



CARACTERIZAÇÃO TRIBOLÓGICA DE ALUMÍNIO ANODIZADO. PARTE 2: ENSAIOS DE MICROABRASÃO

Daniel Oliveira Araújo

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Bloco 1R, Av. João Naves de Ávila 2160, 38400-902, Uberlândia MG, Brasil
danieloliveira84@gmail.com

Roberto Lopes Salvador

ro_salvador@hotmail.com

Tarsis Prado Barbosa

tircispb@yahoo.com.br

Henara Lillian Costa

ltm-henara@mecanica.ufu.br

José Daniel Biasoli de Mello

ltm-demello@ufu.br

Resumo: Na parte I deste trabalho, o comportamento em desgaste por deslizamento de alumínio sujeito a três processos de anodização diferentes foi avaliado. No presente trabalho, investigou-se a resistência ao desgaste abrasivo das mesmas amostras.

A avaliação foi realizada através de um ensaio de microabrasão do tipo “esfera livre”, no qual uma esfera de aço é posicionada e rotacionada contra a superfície de uma amostra na presença de um fluido com pequenas partículas abrasivas. O fluido abrasivo, uma solução abrasiva de SiO_2 com água destilada, é despejado sobre a região de contato da esfera com a amostra, sob a forma de gotejamento. Cálculos baseados em medições da calota formada na amostra devido ao desgaste permitiram determinar o volume e o coeficiente de desgaste. A velocidade do eixo responsável pela rotação da esfera foi de 150 rpm. Foram realizados ensaios a intervalo de tempos regulares (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 minutos) no mesmo local, a fim de detectar-se a ocorrência do regime permanente de desgaste. Utilizou-se uma esfera rugosa (gasta) para que as partículas micro abrasivas pudessem ajustar-se à rugosidade na superfície da esfera, provocando uma força suficiente para desalojar a partícula da amostra e recolocá-la de volta no contato, o que não ocorreria com uma esfera polida.

Após a análise de resultados, constatou-se que amostras que passaram pelo processo de anodização apresentaram uma maior resistência ao desgaste abrasivo quando comparadas com uma amostra não tratada. O processo de anodização denominado Procedimento 2 resultou na maior resistência ao desgaste abrasivo dentre os procedimentos de anodização investigados neste trabalho.

Palavras-chave: alumínio anodizado, tribologia, desgaste, micro abrasão.

1. INTRODUÇÃO

Alumínio e suas ligas são caracterizados pela excelente resistência à corrosão, baixa densidade e boa condutividade térmica, além de custo moderado. Isso faz com que sejam utilizados em diversas aplicações em engenharia. Conforme visto na parte 1 deste trabalho, o alumínio e suas ligas podem ser empregados em deslizamentos sem lubrificação, sendo o processo de anodização essencial para o aumento da resistência a esse tipo de desgaste. Nessa segunda parte do trabalho, a resistência quanto ao desgaste abrasivo das mesmas amostras será avaliado.

O desgaste abrasivo é um dos mecanismos de desgaste mais severo. É caracterizado pela perda de matéria devido ao movimento relativo entre duas superfícies com a presença de partículas duras. Tal mecanismo pode acontecer devido a ação de asperidades duras em uma das superfícies, por partículas livres entre as superfícies ou por partículas abrasivas engastadas em uma das superfícies (Demello et al. 1985; Demello et al. 1986; Hutchings 1992). Neste trabalho, houve a ação de partículas livres entre duas superfícies (fluido abrasivo entre amostra e esfera). Quando o desgaste acontece devido à ação de micro partículas, tem-se o desgaste por microabrasão.

O princípio de funcionamento do ensaio microabrasivo consiste em utilizar uma máquina de testes do tipo “esfera livre”, no qual uma esfera de aço é posicionada sobre a amostra desejada, fazendo com que ela seja rotacionada contra a superfície da amostra na presença de um fluido com pequenas partículas abrasivas (Rutherford and Hutchings 1997; Trezona and Hutchings 1999; da Silva et al. 2005) O fluido abrasivo é despejado sobre a região de contato da esfera com o material da amostra, sob a forma de gotejamento, como pode ser observado na figura 1.

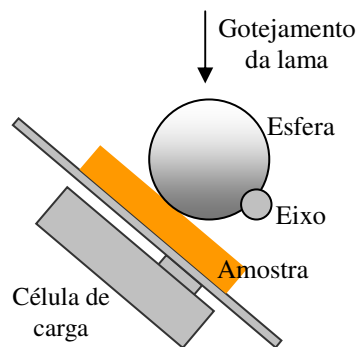


Figura 1: Desenho esquemático do ensaio de microabrasão.

Vale ressaltar que a esfera é movimentada pela rotação de um “eixo guia”, sobre o qual a esfera é posicionada, ou seja, a velocidade de deslizamento da esfera sobre a amostra é determinada pela velocidade de rotação do eixo que suporta a esfera.

O intuito do ensaio é reproduzir uma marca de desgaste na amostra com o formato da geometria da esfera. O volume de desgaste da cratera formada é calculado pela Equação 1 (Rutherford and Hutchings 1997):

$$V = \frac{\pi b^4}{64R} \quad \text{para } b \ll R \quad (1)$$

onde b é o diâmetro da calota formada na amostra e R é o raio da esfera utilizada.

Neste tipo de ensaio, verifica-se também a carga estática e dinâmica aplicada sobre a amostra, que serão usados para efeitos de referência e cálculos, respectivamente, e que são monitoradas por uma célula de carga posicionada junto ao porta-amostras.

Quando as esferas utilizadas nos ensaios possuem superfície polida, observa-se um atraso significativo entre o começo do teste e a entrada de partículas abrasivas no contato, fazendo com que neste período o fluido escoe pelas laterais do contato, produzindo um “pico” na calota esférica (Allsopp et al. 1998), como pode ser observado na figura 2.



Figura 2: Formação de “pico” devido à utilização de esfera polida; adaptado de (Allsopp et al. 1998).

Fazendo-se uso da esfera com superfície relativamente rugosa, as partículas podem acoplar-se com a rugosidade na superfície da esfera, o que provocará uma força suficiente para desalojar a partícula da amostra e recoloca-la de volta ao contato (Figura 3a), o que não acontece com a esfera polida, onde a partícula fica alojada na amostra (Figura 3b), fazendo com que ocorra uma obstrução no ingresso de outras partículas. Estudos realizados mostram que efeitos indesejáveis utilizando esfera polida são mais severos em amostras dúcteis, uma vez que as partículas abrasivas podem encaixar mais facilmente na superfície da amostra (Allsopp et al. 1998).

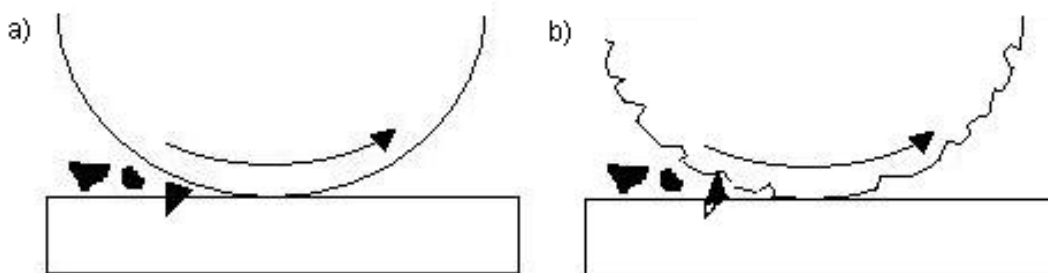


Figura 3: Diferenças entre a utilização de esfera polida e gasta, no processo de microabrasão; adaptado de (Allsopp et al. 1998).

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento do alumínio anodizado, quando submetido ao desgaste abrasivo. Na realização dos ensaios, foram utilizadas amostras de alumínio que passaram por diferentes processos de anodização. Foram realizados então ensaios de microabrasão nas amostras de alumínio, a fim de se obter o regime permanente de desgaste, e encontrar o coeficiente de desgaste abrasivo K de cada amostra, para assim relacionar o respectivo procedimento de anodização com a resistência ao desgaste abrasivo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios de microabrasão realizados em um microabrasômetro modelo Calowear. Antes de se realizar o tratamento superficial todas as amostras foram polidas.

Foram utilizadas quatro amostras de alumínio na realização dos testes, sendo que uma delas não sofreu o processo de anodização, tendo sido apenas polida, e as demais amostras sofreram procedimentos diferentes de anodização, conforme descrito na Parte 1 deste trabalho.

Nos ensaios realizados, foi ajustada uma rotação constante para o eixo de 150 rpm, o que representa uma velocidade relativa entre a esfera e o eixo de 0.11m.s^{-1} . Foram realizados ensaios a

intervalo de tempos regulares (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 minutos) no mesmo local a fim de detectar a ocorrência do regime permanente de desgaste, obtido pelos valores do coeficiente de desgaste abrasivo (K) calculado pela Equação 2 (Rutherford and Hutchings 1997):

$$K = \frac{\pi b^4}{64RSN} \quad \text{para } b \ll R \quad (2)$$

onde S é a distância de deslizamento da esfera sobre a amostra, N é a carga normal no contato medido pela célula de carga, b o diâmetro da calota formada na amostra e R o raio da esfera utilizada.

Após cada minuto de ensaio, este era paralisado a fim de coletar os valores do diâmetro da calota e da força dinâmica média. Como o diâmetro da calota tem dimensões bem reduzidas, foi necessário o uso de um microscópio ótico, que já faz parte do Calowear, para a aferição do valor do diâmetro. No procedimento de medição faz-se a medida do diâmetro da calota na horizontal e, posteriormente o diâmetro na vertical, fazendo-se em seguida uma média desses valores, obtendo assim o diâmetro b da calota que servirá de base para os cálculos do coeficiente de desgaste K .

O fluido utilizado foi uma solução abrasiva de SiO_2 com água destilada, cuja concentração foi de 75 g/cm^3 em água destilada (neste caso: 37.5g de abrasivo/50 g de água destilada). A solução abrasiva foi agitada o tempo todo ao longo do teste, a fim de evitar a deposição das partículas abrasivas.

Para a condução do abrasivo desde o agitador até a superfície de contato da esfera e a amostra, foi utilizado uma bomba peristáltica que realizou um gotejamento de abrasivo no topo da esfera a uma taxa de aproximadamente uma gota a cada dois segundos. Pode-se pensar que se trata de uma taxa de alimentação elevada, se comparada com outros experimentos já realizados, porém tal oscilação não representa variação na taxa de desgaste, uma vez que os resultados deste método são insensíveis à taxa de alimentação (Trezona and Hutchings 1999).

A esfera utilizada nos ensaios é feita de aço, e possui diâmetro de 30 mm, proporcionando uma carga estática normal à superfície da amostra de 0,5N, medido a partir da célula de carga presente no sistema. Neste método vale ressaltar as condições da superfície da esfera utilizada no ensaio, uma vez que o tipo da superfície da esfera pode acarretar em variações nos cálculos do coeficiente de desgaste. Foi utilizada uma esfera “gasta”, com um certo tempo de uso, ao invés de uma esfera com a superfície polida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 4 mostra a evolução do coeficiente de desgaste abrasivo ao longo do tempo.

As amostras demonstraram comportamentos diferentes no que se diz respeito ao coeficiente de desgaste abrasivo. A amostra Al 04, que sofreu polimento sem anodização, apresentou um elevado coeficiente de desgaste abrasivo nos primeiros ensaios, sofrendo um decaimento gradativo no valor deste coeficiente ao longo das etapas do ensaio. Tal decaimento acontece até a quarta etapa, nas etapas posteriores verifica-se a estabilização no valor do coeficiente de desgaste, evidenciando a obtenção do regime permanente de desgaste.

Os corpos de prova que passaram pelo processo de anodização apresentaram comportamento semelhante entre si, com valores de coeficientes menores que o da amostra polida sem anodização. No caso das amostras anodizadas, o coeficiente de desgaste partiu de valores pequenos, sofrendo uma leve elevação no segundo ensaio, e voltando a cair a um patamar menor nos ensaios seguintes, estabilizando-se.

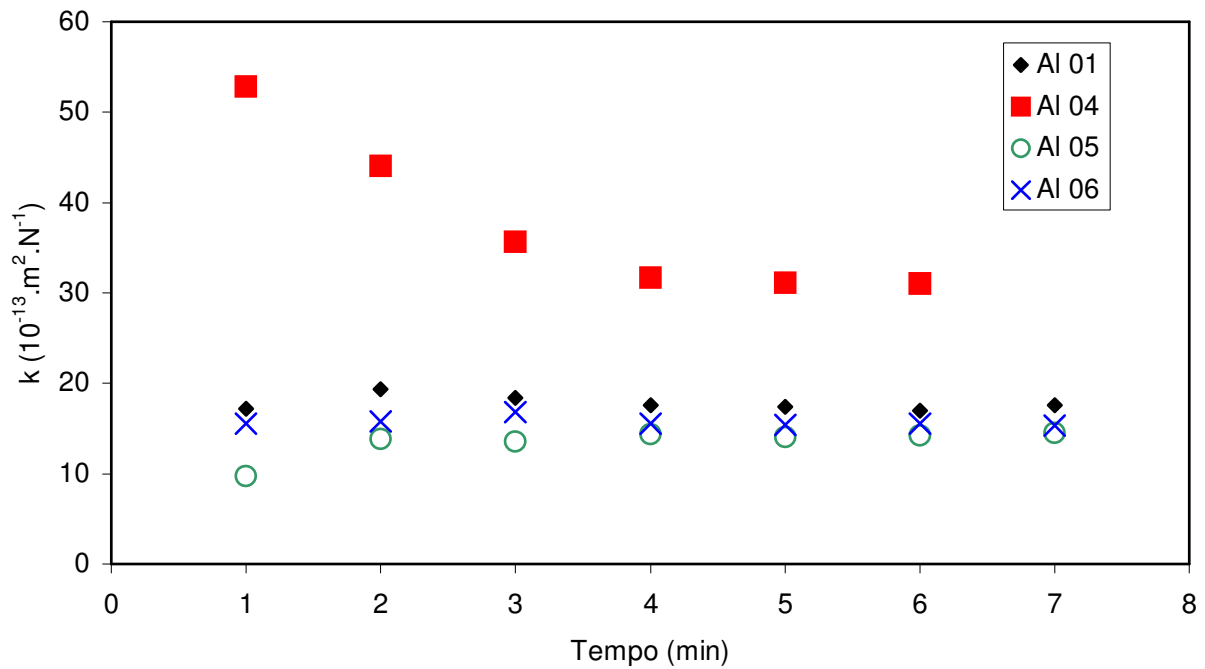


Figura 4: Evolução do desgaste ao longo do tempo.

Considerando-se que em todos os ensaios o regime permanente de desgaste tenha sido atingido a partir do quarto minuto, a figura 5 mostra os valores dos coeficientes de desgaste abrasivo de todas as amostras testadas dentro da faixa de valores em que houve a constatação do regime permanente.

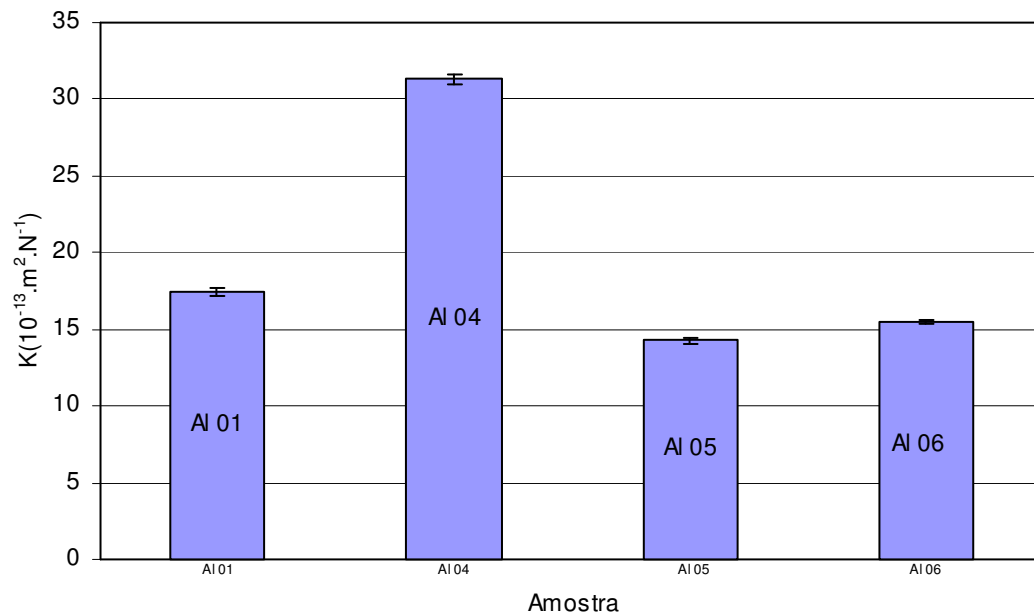


Figura 5: Coeficiente de desgaste abrasivo dentro da região de regime permanente

A amostra Al 04 foi a que apresentou o maior coeficiente de desgaste, ou seja, a que mais se desgastou ao longo do tempo de ensaio. Vale lembrar que esta amostra corresponde à amostra que sofreu apenas o polimento, sem passar pelo processo de anodização, o que demonstra a importância do processo de anodização para o aumento da resistência ao desgaste abrasivo do alumínio.

Nos ensaios de deslizamento apresentados na Parte 1 deste trabalho, também foi detectada uma redução na taxa de desgaste provocada pelo procedimento de anodização.

A amostra que passou pelo procedimento 1 (Al 01) apresentou a pior resistência ao desgaste abrasivo, dentre as amostras anodizadas. A amostra que passou pelo procedimento 2 (Al 05) apresentou a maior resistência ao desgaste abrasivo, correspondente a amostra Al 05. Todavia, quando outro corpo de prova (Al 06) sujeito ao procedimento 2 de anodização foi posteriormente colocado em um processo de alargamento de poros (procedimento 3), os resultados obtidos neste corpo de prova foram de uma leve queda na sua resistência ao desgaste abrasivo, indicando que poros maiores resultam numa queda na resistência à abrasão. Acredita-se que tal redução esteja associada à redução da capacidade de apoio desta amostra.

4. CONCLUSÕES

1. Este trabalho evidenciou a importância de se realizar o tratamento superficial em amostras de alumínio, sob o ponto de vista tribológico. Amostras que passaram pelo processo de anodização apresentaram uma maior resistência ao desgaste abrasivo quando comparadas com uma amostra sem anodização.
2. O procedimento de anodização 2 apresentou a melhor resistência ao desgaste abrasivo, em relação aos demais procedimentos de anodização utilizados neste trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos em especial ao professor André Avelino Pasa (UFSC) pelo fornecimento das amostras.

6. REFERÊNCIAS

- Allsopp, D. N., R. I. Trezona, et al. (1998). The effects of ball surface condition in the micro-scale abrasive wear test. Tribology Letters **5**(4): 259-264.
- da Silva, W. M., R. Binder, et al. (2005). Abrasive wear of steam-treated sintered iron. Wear **258**(1-4): 166-177.
- Demello, J. D. B., M. Durandcharre, et al. (1985). Abrasion Mechanisms of White Cast-Iron .1. Influence of the Metallurgical Structure of Molybdenum White Cast Irons. Materials Science and Engineering **73**(1-2): 203-213.
- Demello, J. D. B., M. Durandcharre, et al. (1986). Abrasion Mechanisms of White Cast-Iron .2. Influence of the Metallurgical Structure of V-Cr White Cast Irons. Materials Science and Engineering **78**(2): 127-134.
- Hutchings, I. M. (1992). Tribology - friction and wear of engineering materials. London, Arnold.
- Rutherford, K. L. and I. M. Hutchings (1997). Theory and application of a micro-scale abrasive wear test. Journal of Testing and Evaluation **25**(2): 250-260.
- Trezona, R. I. and I. M. Hutchings (1999). Three-body abrasive wear testing of soft materials. Wear **235**: 209-221.

TRIBOLOGICAL EVALUATION OF ANODISED ALUMINIUM. PART 2: MICROABRASION TESTS

Daniel Oliveira Araújo

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Bloco 1R, Av. João Naves de Ávila 2160, 38400-902, Uberlândia MG, Brasil
danieloliveira84@gmail.com

Tarsis Prado Barbosa

tircispb@yahoo.com.br

Roberto Lopes Salvador

ro_salvador@hotmail.com

Henara Lillian Costa

ltm-henara@mecanica.ufu.br

José Daniel Biasoli de Mello

ltm-demello@ufu.br

Abstract: *In Part 1 of this series of papers, the sliding wear behaviour of anodized aluminum was investigated. In the present paper, the microabrasion wear resistance of aluminum samples subjected to three different anodising procedures was evaluate.*

Free-ball microabrasion wear tests were used. In these tests, a steel sphere rotates on the sample saurface in the presence of a fluid containing small abrasive particles. A abrasive solution containing SiO₂ particles in distilled water was fed under gravity on the contact region between the sphere and the sample. Calculations based on the measurements of the spherical crater allowed the determination of the wear volume and the wear coefficient. The shaft velocity responsible for the sphere rotation was 150 rpm. Tests were carried out at regular time intervals (1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 minutes) on the same location in order to determine the occurrence of a steady-state wear regime. A worn sphere was used so that the abrasive particles could adjust to the sphere surface roughness, promoting forces strong enough to remove the particles from the sample and replace them into the contact, which would not be possible with a polished sphere.

The results showed that the anodized samples had a higher wear resistance when compared with an untreated sample. The anodizing procedure called Procedure 2 lead to the highest abrasive wear resistance amongst the procedures tested in this work.

Keywords: *Anodized aluminum, tribology, wear, microabrasion.*