

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA LIGA Ti-6Al-4V APÓS TRATAMENTO TÉRMICO¹

Luiz Daniel Cortez²
Luciana A. N. Silva Briguento³
Danieli A. P. Reis⁴
Francisco Piorino Neto⁵
Carlos de Moura Neto⁶

Resumo

Neste trabalho são estudados os diferentes tipos de estruturas obtidas por diferentes tratamentos térmicos da liga Ti-6Al-4V. As principais condições consideradas para os tratamentos foram aquecimento, tempo de permanência, atmosfera e velocidade de resfriamento. Nos tratamentos realizados foi utilizado gás argônio, a temperatura variou de 600°C a 1050°C, o tempo de permanência variou de 30 min a 24h e a velocidade de resfriamento variou de 6°C/min ao forno até resfriamento rápido em água. As estruturas obtidas foram analisadas por Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A caracterização microestrutural teve o objetivo de determinar as fases existentes, incluindo a caracterização e quantificação das inclusões presentes, além de permitir posteriormente um estudo mais detalhado da influência da microestrutura na resistência à fluência ao ar da liga selecionada (Ti-6Al-4V).

Palavras-chave: Caracterização microestrutural; Ti-6Al-4V; Tratamento térmico.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Ti-6Al-4V ALLOY AFTER THERMAL TREATMENT

Abstract

In this work different types of structures were obtained by different thermal treatments of the Ti-6Al-4V alloys. The main conditions considered for the treatments had been heating, time of permanence, atmosphere and speed of cooling. In the treatments realized was used argon gas, the temperature varied of 600°C to 1050°C, the time of permanence varied of 30min to 24h and the cooling speed varied of 6°C/min inside the furnace to fast cooling in water. The structures obtained were analyzed by Optical Microscopy and Scanning Electronic Microscopy (SEM). The microstructural characterization had the objective to determine the present phases, including the characterization and determination of the present inclusions, beyond study more the influence of the microstructure in the creep strength to the air of the selected alloy (Ti-6Al-4V). After thermal treatment and microstructure characterization the alloy in the creep resistance of the Ti-6Al-4V alloy.

Key words: Microstructural characterization; Ti-6Al-4V; Thermal treatment.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º 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 Aluna de Mestrado do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos – SP

⁴ Pesquisadora do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos – SP

⁵ Pesquisador da Divisão de Materiais – AMR/IAE/CTA – São José dos Campos – SP.

⁶ Professor Associado I do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA/CTA – São José dos Campos – SP.

1 INTRODUÇÃO

A liga Ti-6Al-4V é a mais importante das ligas de titânio usadas em engenharia, combinando propriedades atrativas com trabalhabilidade e usinabilidade. Tem sido muito utilizada nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, particularmente para aplicações que requerem resistência em altas temperaturas.^[1] O alto ponto de fusão do titânio (1.678°C) foi utilizado como uma forte indicação de que a liga poderia ter uma boa resistência ao fenômeno de fluência sob uma determinada faixa de temperatura. Atualmente, a liga Ti-6Al-4V ocupa uma importante posição com relação aos materiais utilizados na indústria aeroespacial, com 80% – 90% do titânio sendo usado para esse fim.^[2]

O titânio e suas ligas em altas temperaturas se oxidam muito facilmente, causando uma dissolução intergranular de oxigênio acarretando em aumento da dureza e queda na resistência à fluência, isto se torna um problema de grandes proporções visto sua grande utilização na indústria aeroespacial.^[1]

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.^[3] A natureza da oxidação pode ter uma influência importante sobre as propriedades nas temperaturas de operação. Uma camada fina de óxido normalmente conduzirá a um aumento na resistência mecânica, mas a penetração intergranular do óxido geralmente implica em um decréscimo no tempo de ruptura por fluência e fratura intergranular. A vida em serviço de um material é bastante reduzida quando operar em atmosfera de combustão de gases quentes ou em meios corrosivos.^[4] Revestimentos de proteção que servem com barreiras à ação de oxigênio seriam, em princípio, passíveis de serem usados em ligas de titânio por longo tempo 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.^[5]

O método mais comum de se alterar microestruturas é através dos vários tipos de tratamentos térmicos, cada qual destinado a produzir uma estrutura específica.^[6] Por tratamento térmico compreende-se a operação de aquecer um material a uma dada temperatura e resfriá-lo após certo tempo, em condições determinadas com a finalidade de dar ao material propriedades especiais.^[7] Os principais fatores que devem ser levados em conta em um tratamento térmico são aquecimento, tempo de permanência à temperatura, resfriamento e atmosfera do local de aquecimento. O objetivo do tratamento térmico é alterar as características mecânicas e estruturais dos materiais em função da sua aplicação como aumento ou diminuição da dureza, aumento da resistência mecânica, melhoria da ductilidade, da usinabilidade, da resistência ao desgaste, das propriedades de corte, da resistência à corrosão, da resistência ao calor, modificação das propriedades elétricas e magnéticas.^[8]

Portanto, o estudo de fluência de ligas de titânio tratadas termicamente e com diferentes microestruturas obtidas após os tratamentos térmicos é um projeto inovador e representa um avanço tecnológico de grande magnitude, visto a necessidade de estudo de oxidação e resistência em materiais estruturais em temperaturas elevadas e condições de maior severidade.

A caracterização microestrutural da liga após ensaio de fluência será necessária para a compreensão dos mecanismos de fluência da liga Ti-6Al-4V.

Normalmente, cuidadosas preparações de superfície são necessárias para revelar os importantes detalhes da microestrutura. Após corte e embutimento, a super-

fície da amostra deve ser lixada e polida até um acabamento liso e especular. Isto é realizado pelo uso sucessivas lixas de carbeto de silício e de pós abrasivos (de alumina ou diamante). A microestrutura é revelada após um tratamento de superfície usando um reagente químico apropriado num procedimento chamado *ataque químico*.^[6]

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, Martensita e Bimodal.

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 1050°C por 30 minutos, com resfriamento ao forno até a temperatura de 700°C (6°C/min), mantendo-se esta temperatura por uma hora seguido de resfriamento ao ar. Para a obtenção da estrutura Martensita, as amostras foram aquecidas à temperatura de 1.050°C por uma hora, seguido de resfriamento em água. Para a obtenção da estrutura Bimodal, as amostras foram aquecidas a 950°C na região $\alpha+\beta$ por uma hora seguido de resfriamento rápido em água. Logo após, foi envelhecida por 24 horas a 600°C e resfriada ao ar.

As amostras foram preparadas para caracterização microestrutural através das técnicas usuais de metalografia, corte com serra para metais duros, embutimento em baquelite utilizando-se a embutidora de prensagem à quente modelo PRE-30 da marca Arotec a uma pressão de 150 kgf/cm², lixamento das amostras em uma lixadeira da marca Panambra com lixas à base de SiC na seqüência 100 Mesh, 200 Mesh, 320 Mesh, 400 Mesh, 500 Mesh e 600 Mesh, polimento com ácido oxálico (H₂C₂O₄), na mesma politriz onde foi realizado o lixamento porém houve uma troca de pratos pois o prato utilizado para o polimento é revestido por um pano próprio e ataque químico realizado por imersão por cerca de 20 segundos na solução de reagente Kroll (2%HF, 10%HNO₃ e 88%H₂O).

As amostras devidamente preparadas foram caracterizadas microestruturalmente através das técnicas de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens no MEV foram obtidas no modo elétrons retro-espalhados, cujo principal mecanismo de contraste está relacionado às diferenças de número atômico médio entre as fases presentes, e as principais características das superfícies de fratura. Foi utilizado microscópio óptico Leica modelo DMRXP, estereoscópio ZEISS modelo Stemi SV11 e microscópio eletrônico de varredura da marca LEO modelo 435 VPI pertencente à AMR/IAE/CTA. Também foi utilizado microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL modelo JFM-5310, pertencente ao LAS/INPE.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Tratamentos Térmicos

Nos tratamentos térmicos realizados foram obtidas estruturas diferentes, devido às condições empregadas em cada um deles. A Tabela 1 relaciona as condições de tratamento térmico e as respectivas estruturas obtidas.

Tabela 1: Relação entre condições de tratamento térmico e estrutura obtida.

Condições de tratamento térmico	Estrutura obtida
Aquecimento à 1050°C por 30 min; Resfriamento 6°C por minuto ao forno.	Widmanstätten
Aquecimento à 1050°C por 1h; Resfriamento em água.	Martensita
Etapa 1: Aquecimento à 950°C por 1h; Resfriamento em água Etapa 2: Aquecimento à 600°C por 24 h; Resfriamento ao ar.	Bimodal

3.2 Microscopia Óptica

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.

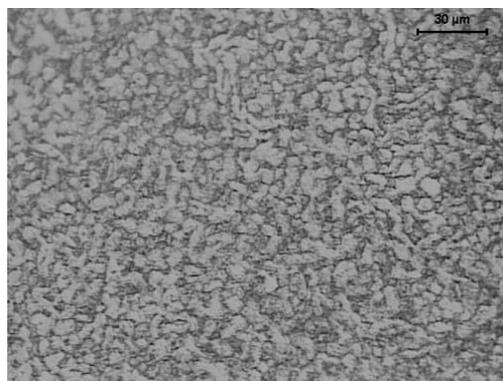


Figura 1 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V como recebida.

As imagens abaixo (Figuras 2 a 4), obtidas via microscópio óptico apresentam as estruturas obtidas nos tratamentos térmicos (Widmanstätten, Martensita e Bimodal). 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.

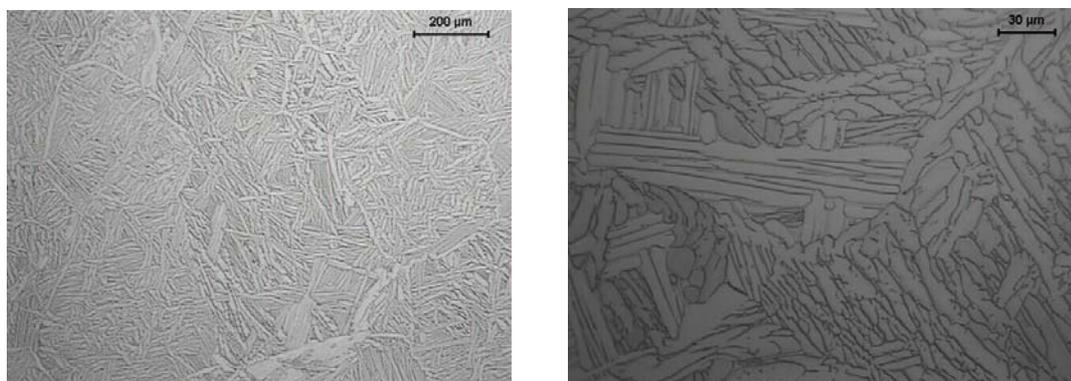


Figura 2 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V com estrutura de Widmanstätten.

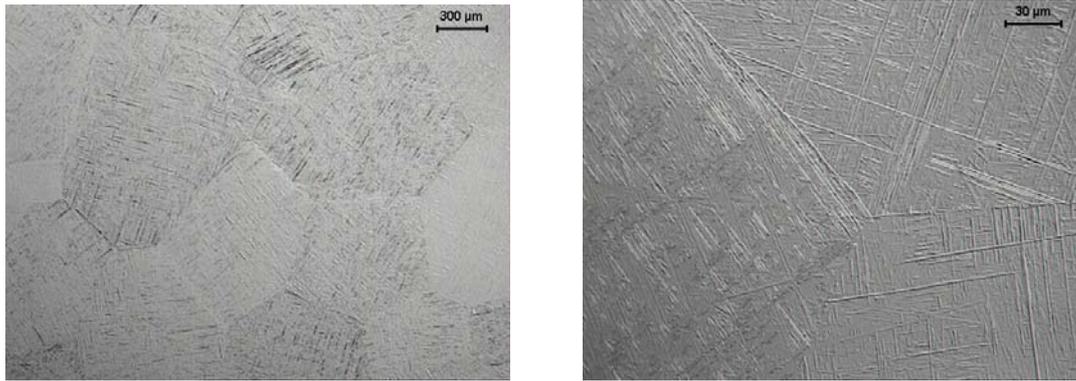


Figura 3 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V com estrutura Martensita.

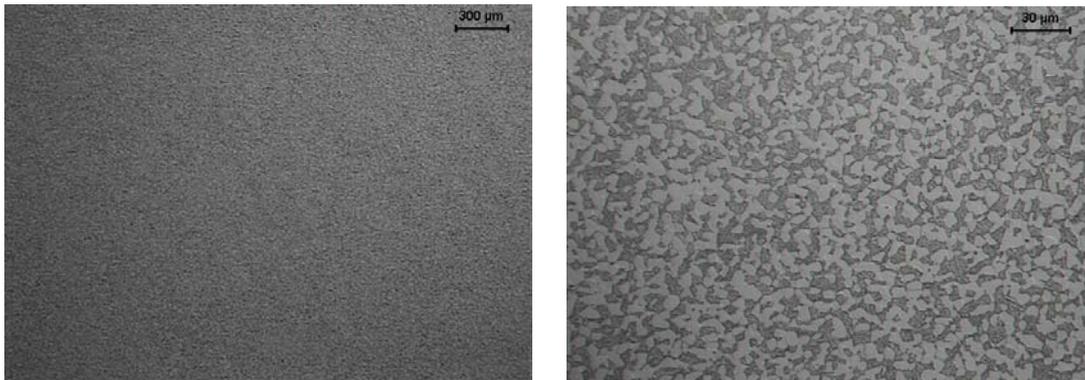


Figura 4- Micrografia da liga Ti-6Al-4V com estrutura Bimodal.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

As amostras foram analisadas em MEV e as imagens foram obtidas no modo elétrons retro espalhados. As Figuras 5 a 7 apresentam as imagens das estruturas obtidas em microscópio eletrônico de varredura.

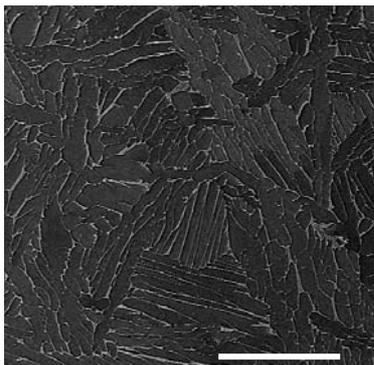


Figura 5 - Imagem de MEV estrutura de Widmanstätten.

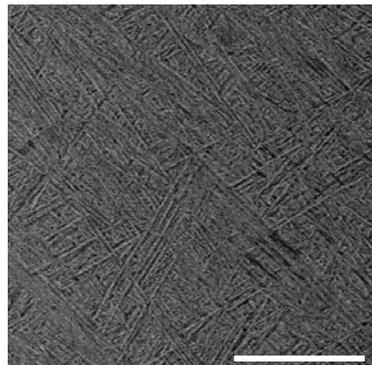


Figura 6- Imagem de MEV estrutura Martensita.

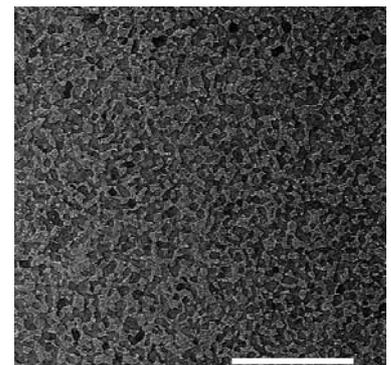


Figura 7- Imagem de MEV estrutura Bimodal.

4 CONCLUSÕES

Através destes experimentos, comprovou-se que a estrutura da liga Ti-6Al-4V pode ser alterada de maneira significativa quando tratada termicamente. Constatou-se que as estruturas obtidas pelos tratamentos térmicos variam conforme as condi-

ções de tratamento: aquecimento, tempo de permanência à temperatura, resfriamento e atmosfera do local de aquecimento.

Através das técnicas de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) pôde-se avaliar as diferentes estruturas obtidas da liga Ti-6Al-4V nos tratamentos térmicos realizados obtendo-se as estruturas de Widmanstätten, Martensita e Bimodal de forma satisfatória.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 07/02467-2).

REFERÊNCIAS

- 1 SAKAI, T., OHASHI, M., CHIBA, K., *Acta Metall*, v. 36, p.1781, 1988.
- 2 PEREZ, E.A.C. Influência da Microestrutura no Comportamento em Fluência da Liga Ti-6Al-4V. 2004. 122p. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)* – Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena, 2004..
- 3 WELSCH G., KAHVECI A. I. In T. Grobstein and J. Doychak (eds.), *Oxidation of High- Temperature Intermetallics TMS*, Warrendale, PA, p.207, 1988.
- 4 REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; BARBOZA, M.J.R.B.; PIORINO, F.; PEREZ, E.A.C.; SANTOS, D.R. The influence of high temperature exposure in creep of the Ti-6Al-4V alloy. : III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004. Belém, Pará. *Proceedings...* Belém: 2004. CD-ROM.
- 5 KEARNS, M.W., RESTALL, J.E. *Sixth World Conf. On titanium*, Cannes, 1988, paper SU8, p.396, Les Editions de Physique, Les Ulis, 1998.
- 6 CALLISTER, W. D. Jr., *Materials Science and Engineering: an introduction*, 5 ed. 2000, Wiley, New York.
- 7 Pereira, R. L.; Curso Tratamentos Térmicos dos Metais; Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo pp.55-56, pp. 311-312.
- 8 http://www.diferro.com.br/saiba_glossario.asp,2007