

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM FLUÊNCIA DA LIGA Ti-6Al-4V COM RECOBRIMENTO METÁLICO A 600°C E 125 MPa¹

Flávio Perpétuo Briguento²
Luciana Aparecida Narciso da Silva Briguento²
Danieli Aparecida Pereira Reis³
Carlos de Moura Neto⁴

Resumo

O titânio e suas ligas são utilizados em diversas aplicações por apresentarem alta resistência mecânica e à corrosão e baixa massa específica. A liga Ti-6Al-4V é a mais utilizada e apresenta uma elevada resistência à fluência; entretanto, sua afinidade com o oxigênio limita aplicações em temperaturas elevadas. Quando em contato ao ar em elevadas temperaturas, a solubilidade do oxigênio no titânio aumenta resultando na perda de material e na formação de uma camada dura e frágil. Portanto, para utilizar as ligas de titânio sob essas condições, a permeação de oxigênio deve ser minimizada. Uma técnica para prevenir a oxidação das ligas de titânio é o uso de recobrimentos especiais depositados na superfície do material. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento em fluência da liga Ti-6Al-4V com recobrimento metálico (CoNiCrAlY) aplicado por aspersão térmica a 600°C e 125 MPa e comparar os resultados obtidos com o material sem recobrimento. Os ensaios de fluência foram realizados a carga constante. A liga com recobrimento metálico apresenta maior resistência à fluência, maior tempo de vida em fluência e menor taxa de fluência estacionária do que a liga sem recobrimento.

Palavras-chave: Ti-6Al-4V; Recobrimento metálico; Fluência.

CREEP BEHAVIOR OF Ti-6Al-4V WITH METALLIC COATING AT 600°C AND 125MPa

Abstract

Titanium and its alloys are largely used for many applications due to high mechanical and corrosion resistance and low specific mass. Ti-6Al-4V alloy is the most used and presents a high creep resistance; however, this alloy has high oxygen affinity that constraints its application at high temperatures. When in contact with air at high temperature the oxygen solubility increases into titanium structure that result in material losses and formation of a hard and fragile layer. Then, to use titanium alloys under these conditions the oxygen permeation in the structure must be minimized. One method to prevent titanium alloys oxidation is the use of a special coating deposition at the material surface. The aim of this work is to evaluate the creep behavior of Ti-6Al-4V with metallic coating (CoNiCrAlY) applied by thermal spray at 600°C and 125 MPa and compare the results to samples with no coating. The creep tests were made at constant load. The alloy with metallic coating performs higher creep resistance, longer creep life time and lower stationary creep rate when compared with no coating alloy.

Key words: Ti-6Al-4V; Metallic coating; Creep.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutorando, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil.

³ Professora, Universidade Federal de São Paulo (Unifesp); Sócia Titular da ABM.

⁴ Professor Associado II – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA); Sócio Titular da ABM.

1 INTRODUÇÃO

O titânio é o um metal industrial que apresenta uma baixa massa específica, tem uma boa resistência à corrosão, é biocompatível e não agressivo ao meio ambiente. As ligas de titânio são utilizadas nas indústrias aeronáutica, química, petroquímica, biomédica entre outras.^(1,2) A maior aplicação das ligas de titânio está na indústria aeronáutica em aplicações que incluem peças como trens de pouso, turbinas a gás, palhetas e discos compressores.⁽²⁾

Dentre as ligas de titânio, a liga Ti-6Al-4V é a mais utilizada e apresenta um papel muito importante na fabricação de componentes, como disco para turbinas de aeronaves. Essa liga apresenta boa resistência à fluência, mas a afinidade com o oxigênio limita aplicações em temperaturas elevadas. A afinidade com o oxigênio resulta na formação de uma camada dura e frágil durante exposição ao ar em elevadas temperaturas.⁽³⁾ Uma penetração intergranular do óxido pode levar a uma diminuição do tempo de ruptura por fluência e resultar em uma fratura intergranular.⁽⁴⁾

O desenvolvimento de ligas de titânio tem proporcionado uma melhoria na resistência à fluência; porém a oxidação superficial, que aumenta em temperaturas superiores a 600°C, limita suas aplicações.⁽⁵⁾ Para que as ligas de titânio possam ser utilizadas em maiores temperaturas, deve ser reduzido o ingresso do oxigênio. Isso reforça a importância da utilização dos recobrimentos de proteção com o intuito de evitar a difusão e o crescimento da camada de óxidos.⁽⁶⁾ O recobrimento deve formar um filme na qual a permeabilidade do oxigênio seja baixa e não deve ser observada difusão, dissolução ou reação dos constituintes do recobrimento com o substrato.⁽⁷⁾

Esses recobrimentos podem ser depositados por diversos processos como aspersão térmica, deposição física ou química de vapor, eletrodeposição e soldagem. Um tipo de recobrimento é o chamado de Barreira Térmica (*Thermal Barrier Coating – TBC*), devido a sua função específica.^(8,9)

Na técnica de pulverização térmica os materiais são aquecidos próximo ao seu ponto de fusão e o material fundido é acelerado em um fluxo de gás e projetado contra a superfície do substrato. Com o impacto, as gotículas tornam-se finas partículas lamelares que se aderem à superfície, sobrepoem-se e então se solidificam. As aplicações de revestimentos feitos através da técnica de aspersão térmica são bastante variadas, e as maiores categorias de uso são para melhorar o desgaste e/ou resistência à corrosão de uma superfície.⁽¹⁰⁾

Em sua maior parte, os recobrimentos, chamados de Barreira Térmica, consistem de um recobrimento cerâmico, uma camada de óxido termicamente crescida, um recobrimento metálico e um substrato.⁽⁸⁾ A camada externa tem a função de isolante térmico. A camada metálica, tipicamente formada pela liga MCrAlY (onde M= Ni, Co, Fe, ou suas combinações), tem como objetivo proteger o substrato da oxidação e corrosão em temperaturas elevadas.^(11,12)

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento em fluência da liga Ti-6Al-4V como recebida, sem recobrimento metálico, e após aplicação de recobrimento metálico pela técnica de aspersão térmica, na temperatura de 600°C e na tensão de 125 MPa. Os ensaios de fluência foram realizados na modalidade de carga constante e a liga com aplicação de recobrimento metálico apresenta maior resistência à fluência do que a liga sem recobrimento com maior tempo de vida em fluência e redução da taxa de fluência estacionária.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se a liga Ti-6Al-4V adquirida da Empresa Multialloy Eng. Mat. Ltda., na condição forjada e recozida a 190°C durante 6 horas e resfriada ao ar. A Figura 1 mostra os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de fluência.

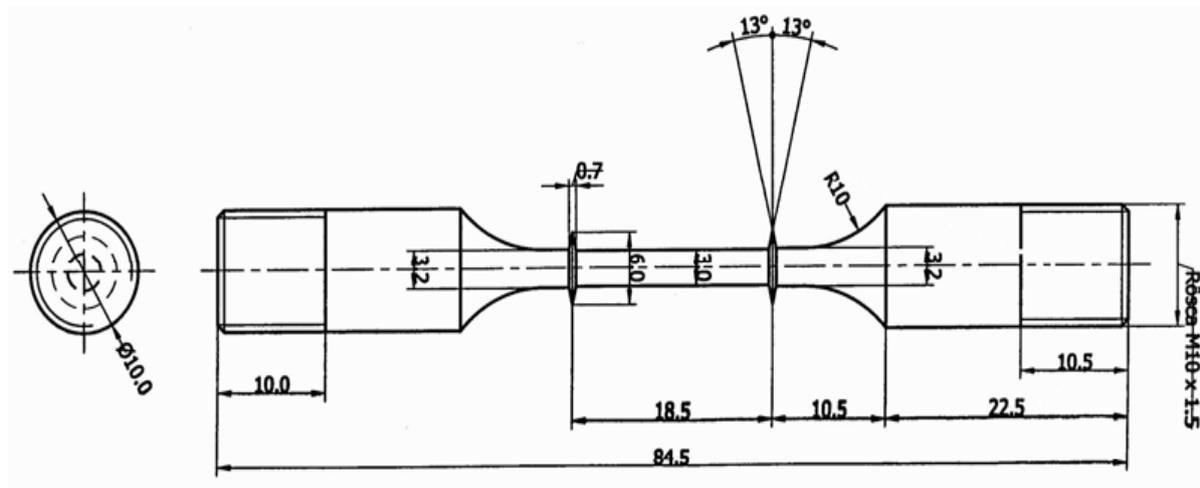


Figura 1. Corpo-de-prova utilizado para ensaio de fluência.

2.1 Recobrimento Metálico

Foi realizado aplicação de recobrimento metálico de CoNiCrAlY na liga Ti-6Al-4V por meio de aspersão térmica. A aplicação da camada metálica de CoNiCrAlY (Bond Coat Amdry 995C), foi realizada com camada média de 0,127 mm (0,005") sob substrato de Ti-6Al-4V. O processo de aspersão térmica foi feito em equipamento Sulzer Metco Type 9 MB. Após recobrimento dos corpos-de-prova o material foi submetido a ensaios de fluência.

2.2 Ensaio de Fluência

Os ensaios de fluência, na modalidade de carga constante, foram realizados em fornos da marca Mayes. Foram adaptados sistemas elétricos e controladores aos fornos de fluência, desenvolvidos pela BSW Tecnologia, Indústria e Comércio Ltda., de acordo com as exigências da norma ASTM E139-06.⁽¹³⁾ Os dados relativos ao alongamento dos corpos-de-prova e temperatura foram coletados em períodos de tempo pré-determinados, utilizando-se o Software Antares. Utilizou-se um transdutor do tipo LVDT Schlumberger D 6,50 para a obtenção das medidas de alongamento e um termopar tipo Cromel-Alumel AWG24 para o controle de temperatura.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de Fluência

A liga Ti-6Al-4V, com e sem recobrimento metálico, foi submetida a ensaios de fluência a 600°C e 125 MPa, na modalidade de carga constante. A Figura 2 apresenta a curva de fluência correspondente à deformação verdadeira, ϵ , como função do tempo.

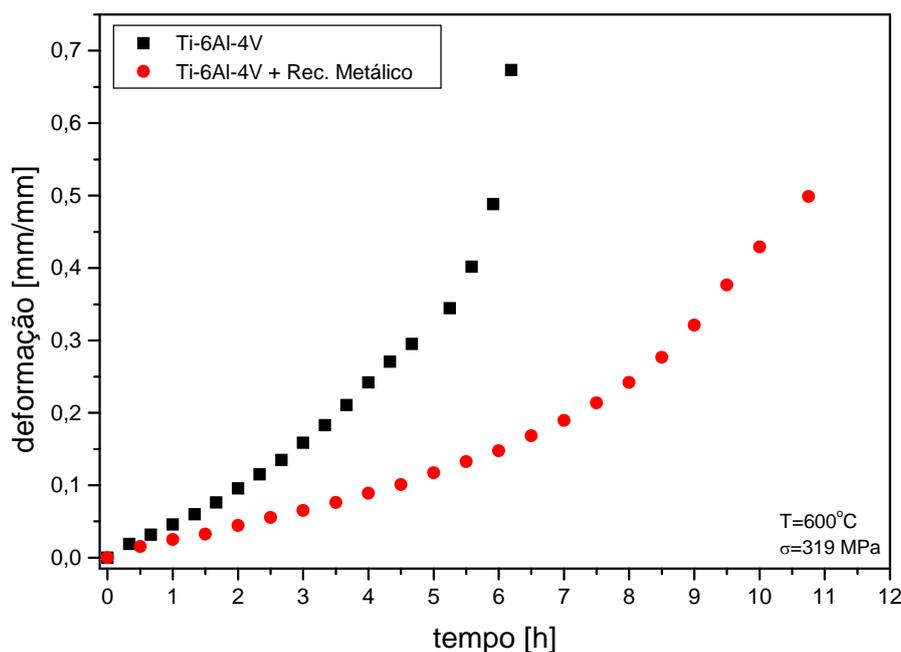


Figura 2. Curva de fluência Ti-6Al-4V com e sem recobrimento metálico a 600°C e 125 MPa.

A Tabela 1 apresenta a relação dos principais parâmetros experimentais obtidos a 600°C e 125 MPa, a partir das curvas experimentais, onde σ é a tensão aplicada, $\dot{\epsilon}_s$ é a taxa de fluência estacionária, obtida a partir da inclinação da região linear na curva de fluência (estágio secundário). O valor de t_p corresponde ao tempo relativo ao estágio primário. O valor t_f é o tempo final de ruptura e ϵ_f corresponde à deformação de ruptura.

Tabela 1. Dados de fluência obtidos a 600°C e 125 MPa

Condição	t_p (h)	$\dot{\epsilon}_s$ (1/h)	t_f (h)	ϵ_f (mm/mm)
Ti-6Al-4V sem recobrimento	0,83	0,063	6,19	0,674
Ti-6Al-4V com recobrimento metálico	1,00	0,026	10,75	0,499

4 DISCUSSÕES

Os testes de fluência foram conduzidos até a ruptura dos corpos-de-prova onde, a maior vida em fluência é dominada pela região estacionária, taxa de fluência permanece praticamente constante com o tempo, devido aos mecanismos de recuperação e encruamento.

Pela análise das curvas de fluência e dados de fluência obtidos a partir das curvas, a liga Ti-6Al-4V com recobrimento metálico a 600°C e 125 MPa apresenta uma maior resistência à fluência com maior valores de t_p , redução da taxa de fluência estacionária e maior tempo para ruptura do que a liga sem recobrimento. O recobrimento metálico de CoNiCrAlY foi aplicado com o objetivo de promover uma maior resistência à oxidação e a fluência para a liga Ti-6Al-4V e os dados obtidos

nessa condição de temperatura e tensão demonstram a eficácia da aplicação do recobrimento.

Os estudos na liga com e sem recobrimento serão continuados em outras condições de temperatura e tensão para confirmação deste comportamento e determinação dos parâmetros de fluência da liga.

5 CONCLUSÕES

A aplicação do recobrimento metálico por aspersão térmica promove maior resistência à oxidação na liga Ti-6Al-4V. Isto pode ser verificado pela comparação entre os resultados dos ensaios de fluência desta liga com e sem aplicação do recobrimento metálico a 600°C e tensão de 125 MPa. Os ensaios com recobrimento metálico apresentam maior resistência à fluência, com maior valor de tempo de fluência primária, redução da taxa de fluência estacionária e maior tempo para ruptura.

REFERÊNCIAS

- 1 International Titanium Association. Titanium Facts. International Titanium Association, USA, 2007. Disponível em www.titanium.org.
- 2 LEYENS, C.; PETERS, M. Titanium and titanium alloys: Fundamentals and applications. Weinheim: Wiley-VCH, 499 p., 2003.
- 3 Abkowitz, S.; Burke, J.J.; Hiltz Jr., R.H. Technology of Structural Titanium. New York: D. Van Nostrand Company, 1995. cap.8, p.31-32.
- 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. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004, Belém, Pará.
- 5 Reis, D.A.P.; Moura Neto, C.; Barboza, M.J.R.; Silva, H.R.; Silva, C.R.M.; Couto, A.A.; Creep behavior of the titanium alloy with zirconia plasma sprayed coating. Materials Science Forum, v. 660-661, pp 221-224, 2010.
- 6 Gurrappa, I.; Gogia, A.K. High performance coatings for titanium alloys to protect against oxidation. Surface and Coatings Technology, v.139, p. 216-217, 2001.
- 7 Reis, D. A. P. Estudo de recobrimento cerâmico e da atmosfera de ensaio na fluência de liga metálica refratária de titânio. Tese de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais. INPE, São José dos Campos, 198 p., 2005.
- 8 Almeida, D. S. Estudo de revestimentos cerâmicos sobre substrato metálico, obtidos por deposição física de vapores por feixe de elétrons para aplicação como barreira térmica. Tese de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais. INPE, São José dos Campos, 177 p., 2005.
- 9 Lima, C. C.; Trevisan, R. Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações. Artliber Editora, 2. ed., 152 p. 2007.
- 10 ASM Handbook. Surface Engineering. ASM International. v. 5, 2535 p., 1994.
- 11 Stöver, D.; Funke, C. Directions of the development of thermal barrier coatings in energy applications. Journal of Materials Processing Technology, v. 92-93, p. 195-202, 1999.
- 12 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.
- 13 American Society for Testing and Materials (ASTM). E139-06. Standard practice for conducting creep, creep-rupture and stress-rupture tests of metallic materials. Philadelphia, 2006.