



CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA LIGA Ti-6Al-4V COM RECOBRIMENTOS OBTIDOS POR ASPERSÃO TÉRMICA APÓS ENSAIO DE FLUÊNCIA¹

Heric Ramos Silva²
Giovanni Franco Pasqualin³
Cátia Gisele Pinto²
Vinícius Prado de Oliveira²
Tarcila Sugahara⁴
Danieli Aparecida Pereira Reis⁵
Carlos de Moura Neto⁶
Miguel Justino Ribeiro Barboza⁷

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar microestruturalmente a liga Ti-6Al-4V recoberta por aspersão térmica de plasma. O recobrimento utilizado foi de zircônia parcialmente estabilizada com ítria (8% peso) (Metco 204B-NS) com CoNiCrAlY (AMDRY 995C), caracterizando um TBC ("Thermal Barrier Coating"). Testes de fluência com carga constante foram realizados na liga recoberta em níveis de tensão de 125 e 291 MPa a 600°C. Foi utilizada a técnica de microscopia eletrônica de varredura para análise da fratura sofrida pelo material e avaliação da microestrutura.

Palavras-chave: Caracterização microestrutural; Fluência; Ligas de titânio; Aspersão térmica por plasma.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Ti-6Al-4V WITH PLASMA SPRAYED COATING AFTER CREEP TEST

Abstract

The objective of this work was the microstructural characterization of Ti-6Al-4V with plasma sprayed coating. The coating used was zirconia partially yttria stabilized (8 wt%) (Metco 204B-NS) with CoNiCrAlY (AMDRY 995C), known as TBC ("Thermal Barrier Coating"). Creep tests with constant load were done in coated alloy in stress of 125 and 291 MPa at 600°C. The electronic microscopy was used to analyze the fracture of material.

Keywords: Microstructural characterization; Creep; Titanium alloy; Plasma sprayed coating.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Graduação, Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP.

³ Graduação, ETEP Faculdades.

⁴ Mestranda, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.

⁵ Doutora, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Sócia Titular da ABM.

⁶ Professor Associado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Sócio Titular da ABM.

⁷ Professor; Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP.



1 INTRODUÇÃO

A liga Ti-6Al-4V é normalmente utilizada na indústria aeronáutica e aeroespacial principalmente para aplicações que requerem resistência em altas temperaturas, como por exemplo, palhetas de turbina. Um dos principais fatores que limitam a aplicação dessas ligas em alta temperatura é a grande afinidade do titânio por oxigênio e as propriedades de resistência à fluência. O processo de oxidação superficial é mais significativo acima de 600°C, tornando o material torne mais frágil.

A oxidação pode ser evitada com a utilização de um recobrimento cerâmico no material, sendo depositado, pela técnica de aspersão térmica por plasma, zircônia parcialmente estabilizada com ítria (8% peso) (Metco 204B-NS) sobre um recobrimento metálico de CoNiCrAlY (AMDRY 995C).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar microestruturalmente a liga Ti-6Al-4V com recobrimento cerâmico submetidas a fluência a carga constante em níveis de tensão de 125 MPa e 291 MPa a 600°C.

1.1 A Liga Ti-6Al-4V

Titânio e suas ligas são excelentes para aplicações como componentes estruturais submetidos a altas temperaturas devido a sua alta resistência, baixa massa específica, boa resistência à corrosão e estabilidade metalúrgica. Uma parte substancial da pesquisa em fluência tem sido dedicada à liga Ti-6Al-4V devido a sua importância industrial e tecnológica. A sua alta resistência à fluência é de grande importância para uso em motores.⁽¹⁾ Entretanto, a afinidade com o oxigênio é um dos principais fatores que limitam sua aplicação como um material estrutural em altas temperaturas. A alta solubilidade sólida do oxigênio no titânio resulta na perda de material e na formação de uma camada frágil e de alta dureza durante a exposição ao ar em temperaturas elevadas. Têm sido observados avanços no desenvolvimento de ligas de titânio com o objetivo de aumentar as propriedades de fluência, embora a oxidação superficial limite o uso destas ligas a temperaturas superiores a 600°C.⁽²⁾

O titânio apresenta características interessantes distinguindo-se de outros metais leves, que é uma transformação de fase ocorrendo a 882°C na qual passa de uma estrutura hexagonal compacta (α) para uma cúbica de corpo centrado (β). Esta transformação alotrópica possibilita se obter ligas com microestruturas α , β ou mista α/β através de diferentes composições e tratamentos térmicos.⁽³⁾

A liga Ti-6Al-4V é a mais importante das ligas de titânio usadas em engenharia, combinando propriedades atrativas como trabalhabilidade e usinabilidade. Tem sido muito utilizada nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, particularmente para aplicações que requerem resistência em altas temperaturas.⁽⁴⁾ A liga, atualmente, ocupa uma importante posição com relação aos materiais utilizados na indústria aeroespacial, com 80% – 90% do titânio sendo usado para esse fim. O alto ponto de fusão (1.678 °C) foi utilizado como uma forte indicação de que a liga poderia apresentar boa resistência ao fenômeno de fluência sob uma determinada faixa de temperatura.⁽⁵⁾

1.2 Recobrimento Cerâmico

O recobrimento cerâmico consiste em uma camada de ligação (*bond coating*), recobrimento metálico, que protege o Ti-6Al-4V da oxidação e também possibilita a ligação do substrato metálico com o recobrimento cerâmico (*top coating*), também



chamado de recobrimento de barreira térmica (*Thermal Barrier Coatings – TBCs*) e são normalmente utilizados em turbinas de alta pressão para aumento do tempo de vida das palhetas e para aumento da eficiência de turbinas a gás.⁽⁶⁾ O recobrimento cerâmico reduz a temperatura do metal base e ameniza os picos de temperatura durante a operação da turbina. Para fornecer a adesão do recobrimento cerâmico no substrato e proteção contra oxidação é necessário uma camada intermediária metálica. Este recobrimento metálico deve formar um filme de proteção de um óxido, através do qual a permeabilidade do oxigênio seja baixa. Tanto a camada metálica quanto a cerâmica é depositada por aspersão térmica por plasma (plasma spraying). A aspersão térmica é um processo simples e prático. Deste modo, recobrimentos cerâmicos obtidos por este método têm se tornado bem estabelecidos como processos comerciais.⁽⁷⁾

1.3 Fluência

A fluência é definida como sendo a deformação permanente e dependente do tempo de materiais, quando submetidos a uma carga ou tensão constante. Geralmente, a fluência é um fenômeno indesejável e, com frequência, é fator de limitação na vida útil de uma peça. Ela é observada em todos os tipos de materiais e para os metais, ela se torna importante apenas em temperaturas superiores a aproximadamente $0,4 T_f$ (T_f é a temperatura absoluta de fusão).⁽⁸⁾ Embora a fluência atue em todas as temperaturas acima do zero absoluto, em geral os problemas associados com a excessiva distorção de fluência ou eventual ruptura são observados após longos períodos de serviço experimentados apenas em altas temperaturas.⁽¹⁾

O ensaio de fluência pode ser realizado em temperaturas elevadas (e constantes) e com uma tensão aplicada constante. Como a seção do corpo de prova diminui durante o ensaio, dificultando a manutenção de uma tensão constante, é mais comum realizar-se o ensaio com carga constante, devido a constituir-se de uma condição real. No ensaio de fluência, mede-se o alongamento do corpo de prova em função do tempo. O regime de temperatura em que a fluência se torna um fenômeno de importância é $0,5 T_f < T < T_f$. Esta é a faixa de temperatura em que a difusão se torna um fator significativo. A difusão, sendo um processo termicamente ativado, apresenta uma dependência exponencial com a temperatura. Abaixo de $0,5 T_f$, a velocidade de difusão é tão lenta que a influência deste fator pode ser desprezada. A temperatura crítica para que a fluência comece a ser significativa varia de material para material.

Apesar da fluência já ser conhecida desde 1834, quando Vicat fez as primeiras experiências constatando o fenômeno, foi somente no século XX que investigações sistemáticas foram realizadas.⁽⁹⁾ As curvas de fluência podem, em geral, ser classificadas em três estágios: 1) primário ou transiente; 2): secundário, de taxa constante, ou quase-viscoso; 3): terciário. Esta divisão em estágios foi estabelecida por Andrade, um dos pioneiros do estudo da fluência. O estágio 2, em que a taxa de deformação é constante, é o mais importante. Essa taxa de fluência é também conhecida como taxa mínima de fluência e corresponde ao ponto (ou região) de inflexão da curva. No estágio III, há uma aceleração da taxa de deformação levando a uma eventual ruptura do corpo de prova. No ensaio de fluência em tensão constante, a carga deve diminuir à medida que a seção transversal diminui, de tal modo que a tensão permaneça constante. Em ensaios de fluência sob carga constante, a tensão aumenta continuamente devido ao

decréscimo da área da seção transversal do corpo de prova. Em deformação plástica, o volume do corpo de prova é admitido como constante e um aumento de comprimento resulta em um decréscimo da área da seção transversal.⁽⁹⁾ A Figura 1 apresenta uma curva típica de fluência com a designação dos estágios.

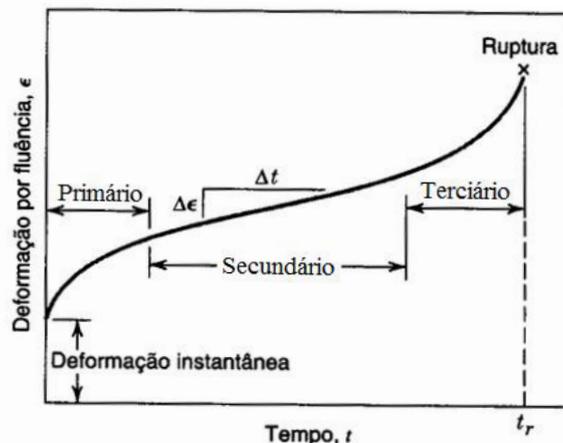


Figura 1: Curva típica de fluência apresentando os estágios.⁽⁸⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

A liga de titânio utilizada neste trabalho foi Ti-6Al-4V comercial, seguindo as especificações ASTM.⁽¹⁰⁾ A barra foi usinada seguindo a geometria do corpo-de-prova (Figura 2), utilizado na máquina de ensaios de fluência. Posteriormente, o recobrimento cerâmico de zirconia parcialmente estabilizada com ítria (8%p) (Metco 204B-NS) com uma camada de ligação de CoNiCrAlY (AMDRY 995C) foi depositada por aspersão térmica por plasma nos corpos-de-prova

Os ensaios foram realizados de acordo a norma ASTM E139-06⁽¹¹⁾ em um forno da marca MAYES, que foi adaptado sistemas elétricos e controladores, segundo as exigências da norma ASTM E139/83,⁽¹²⁾ e um *software* para coleta de dados. Foram realizados ensaios à carga constante a 600°C nas tensões de 125 MPa e 291 MPa.

Após a realização dos ensaios de fluência, uma das partes do corpo de prova fraturado foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em um microscópio eletrônico da marca LEO. As imagens foram obtidas no modo elétrons secundários.

3 RESULTADOS

As Figuras 2 a 4 apresentam imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura das amostras fraturadas após ensaio de fluência.

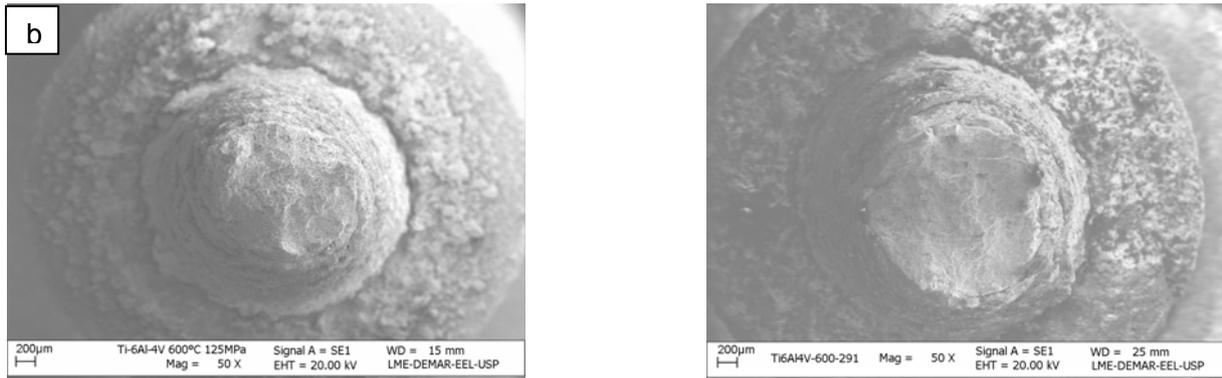


Figura 2. Aspecto geral da liga Ti-6Al-4V com recobrimento cerâmico após ensaio de fluência a 600°C e 125 MPa (a) e 600°C e 291 MPa (b).

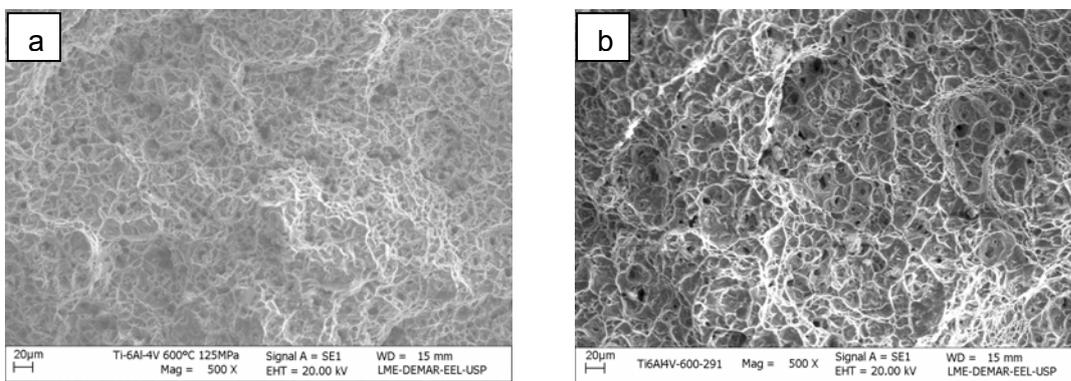


Figura 3. Micrografia da região central da liga Ti-6Al-4V com recobrimento cerâmico após ensaio de fluência a 600°C e 125 MPa (a) e 600°C e 291 MPa (b).

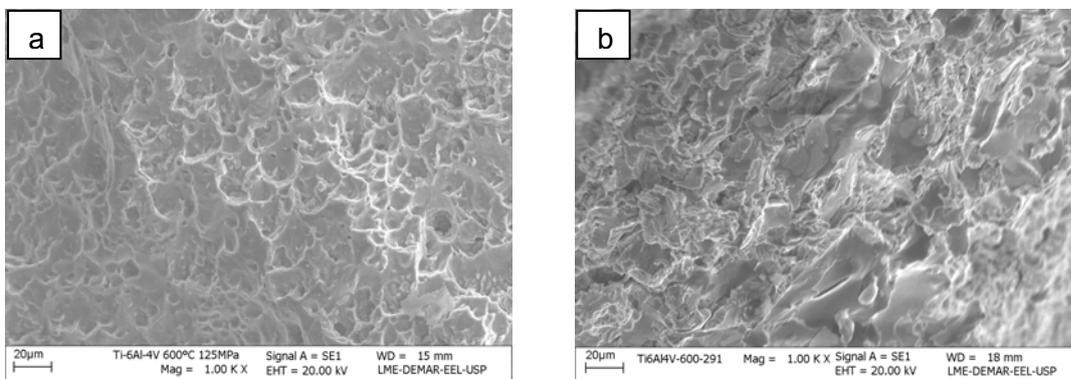


Figura 4. Micrografia da região lateral da liga Ti-6Al-4V com recobrimento cerâmico após ensaio de fluência a 600°C e 125 MPa (a) e 600°C e 291 MPa (b).

4 DISCUSSÃO

Esta análise fractográfica permitiu a observação das marcas de deformação sofridas pelo material durante o ensaio de fluência (na região central e lateral do material). Observou-se a presença de *dimples* de pouca profundidade e alguns poros. O material apresentou uma fratura dúctil.



5 CONCLUSÃO

As amostras foram caracterizadas microestruturalmente via microscopia eletrônica de varredura após submetidas ao ensaio de fluência na condição carga constante na temperatura de 600°C de 125 MPa e 291 MPa. Pela análise fractográfica observou-se a presença de *dimples* de pouca profundidade e alguns poros. O material apresentou uma fratura dúctil.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro (bolsa PIBIC).

REFERÊNCIAS

- 1 EVANS, R.W.; WILSHIRE, B. Introduction to creep. London: The Institute of Materials, 115p., 1993.
- 2 SECO, F. J.; IRISSARI, A. M., Creep failure mechanisms of a Ti-6Al-4V thick plate. Fatigue Fract. Eng. Mater. Struc., Vol. 24, pp.741-742, 2001.
- 3 METALS HANDBOOK, 9 ed, v. 4, Heat Treating; American Society for Metals Park Ohio 44073, 1981.
- 4 SAKAI, T., OHASHI, M., CHIBA, K. Acta Metall, v. 36, p. 1781, 1988.
- 5 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.
- 6 SIEMENS, P.A.; MEHAN, R.L. Mechanical and Physical properties of Plasma-Sprayed Stabilized Zirconia. NASA Technical Reports, n.NA53-21727, p.828-840, 1982.
- 7 XU, H.; GOUG, S.; DENG, L. Preparation of thermal barrier coating for gas turbine blades by EB-PVD. Thin Solid Films, v.334, p.98-102, 1998.
- 8 CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2002. cap.8, p. 157-161.
- 9 MEYERS, M.A.; CHAWLA, K.K. Princípios de metalurgia mecânica. São Paulo: Edgard Blücher. cap.14, p. 406-420, 1982.
- 10 HOWARD, E.B.; TIMOTHY, L.G., in "Metals Handbook" (Desk edition, ASM International, 1985).].
- 11 AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). E139-06. Standard practice for conducting creep, creep-rupture and stress-rupture tests of metallic materials. Philadelphia, 1995.
- 12 AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). E139/83, Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems, Philadelphia, 1995.