

Aplicação Experimental da Técnica de Emissão Acústica em Materiais Cerâmicos de Carbetos de Silício (CSi)

Nestor Carlos de Moura¹

¹Moura & Fiorito / UNITAU

Francisco Plorino Neto²

²CTA-IAE

Carlo Glusepe Filippin³

³LACTEC

Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia⁴

⁴UNITAU

José Rubens de Camargo⁵

⁵UNITAU

Resumo. A aplicação estrutural dos materiais cerâmicos tem como obstáculo à sua expansão, características inerentes à sua fragilidade. A dispersão dos valores de tensão de ruptura e, conseqüentemente a ruptura frágil, fazem com que os métodos convencionais aplicados para a caracterização dos materiais dúcteis não sejam suficientes para gerar dados confiáveis, e que possam ser aplicados diretamente aos projetos. Neste trabalho, foi utilizada a técnica de avaliação não destrutiva por emissão acústica em corpos-de-prova de carbetos de silício (CSi), ensaiados em compressão diametral e por flexão. Os corpos-de-prova foram submetidos a diferentes níveis de carregamento, interrompidos em função da emissão de sinais acústicos. Com o uso de líquidos penetrantes, foram avaliados os danos provocados nos corpos-de-prova associados ao carregamento e aos parâmetros de emissão acústica medidos, abrindo uma importante perspectiva para o uso desta técnica para o monitoramento do ensaio de ruptura destes materiais.

Palavras Chave. Emissão acústica. Materiais cerâmicos. Carbetos de silício.

An Experimental Application of the Acoustic Emission (AE) Technique in the Erichsen Cupping Test of Carbon Steel Sheets

Abstract. The structural applicability of the ceramic materials has as a drawback to its expansion, characteristics inherent to its brittleness. The spreading of the values of the strength and the brittle fracture make the conventional methods applied to the characterization of the ductile material not enough to generate reliable data, that can be directly applied to the projects. In this work, it has been used the non destructive evaluation technique by acoustics emission in silicon carbide disc specimens under diametrical compression loading. The samples were submitted to different levels of loading in terms of the acoustics response. With the use of liquid penetrant inspection method, it has been evaluated the damages caused to the specimens associated to the loading level and to the measured acoustics standard, bringing new expectations to the use of this technique for the monitoring of the rupture test of these materials.

Keywords. Acoustic emission. Ceramic materials. Silicon Carbide.

1. Introdução

Atualmente, na área de materiais cerâmicos, observa-se um constante desenvolvimento em busca da interação entre a função teste e a função "projeto" visando o aproveitamento do potencial destes materiais, em aplicações estruturais, principalmente em temperaturas elevadas.

Para a caracterização destes materiais é necessário estabelecer uma relação entre as características do material e suas propriedades e destas com um critério de desempenho do componente a ser projetado (McCauley, 1984).

A busca de confiabilidade e reprodutibilidade nos dados obtidos em laboratório por intermédio de diferentes métodos de ensaio soma-se então à necessidade de extrapolar os valores obtidos com corpos-de-prova para o projeto dos componentes reais.

Desta forma, além do estudo de novas geometrias de ensaio (Stanley, Sivill e Fessler, 1976), outras ferramentas são utilizadas isoladamente ou em conjunto com estas técnicas.

Neste trabalho foram utilizadas métodos de ensaios não-destrutivos na condução e monitoramento do ensaio de compressão diametral em disco (Carniero e Barcelos, 1953; Akazawa, 1953; Shaw, Braidon e De Salvo, 1975). Os métodos utilizados foram os de emissão acústica (ASME, 1997) e o dos líquidos penetrantes (ASME, 1986; ASME, 1999). Provavelmente, os primeiros usuários da emissão acústica para tais finalidades técnicas tenham sido os fabricantes de potes cerâmicos. Para verificar a qualidade de seus produtos, os artesãos utilizavam o som das rachaduras emitido pelos potes enquanto esfriavam nos fornos. Estas emissões são sinais precisos de que os potes estão com defeitos e vão quebrar (Moura, 1993). Estando as fontes de emissão acústica relacionadas a variações no estado de tensões do material via esforço mecânico ou gradiente de temperatura, temos que, sem tensão (carregamento) não há emissão. Assim, os laboratórios a inspeção por emissão acústica pode ser de grande ajuda acoplada aos ensaios de materiais e estudo de deformação e fratura. Com esta técnica é possível ter uma indicação imediata da resposta e do comportamento do material sob carregamento, intimamente ligada com a resistência, com os danos causados pelo carregamento e as falhas

(Adrian, 1989). Em termos de análise, a ductilidade leva a uma emissividade de sinais com baixa amplitude e baixas energias, enquanto a maior rigidez proporciona sinais de altas amplitudes e energia, indicando a potencialidade desta metodologia para determinação de integridade de estruturas durante ou após sofrerem incrementos de tensões, conferindo maior confiabilidade aos valores de tensão obtidos nos ensaios de materiais cerâmicos. A inspeção por líquidos penetrantes, normalmente utilizada como complemento da inspeção visual para eliminar amostras defeituosas, e foi utilizada neste trabalho para visualização das trincas geradas durante os ensaios.

DRAFT

2. Metodologia Experimental

O ensaio consistiu em se ensaiar corpos-de-prova (discos) em compressão diametral e monitorá-lo com o uso da técnica de emissão acústica. Diferentes amostras foram submetidas a carregamentos crescentes, a partir de 5 kN até 25 kN onde a ruptura tende a ocorrer. Foram utilizados corpos-de-prova de carbetto de silício do tipo REFEL (Popper, 1970; Forrest e Kennedy, 1960) (obtido por reação de sinterização), compactado e sinterizado pela indústria TENMAT, por intermédio da Universidade de Manchester - Inglaterra. Os corpos-de-prova ensaiados tem diâmetro de 30 mm e espessura de 3 mm.

O ensaio foi feito em um máquina hidráulica de ensaio universal, marca WOLPERT, modelo AZ 2500 com taxa de deslocamento de 0,5 mm/min, do laboratório de ensaios do CTA-IAE.

O equipamento utilizado para monitoramento por emissão acústica foi uma MicroDisp de 4 canais do fabricante *Physical Acoustics Corporation* equipada com sensores do tipo R15I, da Petrobras, conforme apresentado na Figura 1.

Foram utilizados dois sensores Mod. R15 e R15i posicionados na base e dispostos simetricamente a 15 centímetros do corpo-de-prova.

Foram obtidas curvas associando número de contagens com amplitude, energia x tempo, contagem x tempo, amplitude x tempo e carga x tempo. Onde a contagem esta relacionada com a magnitude do sinal de emissão acústica, conjuntamente com amplitude estabelecendo entre elas a energia do sinal.

Nos corpos-de-prova em que o carregamento foi interrompido, foram feitas inspeções por líquidos penetrantes para detectarmos trincas e associá-las ao carregamento e as curvas acústicas geradas.

O líquido penetrante utilizado foi o fluorescente do tipo FP-22 da FORSTER-IMADEN, por sua maior sensibilidade e, principalmente, pelo contraste obtido com a coloração escura do Carbetto de Silício. O emulsificador foi o EP-85-A e o revelador foi o D 100. A inspeção é feita com a utilização de Luz Negra.



Figura 1. MicroDisp da *Physical Acoustics Corporation*.

3. Resultados e Discussão

Após alguns corpos-de-prova terem sido carregados até a ruptura, foi verificado que as curvas geradas tem um aspecto característico. Estas curvas são mostradas na Fig. (2) e referem-se a um corpo-de-prova cuja ruptura ocorreu com um carregamento de 24 kN. A partir desta curva, uma seqüência de ensaios foi realizada onde os carregamentos foram interrompidos respectivamente após atingirem 5, 10, 15 e 20 kN. Estes corpos-de-prova foram então inspecionados por líquidos penetrantes e estão mostrados na Fig. (3).

O conjunto de gráficos da Fig. (2) compõe o espectro de curvas obtidas durante o monitoramento acústico e mostram de cima para baixo:

1. a contagem em função da amplitude destes;
2. a energia gerada pelo sinal em função do tempo;
3. a contagem de sinais em função do tempo;
4. a amplitude dos eventos em função do tempo;
5. o carregamento a que foi submetido o corpo-de-prova em função do tempo.

A curva A da Fig. (2), identifica o comportamento característico de um material, neste caso um corpo-de-prova de SiC-REFEL caminhando à ruptura durante aplicação de uma carga com monitoramento por emissão acústica. É importante ressaltar a existência da região inicial com uma densidade alta de eventos e de amplitude baixa, que caracteriza movimentos de acomodação do material e movimentações internas em função do carregamento. São eventos acumulativos de baixa amplitude. A medida que estes eventos vão ocorrendo, há um coalescimento que forma a trinca. Neste caso, a falha se propaga com maior intensidade gerando sinais com amplitudes acima de 60 dBs, onde se percebe altas contagens numa alta amplitude. A partir daí, tem-se o aumento da amplitude e do número de contagens de forma não densa e crescente, indicando que não estão mais ocorrendo acomodações e sim a propagação de uma falha culminando com a ruptura em regiões com amplitudes altas. A característica desta propagação é a rapidez com que ocorre e que pode ser notada pelos demais gráficos que compõem a Fig. (2).

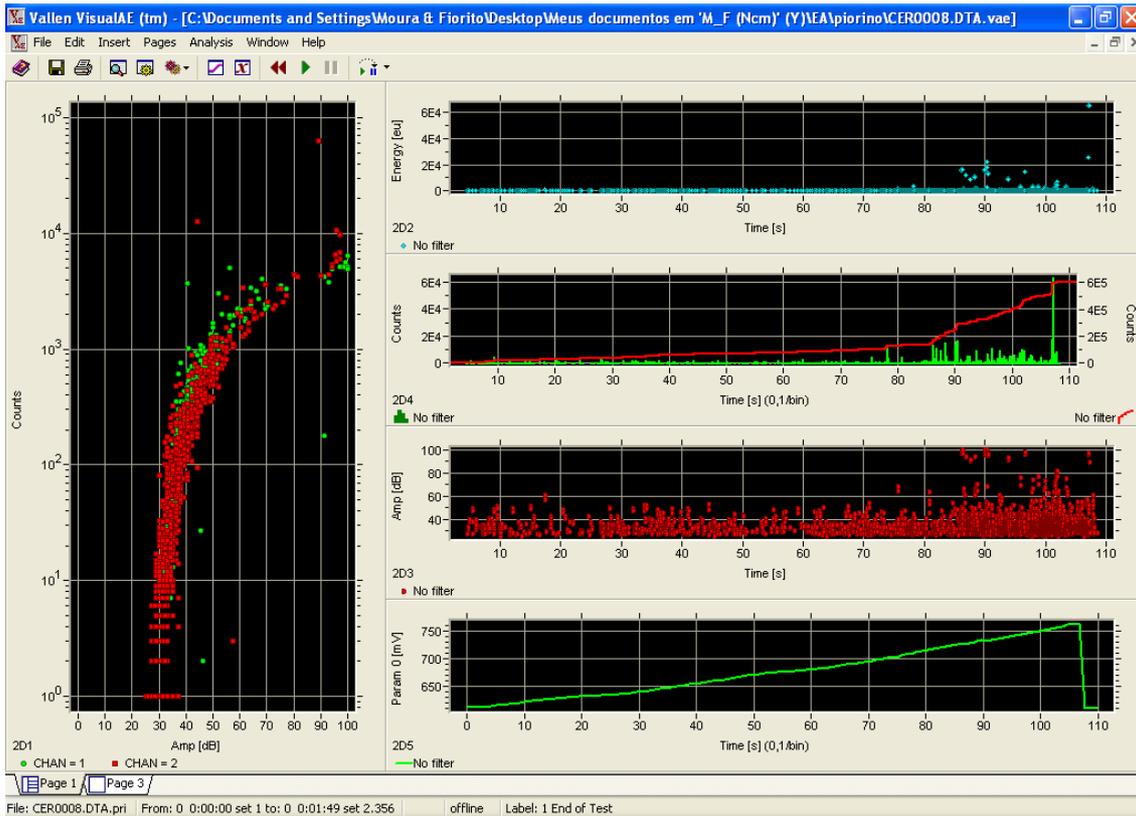


Figura 2. Gráficos de emissão acústica resultantes do monitoramento do ensaio de ruptura por compressão diametral em discos de SiC-REFEL.

Pelos gráficos B, C e D, pode-se perceber a propagação da trinca pela alta energia liberada, aumento da contagem e da amplitude em um curto intervalo de tempo, diretamente relacionado pelo tempo com o pico do carregamento que levou o material a fraturar.

A energia e amplitude se mantendo baixas e não se repetindo em um segundo carregamento mostram que houve uma redistribuição de tensões e a estrutura suporta as tensões previamente submetidas, caracterizando a não formação de trincas ou atividade em discontinuidades. Observa-se também, que no momento de propagação da trinca há um incremento considerável nos valores de amplitude e contagem e a tendência na curva A de formação de um desenho semelhante à uma semi parábola, caracterizando assim o fenômeno.

Em função destas observações, as amostras foram submetidas a carregamentos crescente e individuais para cada corpo-de-prova, como já relatado, para avaliar os danos provocados no material em função do carregamento e sua correlação com as curvas de emissão acústica. Os corpos-de-prova mostrados na Fig. (3) são os carregados com 5, 10, 15 e 20 kN e os danos provocados pelo carregamento puderam ser detectados pela inspeção por líquidos penetrantes. Percebe-se o aumento do nível dos danos que ocorreram no corpo-de-prova com o aumento do carregamento. Para o carregamento em 5 kN, a curva apresentou alta densidade de eventos de baixa amplitude e energia, como a inspeção por líquidos penetrantes nada mostrou, há uma indicação de que os movimentos detectados foram principalmente de acomodação e não causaram danos na amostra. Uma

análise a ser feita em trabalho futuro será o de avaliar se realmente não houve danos no material. Isto será feito recarregando o corpo-de-prova no mesmo nível e avaliando a nova curva de emissão acústica. Pelo número dos sinais, pode-se inferir sobre danos permanentes ou integridade estrutural.

Nos demais corpos-de-prova os danos são visíveis e aumentam de intensidade. As respectivas curvas de emissão acústica já indicam maiores amplitudes, porém sem um grande aumento na energia, a não ser para a amostra carregada com 20 kN onde uma maior liberação de energia foi observada. Para os níveis de 10 e 15 kN, o ensaio forneceu um dado importante para melhoria da metodologia de teste, pois percebe-se o início das trincas na região de contato, que não é a região de controle do ensaio. Um maior cuidado deve ser dado à esta região, como o uso de interface que amenize as tensões de contato. Estas, embora tenham um efeito localizado, influenciam diretamente na caracterização de materiais cerâmicos.

Um estudo mais apurado da curva de emissão acústica característica do material permite monitorar as diferentes fases durante o ensaio. Amostras com qualidade diferente da média do lote a ser ensaiado poderiam ser identificadas e desqualificadas para compor o resultado final da análise, inclusive evitando sua interferência na análise estatística peculiar aos materiais cerâmicos.

Pelas avaliações feitas neste trabalho, há indicação também, de que é possível determinar-se um nível de amplitude máxima sem interromper um carregamento, considerando também a energia envolvida, de forma a se evitar a degradação do material e/ou ainda de se tentar evitar a formação de uma trinca ou sua que sua propagação leve a ruptura do material.

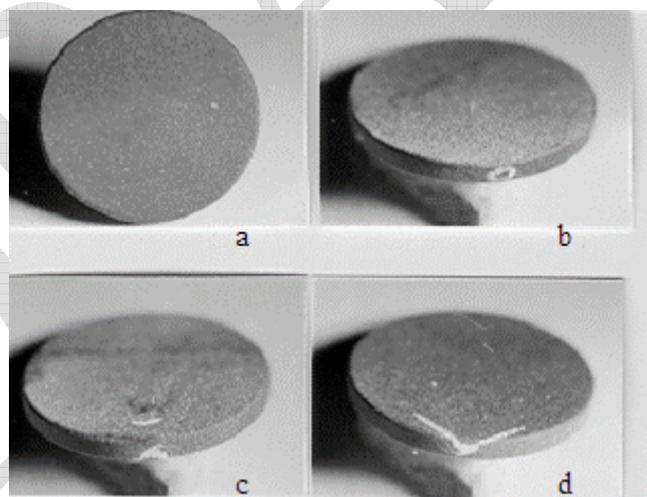


Figura 3. Mostra os corpos-de-prova que foram carregados, respectivamente com: a = 5 kN, b = 10 kN, c = 15 kN e d = 20 kN

4. Conclusões

Os resultados preliminares apresentados neste trabalho mostraram direções para a continuidade deste estudo ao mostrar o potencial desta técnica em conjunto com ensaios de caracterização mecânica.

Foi possível detectar uma falha na metodologia de ensaio utilizada pela observação de trincas originaria de tensões de contato, ocorridas com baixo carregamento e cuja interferência nos resultados de ruptura são consideráveis. A técnica de emissão acústica pode, então além de monitorar o ensaio, checar a metodologia com relação a tensões que não estão na região de controle do ensaio.

A inspeção por líquidos penetrantes que tem aplicação antes do ensaio, para eliminar amostras defeituosas, foi de extrema valia na detecção de falhas geradas pelo carregamento imposto e desta forma permitindo uma correlação com os dados das curvas de emissão acústica obtidas.

O monitoramento permite eliminar amostras de qualidade inferior à media do lote de forma a evitar sua influência nas análises estatísticas comuns aos materiais, cuja dispersão nos valores de resistência mecânica é alto, como é o caso dos materiais cerâmicos.

Foi possível avaliar o coalescimento da trinca em função de sua resposta por emissão acústica.

Há indicação de que é possível interromper um ensaio considerando a amplitude, contagem e a energia, de forma a evitar a degradação ou a propagação não desejada de uma trinca. Isto abre perspectivas para monitoramento de ensaios de levantamento de curvas de resistência onde se requer propagação estável de trincas.

A interrupção do ensaio em função da amplitude dos eventos também tem potencial para monitoramento de ensaios de "*Proof Test*" de importância na caracterização dos materiais cerâmicos.

Estudos complementares são necessários para uma melhor interpretação das curvas de emissão acústica, mas o trabalho mostrou sua potencialidade.

5. Agradecimentos

Os autores desse trabalho agradecem o apoio fornecido pelo CNPq - RHAe e a CAPES ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica da Universidade de Taubaté.

6. Referências

- Adrian, A. P., 1989, "Acoustic emission inspection, Metals Handbook", 9 ed., Vol. 17, ASM International, pp. 278-294.
- Akazawa, T., 1953, "Bulletin 16", International Association of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures, Paris, pp. 11.
- ASME, 1986, "ASTM E-1065 Standard guide for evaluation characteristics ultrasonic search units", American Society of Mechanical Engineers.
- ASME, 1997, "ASTM E-569 Standard practice for acoustic emission during controlled stimulation", American Society of Mechanical Engineers.
- ASME, 1999, "E-1177 Standard guide to test methods and standards for nondestructive testing of advanced ceramics", American Society of Mechanical Engineers.
- Carniero, F. L. e Barcelos, A., 1953, "Report 13", Union of testing and research laboratories for materials and structures, pp. 98.
- Forrest, C. W. e Kennedy, P., 1960, "The fabrication and properties of self-bonded silicon carbide bodies", Proceedings of Symposium on Special Ceramics, Popper, P. (eds.), Heywood & Company Ltd, pp. 209-288.
- McCauley, J. W., 1984, "The Role of Characterization in emerging high performance ceramic material", Ceramic Bulletin, Vol. 63, N. 2, pp. 263-265.
- Moura, P., 1993, "Economia da inovação tecnológica", Monografia de final de curso MB-239, ITA, São José dos Campos.
- Popper, P., 1970, "The preparation of dense self-bonded silicon carbide", Special Ceramics, Vol. 5, British Ceramic Research Association, Stoke-on-Trent, Edited by P. Popper –Heywood & Company Ltd, pp. 99-123.
- Shaw, M. C., Braiden, P. M. e De Salvo, G. J., 1975, "The disc test of brittle materials", J. Engr. for Ind., Vol. 97, pp. 77-87.
- Stanley, P.; Sivill, A. D. e Fessler, H., 1976, "The unit strength concept in the interpretation of beam test results for brittle materials", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 190, pp. 585-595.

7. Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DRAFT