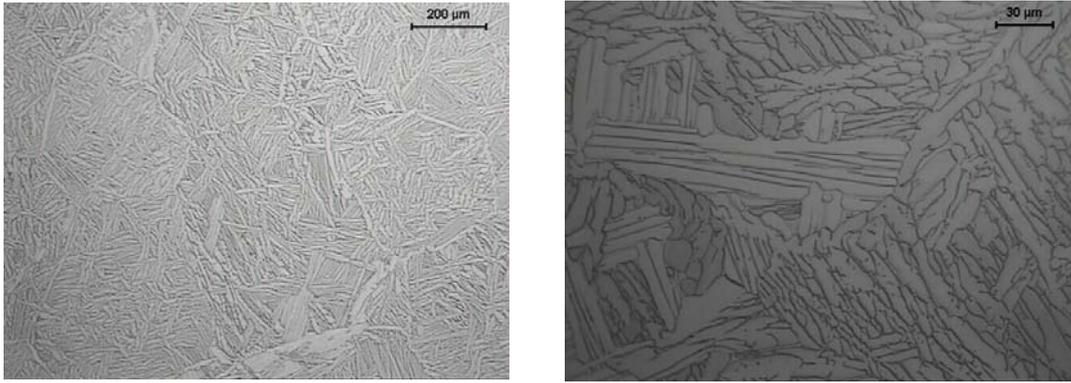


Figura 2 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V com estrutura de Widmanstätten.

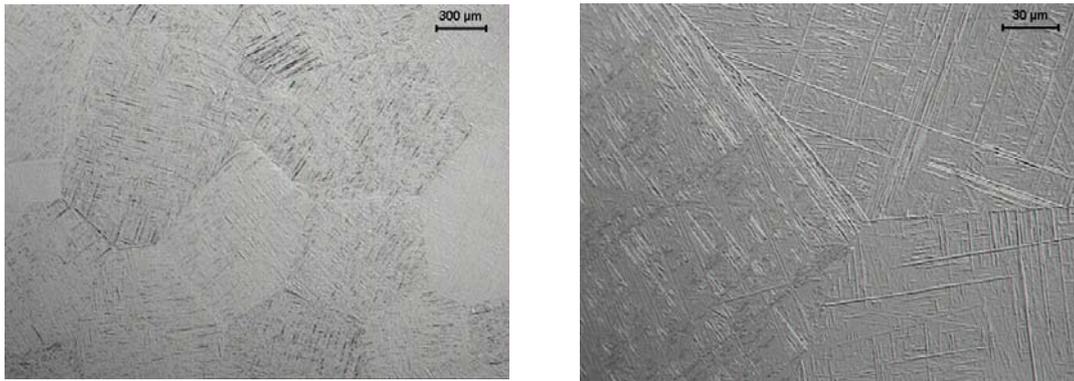


Figura 3 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V com estrutura Martensita.

Tabela 1 – Medidas de microdureza para as estruturas obtidas por tratamento térmico.

Estrutura	Microdureza (HV)
Como recebida	362,2 ± 5,4
Widmanstätten	325,4 ± 6,4
Martensita	426,0 ± 4,9

O oxigênio difundido na liga aumenta a sua dureza; a quantidade de oxigênio é proporcional a dureza no titânio e pode ser estimada por medidas de microdureza.^[11] O metal se combina com oxigênio para formar uma longa série de óxidos, de TiO to Ti₇O₁₂.^[12,13] Pela observação dos valores de microdureza pôde-se considerar a estrutura de Widmanstätten como a mais resistente à oxidação. Este aspecto deverá ser melhor analisado futuramente por difração de raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura, com o objetivo de se obter os tipos de óxidos formados e se estimar a espessura da camada óxida formada.

4 CONCLUSÕES

Observaram-se grãos α (HC) e regiões escuras que definem a presença da fase β (CCC) ao longo dos contornos de grão da liga Ti-6Al-4V como recebida por microscopia óptica. Pôde-se também observar que a estrutura de Widmanstätten apresentou maior tamanho médio de grão, em torno de 395 μm . Pela observação dos valores de microdureza pôde-se considerar a estrutura de Widmanstätten como a mais resistente à oxidação. Os resultados obtidos sugerem que a estrutura de Widmanstätten caracteriza a condição de maior resistência à oxidação e, eventualmente, está associado a dificuldades relacionadas à difusão de solutos na matriz α ou aos mecanismos para auto-difusão.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro (Proc. 06/01253-6).

REFERÊNCIAS

- 1 McQUEEN, H.J., *Mater. Sci. Eng. A* 101 (1988) 149.
- 2 SAKAI, T., OHASHI, M., CHIBA, K., *Acta Metall* 36, (1988) 1781.
- 3 BARRACLOUGH, D.R., SELLARS, C.M., *Inst. Phys. Conf. Ser.*21 (1974) 974.
- 4 LEE, W.S., LIN, C.F., *Journal of Materials Processing Technology* 75 (1998) 127-136.
- 5 WELSCH G., KAHVECI A. I. In T. Grobstein and J. Doychak (eds.), *Oxidation of High- Temperature Intermetallics TMS*, Warrendale, PA (1988) 207.
- 6 KEARNS, M.W., RESTALL, J.E. *Sixth World Conf. On titanium*, Cannes (1988) paper SU8, p.396, Les Editions de Physique, Les Ulis.
- 7 MCQUEEN, H. J., *Mater. Sci. Eng. A* 101 (1988) 149.
- 8 SAKAI, T., OHASHI, M., CHIBA, K., *Acta Metall* 36 (1988) 1781.
- 9 BARRACLOUGH, D. R., SELLARS, C. M., *Inst. Phys. Conf. Ser.*21 (1974) 166.
- 10 LEE, W. S., LIN, C. F., *Journal of Materials Processing Technology* 75 (1998).
- 11 PITT, F., RAMULU, M., *JMEPEG* 13 (2004).727-734.
- 12 ABKOWITZ, S.; BURKE, J. J.; HILTZ Jr., R. H. *Technology of Structural Titanium*. New York: D. Van Nostrand Company, (1955).31-32.
- 13 QUESNER, C., DUONG, C., CHARPENTIER, F., FRIE`S, J. F. and LACOMBE, P. *J. Less Common Metal*.68 (1979) 133.