

EFEITO DO TRATAMENTO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA POR IMERSÃO EM PLASMA NAS PROPRIEDADES DA LIGA Ti-6Al-4V À ALTAS TEMPERATURAS

F.E. Freitas^{1*}; M.M. Silva²; T. Sugahara²; D.A.P. Reis²; C. Moura Neto²; M. Ueda³

¹ UNIVAP, 12.244-000, São José dos Campos, SP

² ITA, Divisão de Engenharia Mecânica, 12.228-900, São José dos Campos, SP

³ INPE, Centro de Tecnologias Especiais, Laboratório Associado do Plasma. 12.201-970, São José dos Campos, SP

Palavras-chave: Ti-6Al-4V; implantação iônica; fluência.

RESUMO

Materiais com comportamento adequado em temperaturas elevadas e ambientes agressivos tornaram-se uma necessidade científica, tecnológica e economicamente viável nos dias de hoje. O objetivo deste trabalho é a caracterização mecânica e microestrutural da liga Ti-6Al-4V, após processo de implantação iônica por imersão em plasma (IIIP). A finalidade deste processo é a modificação das propriedades superficiais da liga Ti-6Al-4V, com intuito de se obter melhorias nas suas propriedades tribológicas. A liga selecionada após processo de implantação iônica por imersão em plasma foi submetida a ensaios de fluência acelerados em temperaturas de 600 °C, na modalidade de carga constante de 250 e 319 MPa. As técnicas de caracterização utilizadas neste trabalho foram de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Pela análise fractográfica da liga Ti-6Al-4V, tratadas por IIIP após ensaio de fluência, foram evidenciados os fenômenos de estricção e o desenvolvimento de microcavidades. Os resultados dos ensaios de fluência acelerados da liga tratada por IIIP apresentaram aumento significativo na resistência do material, podendo ser utilizado como forma de proteção do material à oxidação em aplicação em altas temperaturas.

ABSTRACT

Materials with adequate behavior at high temperatures and aggressive environmental became a scientific requirement, technological and economically nowadays. The objective of this work is the mechanical and microstructural characterization of the Ti-6Al-4V alloy after the ionic implantation process by plasma immersion (IIIP). The aim of this process is the modification of the superficial properties of the Ti-6Al-4V alloy to obtain improvement in tribological properties. The selected alloy after ionic implantation process by plasma immersion was submitted to accelerated creep tests in 600 °C, in constant load mode at 250 and 319 MPa. The techniques used in this work were optical microscopy and scanning electronic microscopy. The fractograph analysis of the samples tested in creep shows narrowing phenomena and microcavities. The accelerated creep tests of alloy treated by IIIP show the significant increase of material re-

sistance, and it can be used as protection of oxidation in high temperatures applications.

1. INTRODUÇÃO

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 altas temperaturas [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 [2]. 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 [3]. Revestimentos de proteção que servem como 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 [3].

A Implantação Iônica por Imersão em Plasma (IIIP) é uma tecnologia emergente para a engenharia de superfícies de semicondutores, metais e dielétricos. Essa técnica tem recebido atenção redobrada de pesquisadores da área, por possibilitar o tratamento superficial de peças de geometrias complexas, mesmo em peças tridimensionais, o que não é possível por meio da implantação convencional por feixes. Em IIIP, a amostra a ser tratada é colocada numa câmara de vácuo, onde é produzido o plasma, contendo íons de espécies a serem implantadas. O sistema de implantação por plasma não utiliza métodos de extração e aceleração de íons como nos métodos de implantação convencionais. A amostra é repetidamente pulsada a altas voltagens negativas (2 – 300 kV), para implantar a superfície com fluxo de íons que constituem o plasma energético [4].

O objetivo deste trabalho é a caracterização mecânica por meio de ensaio de fluência acelerada e a caracterização microestrutural (Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica

* filipe_estevao@hotmail.com

de Varredura) da liga Ti-6Al-4V após processo de implantação iônica por imersão em plasma.

2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a liga Ti-6Al-4V, na forma de barras cilíndricas, adquiridas na Empresa Multialloy Eng. Mat. Ltda. A configuração microestrutural resultante dos tratamentos térmicos e mecânicos corresponde à condição de maior aplicação na indústria aeronáutica [1,5]. Para a verificação da composição química da liga foi realizada uma análise via espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado, em um equipamento ARL modelo 3410, pertencente ao Laboratório de Química Analítica do Departamento de Engenharia de Materiais, da Escola de Engenharia de Lorena (EEL – USP), segundo rotina específica para análise deste material.

Os ensaios foram realizados em um reator para a implantação iônica por imersão em plasma do Laboratório Associado de Plasmas (LAP), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático do sistema IIIP.

O reator é alimentado por um pulsador de alta tensão, modelo RUP-40, com tensão de saída de 30 kV e pulso com duração entre 1 μ s e 1 ms. Para a produção de vácuo é utilizado um conjunto de bombas de vácuo, sendo uma do tipo mecânica e outra do tipo difusora. As amostras devidamente polidas e limpas foram fixadas no dispositivo que foram introduzidos no reator. O processo ocorre à pressão de 76×10^{-3} Pa, visando execução de processos de tratamento de superfície dos materiais. As amostras da liga de titânio foram implantadas por íons de nitrogênio por intervalos de tempo entre 15 e 120 minutos.

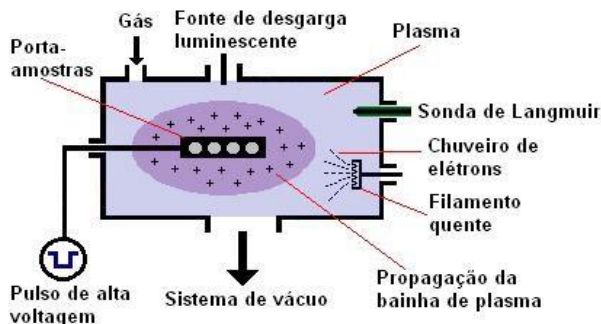


Figura 1 - Diagrama esquemático do sistema IIIP.

Para os ensaios de fluência, foram utilizados os fornos pertencentes ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA/CTA), fabricados pela EMEC (The Electronic and Mechanical Engineering Co. Ltda.). Nos fornos estão adaptados sistemas elétricos e controladores, desenvolvidos pela BSW Tecnologia, Indústria e Comércio Ltda., segundo as exigências da norma ASTM E139/83 [6].

As ligas Ti-6Al-4V tratadas foram analisadas sob condições de fluência ao ar em temperaturas de 600 °C, na modalidade de carga constante de 250 e 319 MPa. Foram obtidos con-

juntos de curvas e parâmetros experimentais relativos às regiões primária, secundária e terciária como função da tensão inicialmente aplicada. Parâmetros experimentais relativos a estas regiões permitiram estabelecer uma análise comparativa com os resultados obtidos da liga recozida em estudos anteriores [7-15].

A preparação das amostras para análise via MO e MEV seguiu os padrões usuais de metalografia, ou seja, embutimento a quente (150 °C) sob pressão de 21 MPa, seguido de lixamento manual com lixas à base de SiC, na sequência de 100, 150, 220, 320 400, 500 e 600 mesh. Os polimentos foram feitos com uma solução de sílica coloidal (OP-S). Foi utilizado o microscópio óptico Leica modelo DMRXP e o microscópio eletrônico de varredura da marca LEO modelo 435 VPI pertencentes à Divisão de Materiais, do Instituto de Aeronáutica e Espaço do CTA (AMR/IAE/CTA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos (% massa) na análise via espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado são: Ti = 89,16 %, Al = 6,61% e V = 4,23%. A composição química dos principais elementos (% massa), atende aos requisitos da norma ASTM B265-89 [16].

A Figura 2 apresenta a micrografia da liga Ti-6Al-4V como recebida (sem tratamento).

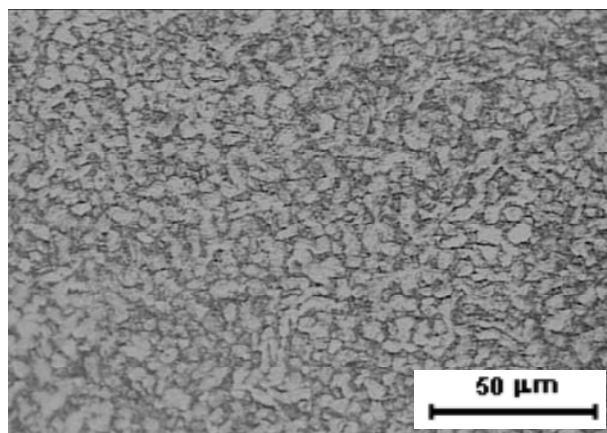


Figura 2 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V como recebida.

As Figuras 3 e 4 apresentam as micrografias da liga Ti-6Al-4V tratadas por IIIP após ensaio de fluência acelerado a 600 °C com tensão de 250 MPa e 319 MPa, respectivamente.

As micrografias da liga Ti-6Al-4V, tratadas por IIIP após ensaio de fluência acelerado a 600 °C com tensão de 250 MPa e 319 MPa (Fig. 3 e 4), apresentam uma microestrutura semelhante à da liga sem tratamento térmico e sem ter sido ensaiada em fluência (Fig.2). Observa-se a presença da fase α (mais clara) e da fase β (mais escura) compondo uma microestrutura fina e de grãos pequenos.

As Figuras 5 e 6 apresentam imagens obtidas por MEV para análise fractográfica da liga Ti-6Al-4V tratadas por IIIP após ensaio de fluência acelerado a 600 °C com tensão de 250 MPa e 319 MPa, respectivamente.

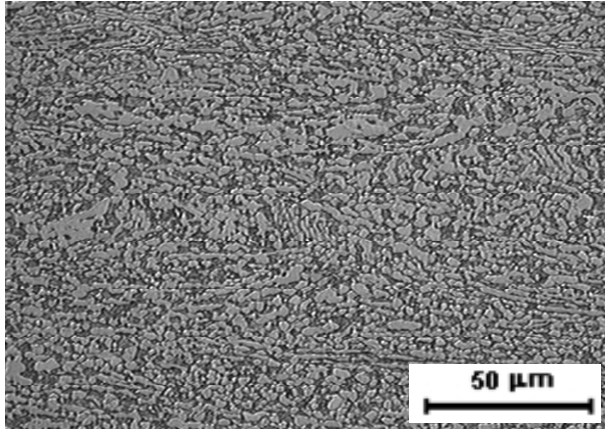


Figura 3 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V tratada por IIIP após ensaio de fluência acelerado a 600 °C e 250 MPa.

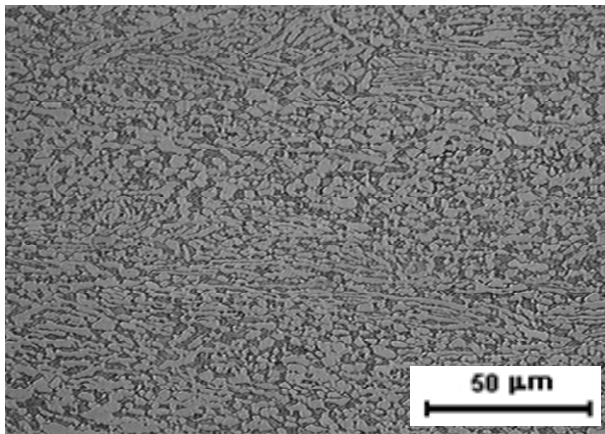


Figura 4 - Micrografia da liga Ti-6Al-4V tratada por IIIP após ensaio de fluência acelerado a 600 °C e 319 MPa.

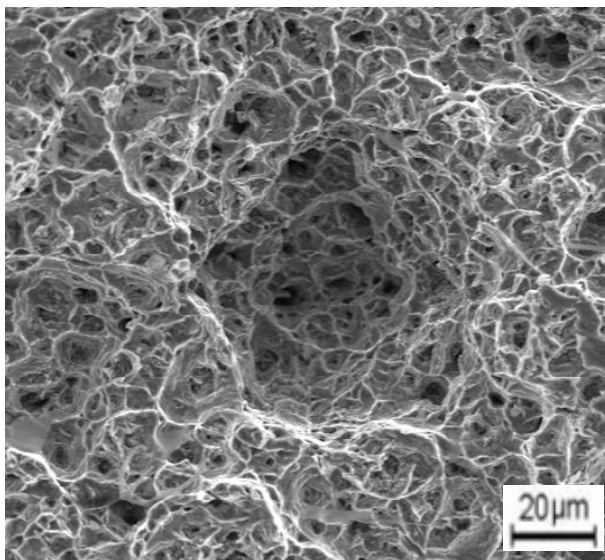


Figura 5 - Região central da superfície de fratura a 600 °C e 250 MPa da liga Ti-6Al-4V tratada por IIIP após ensaio de fluência acelerado.

São evidenciados os fenômenos de estricção e o desenvolvimento de microcavidades. Observa-se uma estrutura uniforme com *dimples* de formato equiaxial e pouca profundidade.

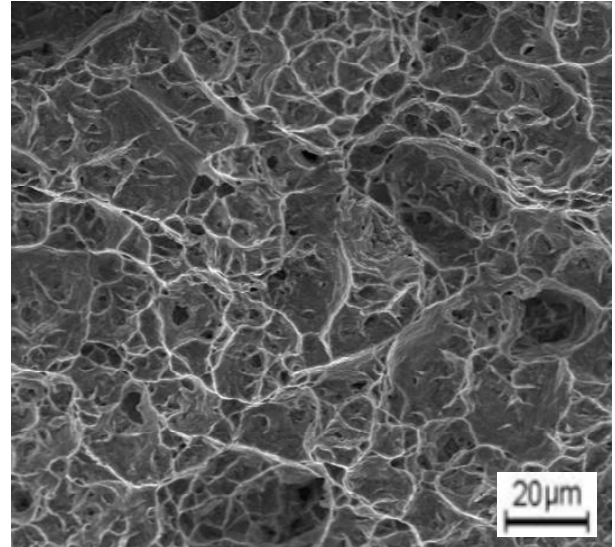


Figura 6 - Região central da superfície de fratura a 600 °C e 319 MPa da liga Ti-6Al-4V tratada por IIIP após ensaio de fluência acelerado.

A Figura 7 apresenta as curvas de ensaios de fluência acelerados obtidas para a liga Ti-6Al-4V sem tratamento e tratada por IIIP nas condições de 600 °C com tensão de 250 MPa e 319 MPa.

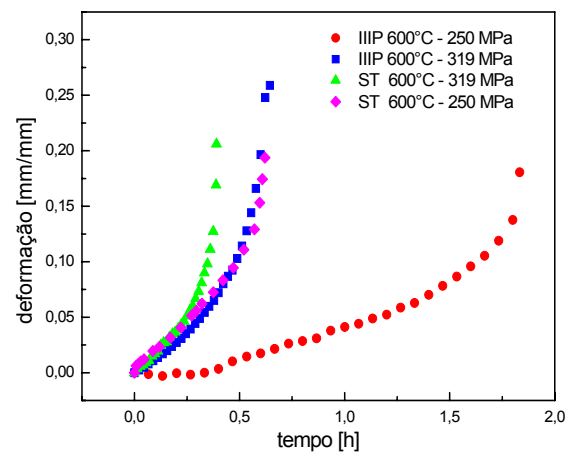


Figura 7 - Curvas de fluência obtidas para a liga Ti-6Al-4V sem tratamento e tratada por IIIP nas condições de 600 °C, com tensões de 250 MPa e 319 MPa.

O tratamento de IIIP aumenta significativamente a resistência do material na vida em fluência, podendo ser utilizado como para proteção do material à oxidação na aplicação em altas temperaturas.

4. CONCLUSÕES

Nas curvas de fluência obtidas para a liga Ti-6Al-4V, sem tratamento e tratada por IIIP, observa-se que o tratamento de IIIP aumenta significativamente a resistência do material na vida em fluência, pois este tratamento superficial cria uma camada nitretada que funciona como uma barreira para a deformação, podendo ser utilizado como proteção do material à oxidação na aplicação em altas temperaturas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da bolsa e suporte financeiro para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. SAKAI, T.; OHASHI, M.; CHIBA, K., *Acta Metallurgica* 36 (1988) 1781-1790.
2. WELSCH G.; KAHVECI A.I., *In: GROBSTEIN, T. and DOYCHAK, J. (Eds.), Oxidation of High- Temperature Inter-metallics*, TMS, Warrendale, PA, p. 207, 1988.
3. KEARNS, M.W.; RESTALL, J.E., *Sixth World Conference on Titanium*, Cannes, Les Editions de Physique, p. 396, 1998.
4. SILVA, M.M., *Modificação de Propriedades Superficiais da Liga Ti-6Al-4V por Processos Assistidos a Plasma, em Baixas e Altas Temperaturas*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos (SP).
5. MCQUEEN, H.J., *Materials Science and Engineering A* 101 (1998) 149-160.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E139-83. *Standard Practice for Conducting Creep, Creep-Rupture and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials*, Philadelphia, 1995.
7. BARBOZA, M.J.R. *Estudo e Modelagem sob Condições de Fluência da Liga Ti6AL4V*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos (SP).
8. BARBOZA, M.J.R.; MOURA NETO, C.; SILVA, C.R.M., *Materials Science and Engineering A* 369 (2004) 201-209.
9. PEREZ, E.A.C., *Influência da Microestrutura no Comportamento em Fluência da Liga Ti-6Al-4V*, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Faculdade De Engenharia Química de Lorena, Lorena (SP).
10. REIS, D.A.P., *Efeito do Recobrimento Cerâmico e da Atmosfera de Ensaio na Fluência de Liga Refratária*. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais). INPE, São José dos Campos (SP).
11. REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; BARBOZA, M.J.R.; PIORINO F.; PEREZ, E.A.C., *Materials Science and Engineering A* 399 (2005) 276-280.
12. REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; PIORINO, F.; PEREZ, E.A.C., *Materials at High Temperatures* 23 (2006) 383-386.
13. REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; BARBOZA, M.J.R.; PIORINO, F., *Acta Microscopica*, 12, 2003. Disponível em: <http://sbmm.org.br/acta>. Acessado em 06 Jul.2008.
14. REIS, D.A.P. ; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A ; BARBOZA, M.J.R. ; PIORINO NETO, F.; VIEIRA, R.A., *Brazilian Journal of Morphological Sciences*, 367-368, Supplement, 2005.
15. REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; BARBOZA, M.J.R.; PIORINO NETO, F.; PEREZ, E.A.C.; SANTOS, D.R., *In: Proceedings do III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2004. Belém (PA).
16. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). B265-89. *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet and Plate*. Philadelphia, 1990.