

## EFEITO DO TRATAMENTO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA POR IMERSÃO EM PLASMA NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DA LIGA Ti-6Al-4V<sup>1</sup>

Susana Zepka<sup>2</sup>  
 Maria Margareth da Silva<sup>3</sup>  
 Danieli Aparecida Pereira Reis<sup>4</sup>  
 Carlos de Moura Neto<sup>5</sup>  
 Lucila Mayume Yogi<sup>6</sup>  
 Mário Ueda<sup>7</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi a avaliação da resistência ao desgaste da liga Ti-6Al-4V após processo de implantação iônica por imersão em plasma (IIIP). A finalidade deste processo foi a modificação das propriedades superficiais da liga Ti-6Al-4V, com intuito de se obter melhorias nas suas propriedades tribológicas. Foram analisadas amostras submetidas a tempos de imersão de 120 e 180 minutos, pelo processo de *pin-on-disk*, onde foram comparados os volumes perdidos e os coeficientes de desgaste das amostras. Observou-se a diminuição do coeficiente de atrito e do volume perdido de material durante os ensaios de desgaste. A amostra imersa por 180 minutos teve um coeficiente de desgaste com relação à amostra sem tratamento de 34,22% menor, e em relação a amostra de 120 minutos foi de 9,76% menor. Pode-se observar que a amostra com maior tempo de imersão apresentou menor coeficiente de desgaste.

**Palavras-chaves:** Fluência; Liga Ti-6Al-4V; Implantação iônica por imersão em plasma; Desgaste

### EFFECT OF PLASMA IMMERSION ION IMPLANTATION TREATMENT IN THE WEAR RESISTANCE OF Ti-6Al-4V ALLOY

The objective of this work was the evaluation of wear resistance of Ti-6Al-4V alloy after plasma immersion ion implantation (PIII). The finality of this process was the modification of surface properties of the alloy to obtain better tribology properties. The samples were submitted to 120 e 180 minutes of implantation and analyzed by pin-on-disk process, where the lost volumes and wear coefficients were compared in the samples. Observed the decreasing of attrite coefficient and the lost volume of the material during wear test. The implanted sample by 180 minutes was the wear coefficient in relation of the sample without treatment of 34.22% lower, and 9.76% lower in relation of implanted sample by 120 minutes. It can be observed that the sample implanted by 180 minutes showed lower wear coefficient.

**Keywords:** Creep; Ti-6Al-4V alloy; Plasma immersion ion implantation; Wear

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *MSc., Professora, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil.*

<sup>3</sup> *Dr., Professora e Pesquisadora, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil.*

<sup>4</sup> *Dr., Professora e Pesquisadora, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos, SP, Brasil.*

<sup>5</sup> *Dr., Professor e Pesquisador, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil.*

<sup>6</sup> *MSc., Aluna, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil.*

<sup>7</sup> *Dr., Professor e Pesquisador, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de novos materiais, ligas e tratamentos superficiais para uso em ambientes ou trabalhos agressivos, as ligas de titânio tem um lugar de destaque na indústria aeronáutica, química, petrolífera e para uso como material bio compatível. Uma das ligas de titânio mais utilizada é a Ti-6Al-4V devida a suas propriedades mecânicas, dureza, resistência a corrosão e estabilidade química.<sup>(1,2)</sup> Porém existem fatores que limitam a aplicação do Ti e suas ligas principalmente em temperaturas elevadas como material estrutural, é sua avides por oxigênio,<sup>(3)</sup> o uso destes materiais em temperaturas acima de 600°C causam problemas com a oxidação superficial.

Portanto, faz-se necessário o estudo de tratamentos superficiais que diminuam as limitações impostas. A tecnologia emergente da Implantação Iônica por Imersão em Plasma vem trazer uma técnica razoavelmente simples, econômica e podendo ser usada em estruturas de perfil complexo em 3D, esta técnica tem tido uma atenção especial dos pesquisadores, pois a superfície não depende de aderência de camadas e nem formação de filmes.<sup>(4-8)</sup>

O objetivo deste estudo foi qualificar a melhoria do tratamento superficial da liga quanto ao desgaste em tempos de imersão de 120 e 180 minutos.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Processo de Implantação Iônica por Imersão em Plasma (IIIP)

A técnica de Implantação Iônica por Imersão em Plasma consistiu na montagem do corpo de prova de Ti-6Al-4V no dispositivo de suporte de amostras, introduzido e fixado no reator. Este é selado para a formação do vácuo, visando o tratamento superficial, através de uma bomba mecânica e posteriormente uma bomba difusora até atingir a pressão de até  $5,3 \times 10^{-3}$  mbar, quando o sistema está pronto para iniciar o processo de implantação. De acordo com o esquema da Figura 1, foi injetado nitrogênio (para a implantação de íons de nitrogênio na amostra) e para obtenção do plasma, ligou-se o pulsador RUP-4. Os tratamentos de implantação de nitrogênio foram feitos a 250 °C, pulso de alta voltagem de 8,5 kV, amplitude média de duração de 40  $\mu$ s, frequência de 400 Hz, pressão de trabalho de 0,21 Pa por 120 e 180 minutos.<sup>(9,10)</sup>

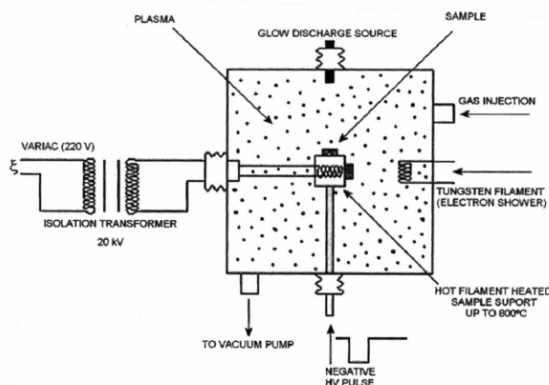


Figura 1. Esquema do equipamento de IIIP.

## 2.2 Análise de Desgaste

A análise de desgaste foi feita através do método pino sobre disco (*pin-on-disk*), cujo esquema experimental está representado na Figura 2. O equipamento utilizado foi o “CSM-Instruments Pin-on-disk Tribometer”, SN 18-313, pertencente ao LAP (Laboratório Associado de Plasma), do INPE.

O desgaste superficial das amostras foi medido segundo a Norma ASTM G99-95<sup>a</sup>,<sup>(11)</sup> assim como o coeficiente de atrito. As amostras foram preparadas na forma de discos simples de 10 mm de diâmetro e de 3 mm de espessura, polidas com acabamento espelhado, limpas por ultrassom em acetona. A amostra como recebida, sem tratamento IIP, foi usada como referência para a análise de caracterização. A largura da trilha de desgaste foi medida via microscópio óptico, obtendo-se a média por trecho de trilha. A Figura 3 mostra a imagem da trilha observada no microscópio óptico para uma amostra com tempo de implantação de 120 min.

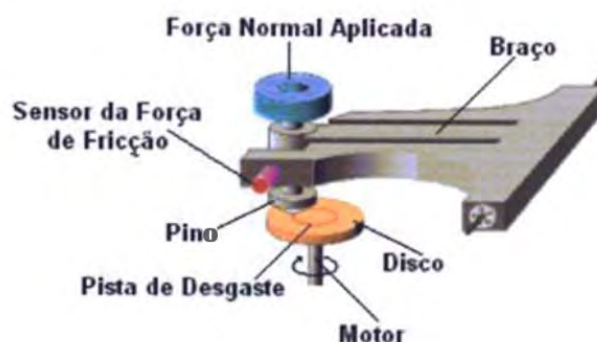


Figura 2. Esquema do equipamento de medição de desgaste.

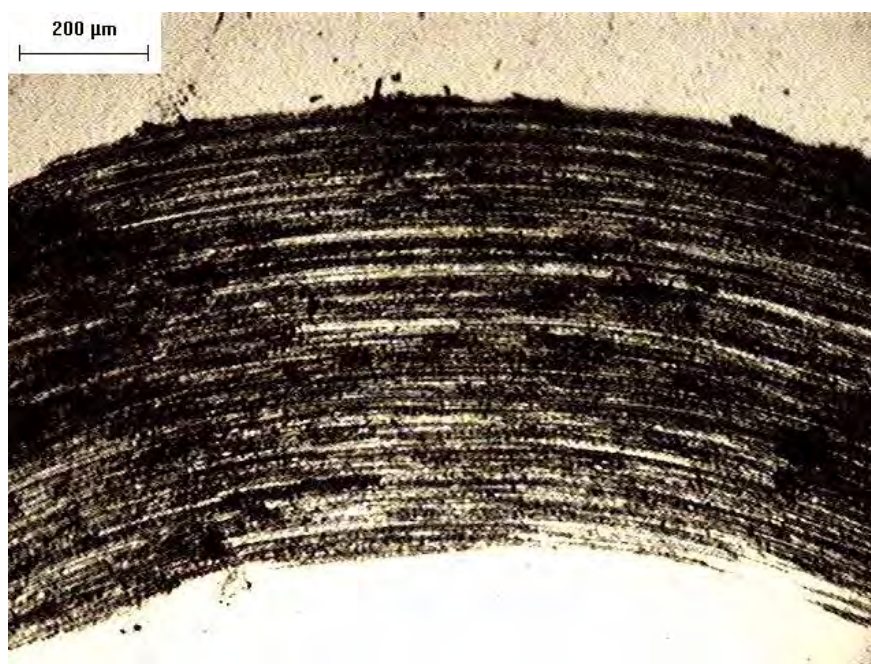


Figura 3. Imagem da trilha no microscópio óptico de uma amostra implantada por 120 min.

A limpeza das amostras e do pino foi feita com acetona, a análise foi realizada na temperatura ambiente (18°C a 22°C) e umidade relativa entre 50% e 70%. O pino foi esférico de alumina policristalina, com 99,85% de pureza, com dureza de 19.000 N/mm<sup>2</sup> e diâmetro de 3 mm. A carga normal utilizada foi de 1,0 N, raio da pista de desgaste de 3 mm, distância percorrida 94,25 m (5.000 voltas), taxa de aquisição de dados de 5 Hz e velocidade de 5 cm/s ( $\cong$  150 rpm).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desgaste é determinado através da medida da largura da trilha de desgaste, que deve ser convertida para volume de desgaste em mm<sup>3</sup>, também chamada de volume perdido (V), e calculado por:

$$V = 2\pi R [ r^2 \text{sen}^{-1}(d/2r) - (d/4)(4 r^2 - d^2)^{1/2} ]$$

Onde: R = raio da trilha de desgaste, d = largura da trilha de desgaste e r = raio do pino. E o coeficiente de desgaste K é calculado através da expressão:

$$K = V/(N.L)$$

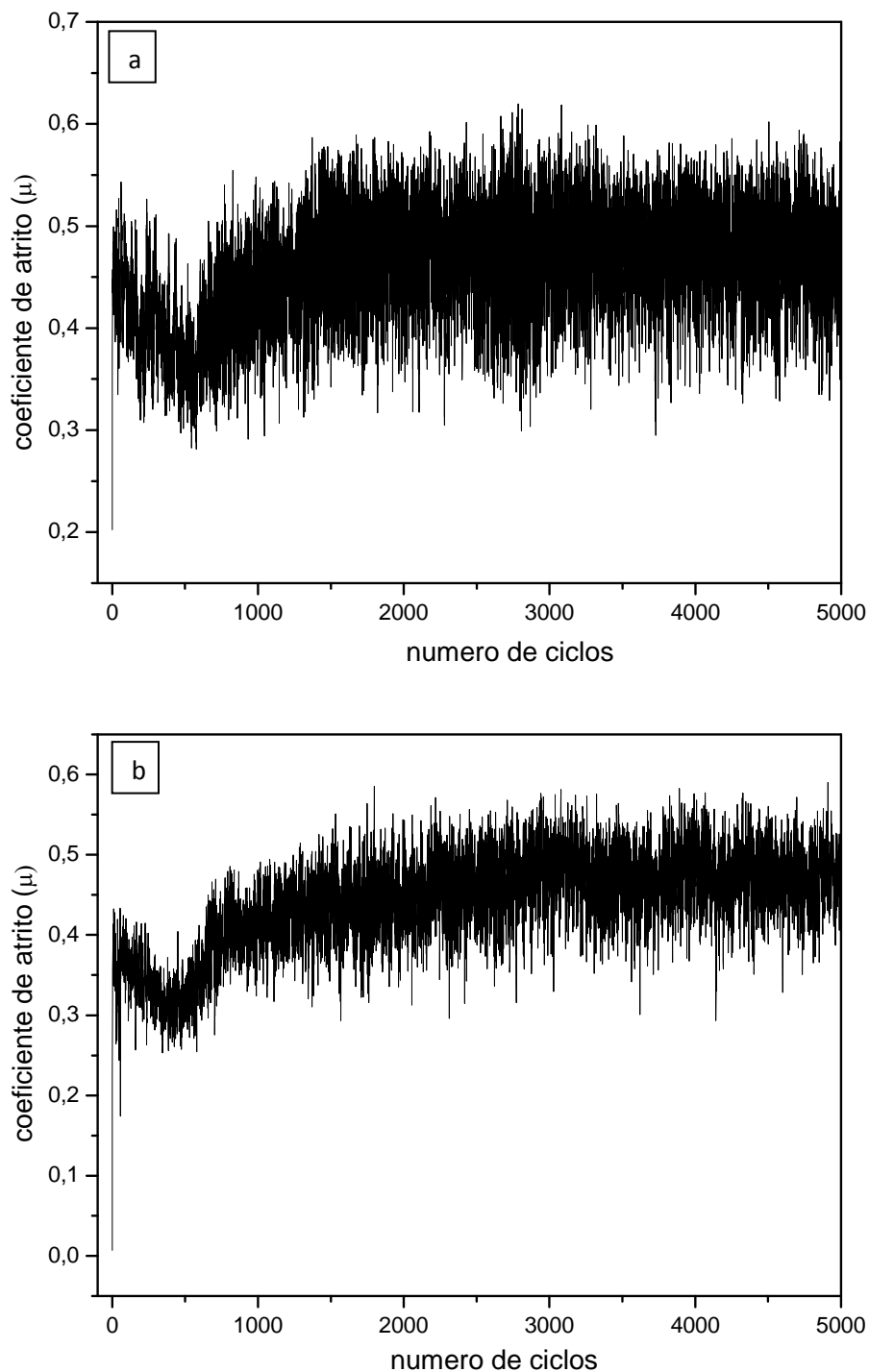
Onde: V = volume perdido, N = distância percorrida em metros e L = carga aplicada em Newtons.

Temos então os valores de V e K para cada tempo de imersão mostrados na Tabela 1. Pode-se observar que a amostra com maior tempo de imersão apresentou menor coeficiente de desgaste.

**Tabela 1.** Valores de V e K para cada tempo de imersão

Tempo de Imersão (min)	Largura da Trilha - d (mm)	Volume Perdido - V (mm <sup>3</sup> )	Coefficiente de Desgaste - K 10 <sup>-3</sup> (mm <sup>3</sup> /N.m)
0	0,7373	0,2124	2,25
120	0,6636	0,1547	1,64
180	0,6434	0,1399	1,48

O resultado do teste de desgaste é mostrado na Figura 4, onde pode-se observar que o coeficiente de atrito da amostra tratada é função do número de ciclos, e a partir de determinado número de ciclos a média deste se iguala a da amostra sem tratamento.



**Figura 4.** Relação de coeficiente de atrito e número de ciclos em uma amostra sem tratamento (a) e tratada com imersão por plasma por 120 minutos (b).

Comparando a amostra sem tratamento com a imersa por 120 minutos pode-se notar que o coeficiente de desgaste foi de 27,11% menor. A amostra imersa por 180 minutos teve um coeficiente de desgaste com relação à amostra sem tratamento de 34,22% menor, e em relação a amostra de 120 minutos foi de 9,76% menor. Este resultado está coerente, pois quanto menor o coeficiente de desgaste, mais duro é o material e, portanto menos material é perdido.<sup>(6,12)</sup> Comparando os resultados a

outros obtidos em diversos trabalhos, pode-se dizer que foram compatíveis com o esperado.<sup>(13-16)</sup>

#### 4 CONCLUSÕES

O tratamento superficial com a implantação iônica por imersão em plasma é um método bastante atraente para modificações superficiais provendo endurecimento progressivo da superfície conforme aumenta-se o tempo de imersão, isto se deve devido ao aumento de tensão na superfície na implantação dos íons implantados e também pela formação de TiN.<sup>(18)</sup> Devido a estes fatores observou-se a diminuição do coeficiente de atrito e do volume perdido de material durante os ensaios de desgaste. A amostra imersa por 180 minutos teve um coeficiente de desgaste com relação à amostra sem tratamento de 34,22% menor, e em relação a amostra de 120 minutos foi de 9,76% menor. Pode-se observar que a amostra com maior tempo de imersão apresentou menor coeficiente de desgaste.

#### Agradecimentos

Capes, CNPq e Fapesp pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- 1 T. Sakai, M. Ohashi, K. Chiba, Recovery and recrystallization of polycrystalline nickel after hot working. *Acta Metal.*, v. 36 (1988) 1781.
- 2 W.S Lee., C.F. Lin, High-temperature deformation behavior of Ti-6Al-4V alloy evaluated by strain-rate compression tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 75 (1998) 127-136.
- 3 G. Welsch, A. I. Kahveci, Oxidation of High Temperature. *Intermetallics*, TMS, Warrendale, PA, (1988) p.207.
- 4 M.M. Silva, M. Ueda, L. Pichon, H. Reuther, C. M. Lepienski, Surface modification of Ti-6Al-4V alloy by PIII at high temperatures: Effects of plasma potential. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v. 257, (2007) p. 722-726.
- 5 M. Ueda, M.M. Silva C.M. Lepienski, P.C.Soaes Jr., J.A.N. Gonçalves, H. Reuther, High Temperature Plasma Immersion Ion Implantation of Ti6Al4V. *Surface and Coatings Technology* 201 (2007) p.4953-4956.
- 6 C.B. Mello, M. Ueda, M.M. Silva, H. Reuther, L. Pichon, C.M. Lepienski, Tribological effects of plasma immersion ion implantation heating treatments on Ti-6Al-4V alloy. *Wear* 267 (2009) p. 867-873.
- 7 D.A.P. Reis, Efeito do recobrimento cerâmico e da atmosfera de ensaio na fluência de liga refratária (tese de doutorado), INPE, São José dos Campos – SP (2004) 188p.
- 8 M.M. Silva, Modificação de propriedades superficiais da liga Ti-6Al-4V por processos assistidos a plasma, em baixas e altas temperaturas (tese de doutorado) ITA, São José dos Campos – SP (2007) 206p.
- 9 V. Fouquet, L. Pichon, A. Straboni, M. Drouet, Nitridation of Ti6Al4V by PBII: study of the nitrogen diffusion and of the nitride growth mechanism. *Surf. Coat. Tech.*, 186 (2002) 34-39.
- 10 V. Fouquet, L. Pichon, M. Drouet, A. Straboni, Plasma assisted nitridation of Ti-6Al-4V. *Appl. Surf. Sci.*, 221 (2004) 248-258.

- 11 Norma ASTM G99-95a , Standart Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, (2000), 6p.
- 12 S. Zepka, D.A.P.Reis, M.M. Silva, M. Ueda, C. M. Lepiensi, C.M. Neto, Study of Creep and Nanoindentation of Ti-6Al-4V Alloy after Plasma Immersion Ion Implantation (PIII), Proceedings of Materiais 2013 Congress, Coimbra, 2013.
- 13 M. Ueda, M.M. Silva, C. Otani, H. Reuther, M. Yatsuzuka, C.M. Lepiensi, L. Berni, Improvement of tribological properties of Ti6Al4V by nitrogen plasma immersion ion implantation. Surf. Coat. Technol., 169 (2003) 408-410.
- 14 L.I.G. Silva, M. Ueda, M.M. Silva, E.N. Coaro, Results from Experiments on Hybrid Plasma Immersion Ion Implantation/Nitriding Processing of Materials. IEEE Trans. Plasma Sci. 221 (2004) 34-39.
- 15 M.M. Silva, M. Ueda, C. Otani, H. Reuther, C.M. Lepiensi, P.C. Soares Jr. J. Otubo, Hybrid Processing of Ti-6Al-4V Using Plasma Immersion Ion Implantation Combined with Plasma Nitriding Mater. Research 9 (2005) 97-100.
- 16 E. Rabinowicz, Friction and Wear of Materials, Massachusetts, Joh Wiley (1964).
- 17 M.M. Silva, L. Pichon, J. Otubo, Wear properties studies of NiTi shape memory alloy after nitrogen plasma based treatments. In: 21st International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 21(2011).
- 18 A Raveh, P.I. Hansen, R. Avni, A. Grill, Mechanisms of r.f. plasma nitriding of Ti-6Al-4V alloy. Surf.Coat.Technol. 38 (1990) 339.