

RESISTÊNCIA À FADIGA TÉRMICA EM ALUMINA

Túlio Pinaud Madruga - Tmadruga@vortex.ufrgs.br
 Carlos Pérez Bergmann - Bergmann@vortex.ufrgs.br
 UFRGS -EE- DEMAT Av. Osvaldo Aranha 99/705 POA RS, CEP 90035-190
 José Carlos Bressiani - Jbressia@net.ipen.br
 IPEN-Divisão de Materiais, Travessa R 400 São Paulo SP CEP 05508-900

RESUMO

Este trabalho investiga a ocorrência de fratura em amostras de alta alumina submetidas ao regime de fadiga térmica. Para tanto foram fabricados por compactação unidirecional de duplo efeito corpos-de-prova (CP's) de alumina sinterizada de alta pureza, nas dimensões de 5x5x50mm³. Os CP's foram sinterizados a 1600°C ao ar. O ciclo térmico consistiu em introduzir os CP's no forno a 1000°C durante um tempo necessário para equalizar a temperatura, sendo em seguida submetidos a resfriamento forçado sob um fluxo de ar soprado até que fosse atingida a temperatura de 250°C na superfície da peça. Um sistema pneumático foi montado com o objetivo de automatizar esta operação. Antes e após a ciclagem térmica, foi determinada a resistência mecânica. Foi verificada a diminuição da resistência mecânica e o desenvolvimento de micro-trincas na superfície dos CP's. Aspectos microestruturais foram relacionados com a variação da resistência mecânica.

INTRODUÇÃO

A fadiga é tradicionalmente conhecida como sendo a ruptura que os materiais sofrem sob a ação de tensões cíclicas. Tal fenômeno tem sido responsável por cerca de 80% das falhas em materiais sob as condições normais de serviço⁽¹⁾. Raramente os materiais são desenvolvidos com vistas a melhorar seu desempenho sob esforços cíclicos, seja de origem térmica ou mecânica. Para os metálicos, um amplo conhecimento tem sido acumulado na literatura especializada, mas em relação aos cerâmicos, em particular as aluminas, ainda são poucas as informações disponíveis⁽¹⁾.

Devido a suas propriedades, a alumina é largamente empregada quando se exige resistência mecânica em altas temperaturas. Desta forma, há necessidade de se conhecer o comportamento desse material sob variação cíclica de temperatura, e sua susceptibilidade ao fenômeno conhecido como fadiga térmica.

Fadiga Térmica. Fadiga é um processo que resulta de uma progressiva e permanente modificação estrutural, produzindo uma trinca que nucleia e se propaga em materiais sujeitos a solicitações cíclicas. Isso ocorre mesmo sob tensões abaixo do necessário

para provocar a falha sob condições de carregamento estático.

Quando um corpo sólido é aquecido ou resfriado, surgem tensões térmicas que são tensões induzidas em um corpo como resultado da mudança de temperatura. Dependendo da sua magnitude, podem provocar a nucleação, propagação de trincas e até mesmo fraturas em materiais frágeis. Estas tensões são estabelecidas por gradientes de temperatura através do corpo, causados pelo rápido aquecimento ou resfriamento, onde a mudança de temperatura na superfície é mais rápida do que no interior. Por exemplo, no resfriamento, a temperatura na superfície é rapidamente reduzida em relação ao interior, havendo uma contração maior do que nas regiões internas. Desta forma os elementos de volume interno funcionam como restrição à contração dos elementos de volume externo, gerando tensões de tração na superfície e compressão no núcleo (Figura 1). O quadro é revertido quando sob condições de aquecimento⁽²⁾. A expressão que define a tensão térmica gerada por diferença de temperatura é dada por

$$\sigma = \frac{E\alpha}{1-\mu} \Delta T \quad (A)$$

onde σ é a tensão de origem térmica, E é o módulo de elasticidade, α coeficiente linear de expansão térmica, μ é o coeficiente de Poisson e ΔT é a diferença de temperatura.

Se, no material frágil, a tensão gerada pela diferença de temperatura for maior do que a capacidade do material de absorvê-la, resultará a propagação de uma trinca, caracterizando o fenômeno de choque térmico. Na fadiga térmica, a tensão gerada pela diferença de temperatura é sempre menor do que a capacidade do cerâmico de absorvê-la.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a confecção dos CP's, utilizou-se como matéria-prima uma alumina de alta pureza (APC3017 ALCOA) contendo 0,6% de MgO com o objetivo de evitar crescimento exagerado de grãos. Os CP's foram prensados uniaxialmente nas dimensões 50x5x5mm³. Em seguida procedeu-se a sinterização a 1600°C ao ar.

ANAI DO 42º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA
4 IBEROAMERICANO DE CERÂMICA VIDRIOS Y REFRACTARIOS

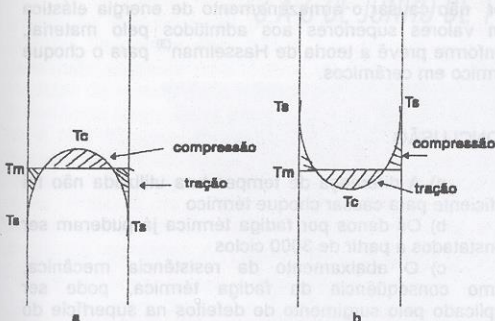


Figura 1: Distribuição de temperatura e tensão em uma placa a) resfriada e b) aquecida a partir da superfície

O ensaio de fadiga térmica consistiu em introduzir os CP's em um forno aquecido a temperatura de 1000°C sendo em seguida submetidos a resfriamento sob um fluxo de ar soprado. Os CP's permaneceram 4 minutos no interior do forno e 1 minuto sob a ação do fluxo de ar soprado (atingindo aproximadamente 250°C). Um sistema pneumático foi montado com o objetivo de automatizar esta operação (Figura 2).

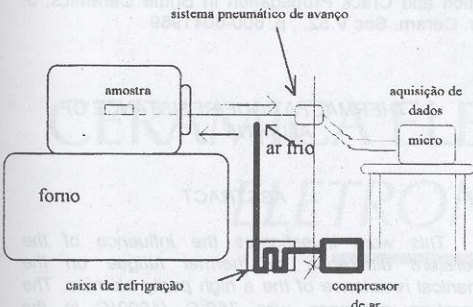


Figura 2. Ilustração do equipamento utilizado nos ensaios de fadiga térmica.

Após a repetição sistemática de um mesmo ciclo térmico, foi determinada a resistência mecânica dos CP's para um número crescente de ciclos.

Os ensaios de resistência mecânica à flexão foram realizados utilizando-se uma máquina de ensaios universais, marca ATS, à qual foi conectado um computador para a aquisição de dados

A tensão de fratura foi calculada pela expressão da resistência dos materiais conforme a equação abaixo

$$\sigma = \frac{3eF_{max}}{bh^2} \quad (B)$$

para um CP esquematizado na Figura 3, onde F é a força crítica de flexão.

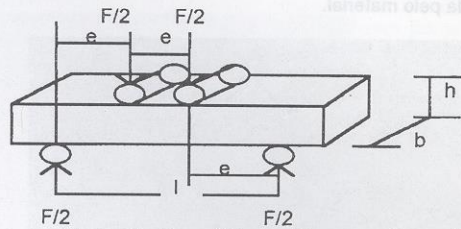


FIGURA 3. Geometria do CP e a configuração do carregamento para a obtenção das tensões de fratura.

As forças foram transmitidas por meio de cilindros de aço, para minimizar os efeitos do atrito. A geometria dos CP's, bem como a configuração do carregamento são mostrados na mesma figura.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o aumento do número de ciclos, fica evidente a tendência de diminuição da resistência mecânica, observada na figura 4, que pode ser atribuída a um aumento do tamanho do defeito controlador da resistência mecânica.

FADIGA TÉRMICA

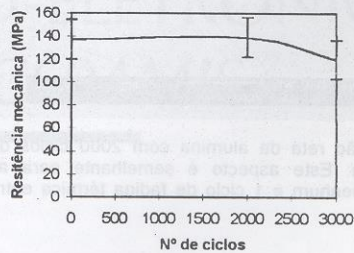


Figura 4. Curva de fadiga térmica de alumina de alta pureza mostrando a resistência mecânica de CP's após ciclagem térmica.

Nas micrografias obtidas no MEV pode-se observar a presença de trincas subcríticas nas amostras submetidas a 3000 ciclos (Figura 5), oriundas de fadiga térmica e responsáveis pela diminuição da resistência mecânica medida (Figuras 4). Defeitos desta magnitude não foram encontrados em amostras submetidas ao ciclamento de até 2.000 vezes (Figura 6). O fato do material mostrar comportamento idêntico desde com

nenhum ciclo até dois mil ciclos, evidenciou que a repetição sistemática até estes valores não foi suficiente para armazenar energia elástica em valores superiores à admitida pelo material.

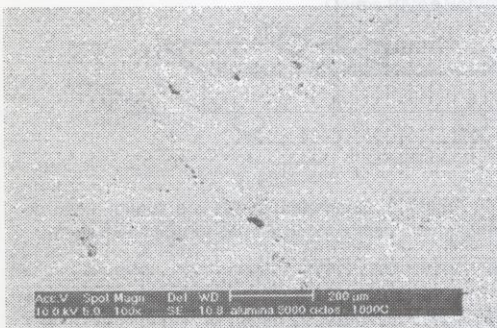


Figura 5. Aspecto da seção reta de alumina após 3000 ciclos de fadiga térmica entre 1000 e 250°C, onde se observa o surgimento de micro-trincas

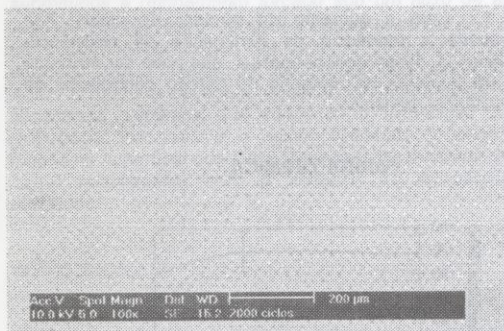


Figura 6. Seção reta da alumina com 2000 ciclos de fadiga térmica. Este aspecto é semelhante para as situações de nenhum e 1 ciclo de fadiga térmica entre 1000 e 250°C.

Entretanto valores de resistência mecânica após 3.000 ciclos mostraram que as energias elásticas desenvolvidas pela ciclagem térmica ultrapassaram a capacidade dos materiais em absorvê-las, promovendo sua transformação na forma criação de novas superfícies de trincas⁽³⁾. A diminuição dos valores de resistência mecânica observada no gráfico da figura 4 e a visualização das trincas criadas em 3000 ciclos (Figura 5), mostram que a resistência diminuiu devido ao aumento do defeito controlador.

O mesmo valor obtido nas condições de nenhum ciclo térmico e um ciclo térmico, indicam que não houve propagação de trinca sob condição de choque térmico, mostrando que a diferença de temperatura ensaiada não

por não causar o armazenamento de energia elástica em valores superiores aos admitidos pelo material, conforme prevê a teoria de Hasselman⁽³⁾ para o choque térmico em cerâmicos.

CONCLUSÃO

- A diferença de temperatura utilizada não foi suficiente para causar choque térmico
- Os danos por fadiga térmica já puderam ser constatados a partir de 3000 ciclos
- O abaixamento da resistência mecânica, como consequência da fadiga térmica, pode ser explicado pelo surgimento de defeitos na superfície do material.

BIBLIOGRAFIA

- Dauskardt, R.H., A Frictional Wear Mechanism For Fatigue-Crack Growth In Grain Bridging Ceramic, *Acta Metall. Mater.*, 41,9(1993)2765-2781
- Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R., *Introduction to Ceramics* New York, John Wiley 1975.
- Unified Theory of Thermal Shock Fracture Initiation and Crack Propagation in Brittle Ceramics, *J. Amer. Ceram. Soc.* V.52, , p. 600-604 1969

THERMAL FATIGUE RESISTANCE OF ALUMINA

ABSTRACT

This work investigates the influence of the temperature difference by thermal fatigue on the mechanical resistance of the a high purity alumina. The temperature difference was 750°C (1000°C in the furnace and 250°C in air). Cycles of 1, 2000 and 3000 times were carried out. The mechanical resistance was measured by a four points flexural strength before and after the thermal cycle. It was observed that the mechanical resistance decreases with the increase of the cycles as function of the superficial cracks. The cracks were produced by thermal fatigue after 3000 cycles.