
UM NOVO MÉTODO PARA CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS EM MATERIAIS CERÂMICOS

Eduardo A. de Carvalho

Professor Adjunto – LAMAV/CCT – UENF

Av. Alberto Lamêgo, 2000 – Campos dos Goytacazes/RJ – CEP 28015 – 620

Resumo

As dificuldades associadas à determinação de propriedades mecânicas em materiais cerâmicos, seja pela fragilidade intrínseca do material, seja pelo desalinhamento de barras de tração nos métodos tradicionais utilizados para metais, levou à proposição de um novo método de trabalho. O método proposto não se utiliza de contatos mecânicos para aplicação de carregamento, porém de radiação de uma emissão laser. Aqui é apresentado um caso estudado onde o método determina, com sucesso, a Tenacidade, a Fratura de um corpo de prova em forma de disco feito de nitreto de silício.

1. Introdução

Para que exista uma efetiva utilização de materiais cerâmicos em situações onde tensões mecânicas e térmicas estejam presentes é necessário que exista um conhecimento das suas propriedades termomecânicas. Porém, os métodos tradicionais tais como ensaio de tração e de fadiga de baixo ciclo, esbarram na fragilidade intrínseca do material. Para testes onde é necessário que haja alguma forma de acoplamento do corpo de prova a garras ou mecanismos de fixação, geralmente o espécimen cerâmico se quebrará pela ação de contato das garras sobre as extremidades do mesmo, inutilizando o teste antes mesmo que qualquer carga seja aplicada ao corpo de prova. Caso as garras sejam revestidas de

materiais macios como ligas de cobre, então não é possível afirmar que não houve escorregamento do corpo de prova durante o teste. Um segundo fator a impedir o uso de técnicas tradicionais de ensaio na determinação de propriedades mecânicas de materiais cerâmicos é a presença de desalinhamento entre as barras de tração das máquinas de ensaio, gerando momentos no plano de carregamento do corpo de prova ou na direção transversal (Figura 1).

Em caso de materiais metálicos este efeito geralmente é desprezível, mas em materiais frágeis como os cerâmicos, ocorre superposição de tensões flexivas que resultam na presença de valores espúrios associados aos reais quando da determinação de propriedades mecânicas. Estes resultados podem destruir o corpo de prova antes que o nível de tensões atinja o valor de teste.

Outros métodos de difícil aplicação são testes de dureza, já que parte da energia gasta na formação da indentação é desviada para a formação de superfícies (trincas) no plano transversal ao da indentação, acarretando em profundidades de indentações menores e por conseguinte, em valores de propriedades distorcidos [1].

2. Método Proposto

Um novo método que se utiliza de tensões térmicas induzidas num corpo de prova circular por um laser de CO₂ é proposto, removendo assim a transferência de carga de teste por vias mecânicas [2].

A presença de um fecho de laser aquecendo o centro do disco (Figura 2),

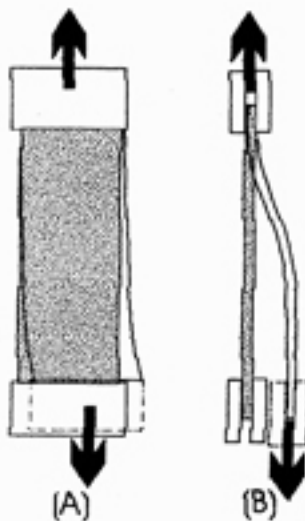


FIGURA 1

Momentos fletores são gerados no corpo de prova devido (a) desalinhamento no plano de tração e (b) no plano transversal de carregamento.

gera uma região de temperaturas mais altas que no resto do disco, fazendo surgir uma região compressiva no centro do disco e nas regiões mais afastadas deste mesmo centro, uma tensão trativa. A presença desta tensão trativa pode ser portanto explorada para fins de avaliação de propriedades mecânicas. O método tem como vantagem sobre outros propostos [3,4] a utilização apenas do canhão laser, sem necessitar nenhum arranjo de elementos óticos sofisticados além de prever resultados confiáveis com o aquecimento de apenas um lado do corpo de prova, caso a cerâmica estudada apresente alta condutividade térmica.

Outras vantagens não desprezíveis são a possibilidade de que se controle o diâmetro da emissão laser permitindo que se manipulem a magnitude das tensões de origem térmica, a potência aplicada e a duração de cada pulso e de intervalos, além da emissão em comprimento de onda bem conhecido (10.6 mm no caso do laser de CO₂), o que permite

um estudo também dos efeitos da radiação emitida sobre as propriedades óticas e de absorção do material estudado.

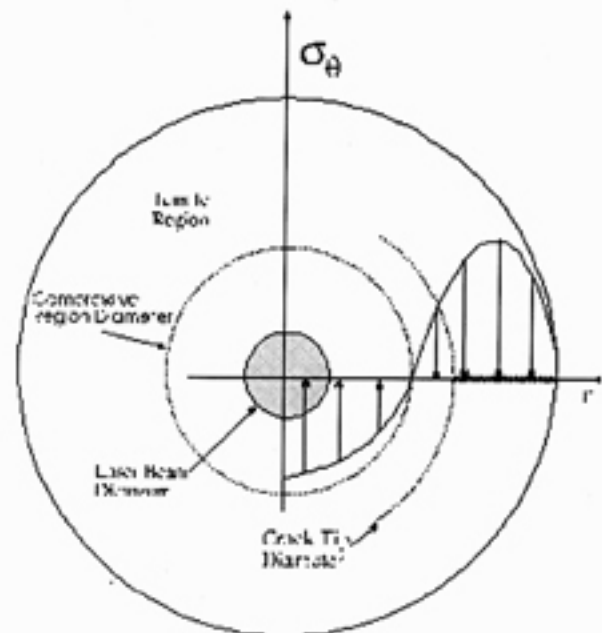


FIGURA 2

Tensões de origem térmica, causadas pela ação de um fecho de emissão laser.

Essa tensão é produto de uma distribuição de temperaturas conhecidas, determinadas pelo uso de câmera filmadora operando no espectro infravermelho. Depois de se coletarem as variações nas posições e temperaturas, um polinômio de quarta ordem, somente com termos pares, é utilizado para representar a distribuição de temperaturas:

$$T(r,t) = a_0(t) + a_1(t)r^2 + a_2(t)r^4 \quad (1)$$

Sendo os termos a_n determinados pelo uso de um método super-determinístico e r descrevendo a posição radial da temperatura. As tensões para este caso estudado foram descrita por Boyle [5]:

$$\sigma_r = \alpha E \left[\frac{1}{R^2} \int_0^R T r dr - \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr \right] \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \alpha E \left[\frac{1}{R^2} \int_0^R T r dr + \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr - T \right] \quad (3)$$

3. Um Caso Estudado

Essa tensão trativa será então utilizada para propagar uma trinca a partir de um entalhe em U, inclinado de um ângulo de 6° (ver Figura 3), como determinado por De Carvalho [1], para que exista na raiz do entalhe do corpo de prova um ponto mais próximo ao centro.

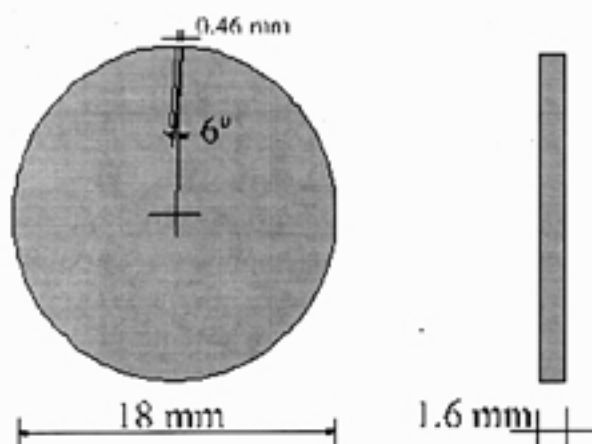


FIGURA 3

Corpo de prova utilizado na aferição do método proposto. O material empregado foi nitreto de silício.

Com os dados obtidos pelo método, é possível avaliar a Tenacidade a Fratura do material, para o Modo I de abertura K_{Ic} , já que a tensão trativa de origem térmica reinante no corpo de prova foi calculada a partir das distribuições de temperaturas registradas, utilizando-se as expressões (2) e (3). Esta tensão assim determinada, é aplicada em dois modelos desenvolvidos para Mecânica da Fratura Linear Elástica [6,7,8] e mais um modelo composto [9].

Cinco corpos de prova foram submetidos ao teste proposto e, em todos, o ponto de iniciação da trinca foi o mesmo. Isto indica que a abertura de trinca se deveu às tensões descritas neste trabalho e não a alguma falha ou micro trinca presente no material ou decorrente da preparação dos corpos de prova (Figura 4). O acabamento superficial, feito com pasta de diamante, tamanho de grão igual a 6 μ m, garantiu que a rugosidade superficial

também não intervisse na iniciação da trinca.

Os resultados são apresentados na Figura 5.



FIGURA 4

Ponto de iniciação da trinca numa das faces do disco. Este ponto se repetiu em todos os outros casos estudados e em ambos os lados de cada corpo de prova

Model	Model	K_{Ic} (MPa \sqrt{m})
Tweed ¹⁰		4,7E
Kooker ¹¹		4,61
ASTM ¹²		2,56
Mixed Solution		4,81
Condyne ¹³		5,0

FIGURA 5

Diversos resultados obtidos utilizando-se as tensões obtidas pelo método aplicadas a modelos da literatura.

4. Conclusões

O método proposto pode servir como instrumento de medida e avaliação de propriedades mecânicas de materiais frágeis,

sendo que a simplicidade do setup ótico garante o baixo custo relativo do método.

A observação dos valores obtidos na literatura, bem como o proposto pelo autor, indica a convergência de valores, exceto quanto ao valor obtido pela norma ASTM, o que não se constitui surpresa dadas as condições de contorno deste modelo apresentar carga concentrada e não tensões distribuídas.

4. Referências Bibliográficas

- [1] DE CARVALHO, Eduardo Atem. Characterization of the effect of severe environment on advanced materials (Tese de Doutorado). Doutorado em Engenharia Mecânica, Texas A&M University, 1997. 220 p.
- [2] DE CARVALHO, E.A., BURGER, C.P., CHONA, R. A proposed new method to evaluate fracture toughness in brittle materials. Submetido a SEM Spring Conference on Experimental and Applied Mechanics, Houston, 1998.
- [3] SCHNEIDER, G.A., PETZOW, G. Thermal shock testing of ceramics - A new testing method, Journal of American Ceramic Society, v. 74, p. 98-102, 1991.
- [4] AKYIAMA, S., AMADA, S. A new method to evaluate the thermal shock resistance of ceramics by laser pulse radiation, Fusion Technology, v. 23, p. 426-434, 1993.
- [5] BOLEY, Bruno A., WEINER, Jerome H., Theory of Thermal Stresses, Krieger, Malabar, FL, 1960.
- [6] TWEED, J., ROOKE, D.P., The stress intensity factors of an edge crack in a finite elastic disk, Int. J. of Eng. Sciences, v. 11, p. 65-73, 1973.
- [7] ROOKE, D.P., TWEED, J., The stress intensity factors of a radial crack in a finite rotating disk, Int. J. of Eng. Sciences, v. 11, p. 279-290, 1973.
- [8] E 399-90, Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials, ASTM, Philadelphia, 1990.
- [9] DE CARVALHO, E.A., BURGER, C.P., CHONA, R. Stress and Temperature distributions for controlled laser radiation. Em fase de revisão pelo comitê revisor da revista Experimental Mechanics, data de publicação a ser definida.