

CÁLCULO INDIRETO DO MÓDULO DE YOUNG DA ALUMINA POR ULTRA-SOM

E. M. R. da Silva, N. S. Tavares

Caixa Postal 11049, CEP 05422-970 - São Paulo/SP, e-mail: emsilva@net.ipen.br
IPEN-MMM, Departamento de Engenharia de Materiais

RESUMO

O módulo de Young é um dos parâmetros que caracteriza o comportamento elástico de um material. Esta propriedade é de particular interesse em aplicações de cerâmicas avançadas onde estão associados problemas da mecânica da fratura. Apresenta-se, neste trabalho, uma técnica alternativa, rápida e econômica, para se determinar o módulo de Young de materiais cerâmicos com a avaliação da incerteza dos valores obtidos.

Palavras-Chaves: Módulo de Young, alumina, ultra-som.

INTRODUÇÃO

As necessidades tecnológicas decorrentes do grande desenvolvimento industrial das últimas décadas faz com que haja uma busca contínua de novos materiais com melhor desempenho em substituição aos tradicionais. Desta forma, os materiais cerâmicos despontam cada vez mais com um grande potencial por permitirem maiores temperaturas de trabalho que associadas ao seu baixo peso específico, permitem redução dos custos e economia de energia. A alumina, por exemplo, devido ao seu conjunto de propriedades e do seu baixo custo, tem uma importância indiscutível diante da série de aplicações que possui em diversos campos, como em catalisadores e blindagens balísticas.

Todavia, sua utilização em projetos de engenharia está intimamente ligada ao seu comportamento mecânico, tanto nas aplicações estritamente estruturais, como nas aplicações funcionais onde a integridade estrutural dos componentes deve ser

garantida. Por isso, a caracterização dos materiais cerâmicos é de suma importância especialmente no que se diz respeito à caracterização mecânica ^{(1), (2)}.

Uma das propriedades mais importantes a ser determinada é o módulo de Young, que além de descrever o comportamento elástico do material ainda pode ser associado a problemas da mecânica da fratura como formação e propagação de trincas. As propriedades elásticas de um material podem ser determinadas através de vários métodos ^{(3), (4)}, como por exemplo: ensaio de tração; ensaio de flexão de 3 ou 4 pontos; determinação dinâmica usando método de ressonância ou um caminho indireto por medida da velocidade do som (ultra-som).

Como os valores do módulo de Young de cerâmicas são altos, deformações muito pequenas são obtidas através de ensaios estáticos e isso normalmente acarreta muitos erros de medição. O método de ressonância é muito usado, mas é muito caro e demorado. Um método simples e preciso consiste em se determinar indiretamente o módulo de Young pela medida da velocidade ultra-sônica.

O ensaio não destrutivo por ultra-som ⁽⁵⁾ permite medir espessuras, detectar discontinuidades internas e analisar a estruturas dos materiais. Como a propagação da onda sonora depende da estrutura interna e das discontinuidades existentes no material, pode-se associar a velocidade de propagação da onda às suas propriedades elásticas. Isto permite, uma vez conhecida a massa específica do material em estudo, obter o módulo de Young em função das velocidades ultra-sônicas. A velocidade do som pode ser determinada usando a técnica de pulso-eco. O pulso acústico emitido do transdutor passa pelo corpo de prova, é refletido na parede de fundo e registrado pelo receptor. As velocidades do som, longitudinal e transversal, de um corpo de prova com espessura conhecida podem ser obtidas e utilizadas na equação (A) para se determinar o módulo de Young ⁽⁶⁾.

$$E = \rho \times \frac{V_t^2 \cdot V_l^2 - 4 \cdot V_t^2}{V_l^2 - V_t^2} \quad (A)$$

onde E é o módulo de Young, ρ é a massa específica, V_l é a velocidade longitudinal e V_t é a velocidade transversal.

O objetivo deste trabalho é determinar o módulo de Young da alumina, utilizando a técnica de ultra-som. A avaliação das incertezas dos resultados causadas pelo

processo metrológico e pela amostragem laboratorial foi feita através de técnicas estatísticas ⁽⁷⁾ considerando o grau de confiabilidade de 95%.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, utilizou-se corpos de prova de alumina com espessura de 5mm, sinterizados a temperaturas de 1250 a 1650°C e retificados a fim de se obter melhor condição superficial das amostras. Para se determinar a massa específica dos corpos de prova da alumina seguiu-se os critérios da Norma ASTM C373 ⁽⁸⁾. Utilizou-se um equipamento NORTEC™ mod. NDT131, transdutores de ondas longitudinais (NORTEC KD-4-5) e de ondas transversais (ULTRAN 5MHz). Utilizou-se mel de abelha para assegurar um bom acoplamento entre o transdutor e a superfície do material.

Obtiveram-se as velocidades longitudinal e transversal em diferentes pontos da amostra, conforme procedimentos da norma ASTM E494 ⁽⁶⁾ e calculou-se o módulo de Young de cada amostra segundo a equação (A), considerando o nível de confiança 95% e a propagação de incertezas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das Figuras 1 e 2, verifica-se que a crescente densificação, ocasionada pelo aumento da temperatura de sinterização, elevou os valores das velocidades ultrassônicas. Assim, de acordo com a equação (A), o módulo de Young será maior. Os valores encontrados para o módulo de Young estão apresentados na Tabela I.

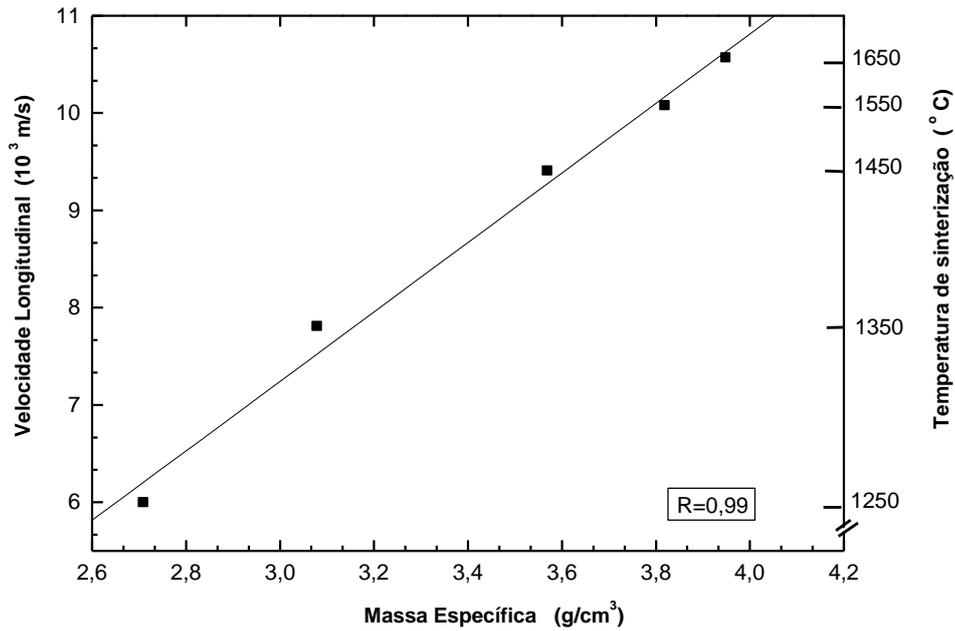


Figura 1: Valores encontrados para massa específica e velocidade ultra-sônica longitudinal da alumina sinterizada a diferentes temperaturas.

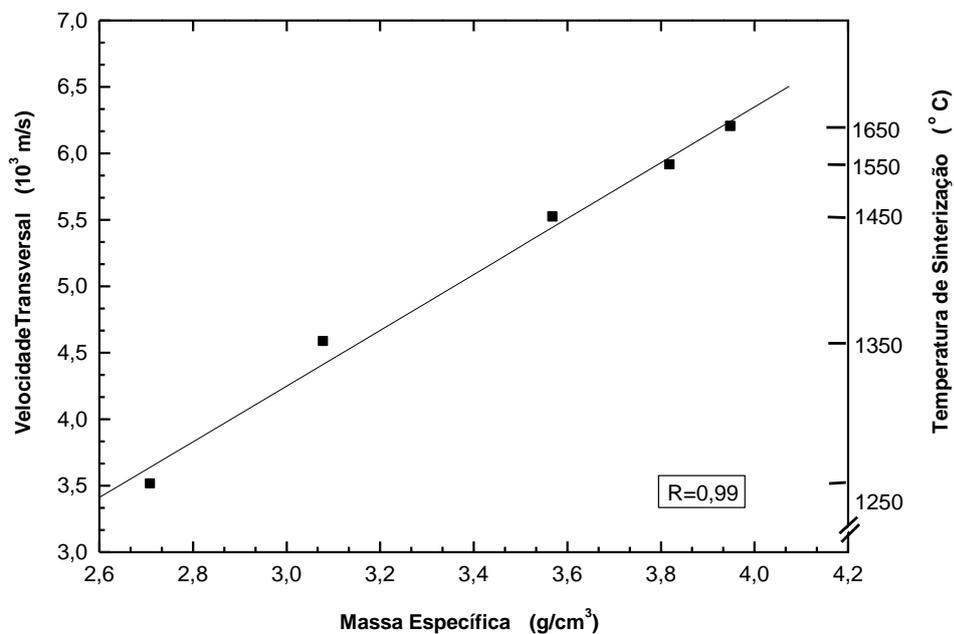


Figura 2: Valores encontrados para massa específica e velocidade ultra-sônica transversal da alumina sinterizada a diferentes temperaturas.

A correlação entre o módulo de Young e as velocidades ultra-sônicas estão indicadas nas Figuras 3 e 4. Em ambos os casos, o coeficiente de correlação (R) foi de 99%, o que demonstra que a medida da velocidade ultra-sônica pode ser um excelente indicativo das propriedades elásticas do material.

Tabela I: Valores do Módulo de Young da alumina a diferentes valores de massa específica e temperaturas de sinterização.

Temperatura de sinterização (°C)	Massa específica ρ (g/cm ³)	Módulo de Young E (GPa)
1250	2,71 ± 0,02	83 ± 3
1350	3,08 ± 0,02	160 ± 6
1450	3,57 ± 0,03	270 ± 6
1550	3,82 ± 0,03	330 ± 7
1650	3,95 ± 0,03	375 ± 8

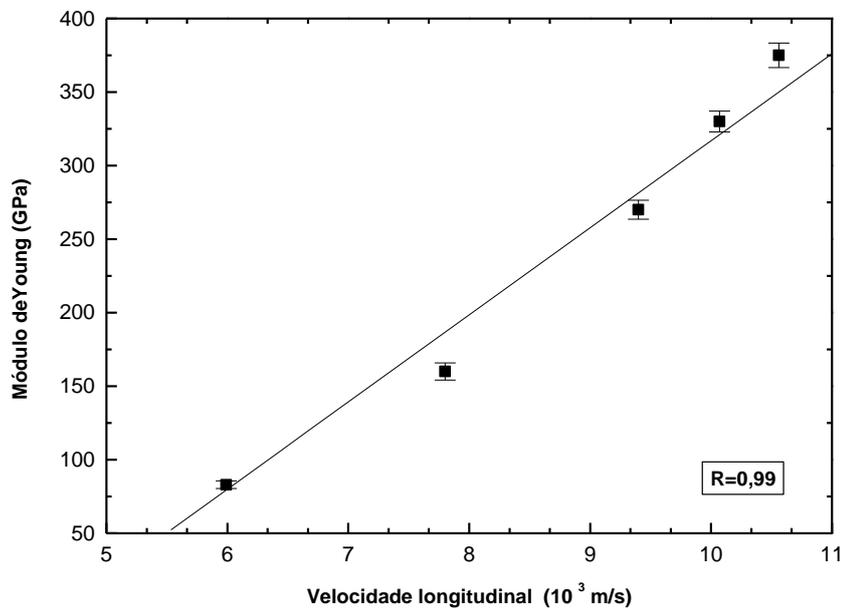


Figura 3: Gráfico do módulo de Young versus velocidade ultra-sônica longitudinal.

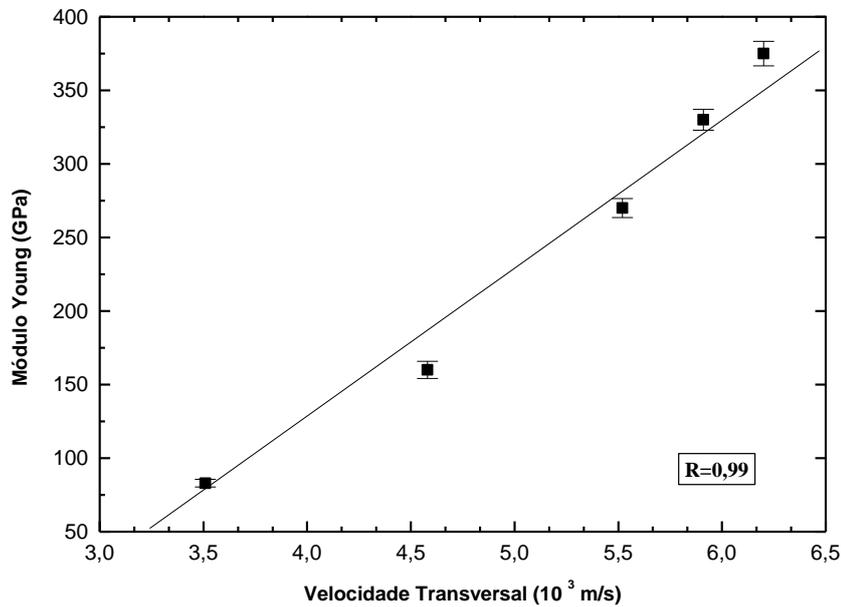


Figura 4: Gráfico do módulo de Young *versus* velocidade ultra-sônica transversal.

Apresenta-se os dados obtidos para a massa específica e para o módulo de Young em termos de variação percentual na Figura 5. O aumento de cerca de 45% no valor inicial da massa específica, provocado pelo processo de sinterização, que modifica também a microestrutura e conseqüentemente, os valores das velocidades medidos, ocasionou um aumento de aproximadamente 350% no valor de E.

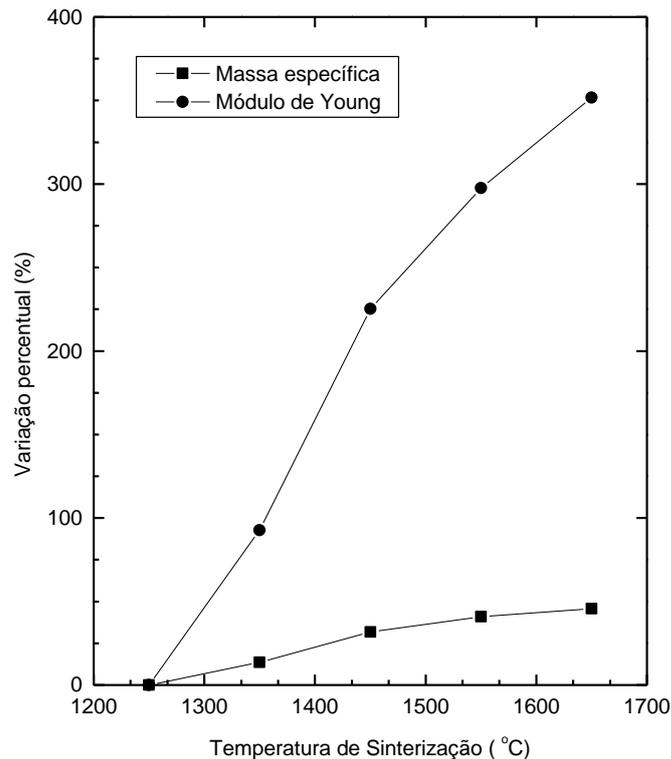


Figura 5: Variação percentual do módulo de Young e da massa específica da alumina sinterizada a diferentes temperaturas.

CONCLUSÕES

Os excelentes coeficientes de correlação obtidos neste trabalho indicaram que o ultrassom, além de ser uma ferramenta de controle de qualidade, é uma técnica alternativa para a caracterização mecânica de materiais cerâmicos. Com a vantagem adicional de se tratar de um teste não destrutivo, através desta técnica pode-se estimar o módulo de Young com boa precisão e rapidez.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Divisão de Materiais AMR/IAE/CTA, especialmente ao Dr. Cosme R. M. da Silva, e ao M. Sc. Edval Gonçalves de Araújo do IPEN/MMM.

REFERÊNCIAS

1. D. W. Richerson, Modern Ceramic Engineering, Properties, Processing and Use in Design, ed. 2, Marcel Dekker, New York (1992).

2. W. D. Callister Jr., Materials Science and Engineering – An Introduction, ed.2, John Wiley, USA (1996).
3. F. P. Neto, C. R. M. da Silva, N. S. Tavares, Técnicas experimentais para Caracterização de Cerâmicos Estruturais - Propriedades Mecânicas, In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 36, Caxambu, Junho, 1992, p. 765-772.
4. R. W. Davidge, Mechanical behavior of Ceramics, Cambridge University Press, United King (1979).
5. RODRIGUES, A. M., Apostila do Curso para Formação de Inspectores de Ultrassom, IFI/CTA, S. J. Campos (1997).
6. ANSI/ASTM. ASTM E494. Standard Recommended Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials, Philadelphia (1995), 11p.
7. R. A. Stempniak, Noções Básicas sobre Medições Físicas, CTA, S. J. dos Campos (1996).
8. ANSI/ASTM. ASTM C373. Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products Philadelphia (1982),1p.

INDIRECT CALCULUS OF YOUNG'S MODULUS OF ALUMINA BY ULTRASOUND

ABSTRACT

The Young's modulus characterizes the elastic material behavior. It is of particular interest in the application of advanced ceramics with the associate fracture mechanics problems. Here is presented a cheap and fast method for determination of the Young's modulus of ceramics materials considering the confiability level of the results.

Key-words: Young's modulus, alumina, ultrasound.