

Influência da Velocidade de Corte na Usinagem do Ferro Fundido Nodular Utilizando Ferramentas Cerâmicas de Alumina

Influence of cutting speeds on machining nodular cast iron using alumina ceramic cutting tool

Leopoldo Ferreira de Sousa¹

José Vitor Cândido de Souza^{2,3}

Claudinei dos Santos^{2,4}

Olivério Moreira de Macedo Silva⁵

João Paulo Barros de Machado⁶

Renato Françoso Avila⁷

Palavra-chave:

Usinagem

Ferro fundido nodular

Ferramentas cerâmicas de alumina

Usinagem a seco

Resumo:

No processo de fabricação por usinagem, vários fenômenos atuam de maneira individual e/ou simultânea, entre eles podem ser destacados, os fenômenos que levam a formação de cavaco, esforços de corte, temperatura, qualidade superficial do material usinado, mecanismos de desgaste da ferramenta, parâmetros de corte, material da ferramenta e peça, entre outros. Com a globalização, e os recentes avanços das máquinas ferramenta, significativas modificações são necessárias nas indústrias de manufatura, para que essas possam alcançar um determinado grau de melhorias nos processos de usinagem, objetivando a redução de custo e aumento de produtividade. Para isso o entendimento dos processos de usinagem passa pelo estudo dos principais parâmetros, como velocidade de corte (v_c), avanço (f) e profundidade de corte (ap). A velocidade de corte é o parâmetro que mais influencia no desgaste da ferramenta, aumentando ou diminuindo a produtividade, e os custos dos processos de usinagem. O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho da ferramenta cerâmica de alumina desenvolvida em laboratório no torneamento do ferro fundido nodular com dureza de 203 HB, utilizando as velocidades de corte de 200, 300, 500m/min. Antes da realização dos testes de torneamento a ferramenta foi caracterizada quanto a densidade relativa, utilizando princípio de Arquimedes, microdureza e tenacidade à fratura pelo método de indentação Vickers, enquanto que as caracterizações dos testes de usinagem foram realizadas com auxílio de uma lupa com aumento de 8X, microscópio ótico e rugosímetro. Os resultados obtidos em função do comprimento de corte, desgaste de flanco e rugosidade superficial mostraram que as ferramentas de alumina apresentaram aumento no comprimento de corte e menor rugosidade superficial com o aumento das velocidades de corte utilizadas. Os resultados apontam que as ferramentas de alumina são promissoras na aplicação industrial, mostrando que essa ferramenta pode ser um importante caminho para redução de custos nos processos de fabricação por usinagem.

1 Mestrando em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA -Brasil.

2 Docente do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA -Brasil.

3 Docente da Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba do Estado de São Paulo -Brasil.

4 Docente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro -Brasil.

5 Pesquisador do DCTA-IAE/AMR – SP -Brasil

6 Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos -Brasil

7 Docente do IFET-SUDESTE de Juiz de Fora – MG -Brasil

Artigo Original

Original Paper

Cadernos UniFOA

Edição Especial do Curso de Mestrado Profissional em Materiais - dezembro/2012

Abstract

In the manufacturing process for machining, several phenomena acting individually and / or simultaneously, they can be detached from the phenomena that lead to chip formation, cutting forces, temperature, surface quality of the machined material, tool wear mechanisms, parameters cutting tool and workpiece material, among others. With globalization, and recent advances in machine tools, significant progress is needed in manufacturing, so that these can achieve a certain degree of improvement in machining processes, aiming at cost reduction and increased productivity. For this understanding of machining processes through the study of key parameters such as cutting speed (vc), forward (f) and cutting depth (ap). The cutting speed is the parameter that most influences the tool wear increased or decreased productivity, and the costs of machining processes. The aim of this study is to evaluate the performance of alumina ceramic tool developed in the laboratory in turning nodular cast iron with a hardness of 203 HB, using cutting speeds of 200, 300, 500m/min. Prior to testing of the tool was turning serious when the relative density by using the principle of Archimedes, hardness and fracture toughness by Vickers indentation method, while the characterizations of machining tests took place with the aid of a magnifying glass with 8X increase, optical microscope and rugosimeter. The results were due to the cutting length, flank wear and surface roughness. The results showed that the tools alumina showed an increase in cutting length and smaller surface roughness with increasing cutting speeds used, and are promising in industrial application, showing that this tool can be an important way to reduce costs in the process of manufacturing by machining.

Keywords:Al₂O₃/Y₂O₃

Cutting tools

Nodular cast iron

Cutting speeds

Mechanical properties

1. Introdução

O desenvolvimento de novos materiais tem sido motivado pela demanda de produtos que executem novas funções de maneira segura e apresentem uma importante redução de custo nos processos. Entre esses materiais as cerâmicas vêm ocupando lugar de destaque sendo utilizadas nos mais diversos segmentos industriais.

As ferramentas cerâmicas oferece alta produtividade, devido a sua excelente propriedade de resistência a dureza em alta temperatura, inércia química, resistência à abrasão, e outros, que permite o uso dessas ferramentas nos processos de usinagem a seco e em altas velocidade de corte. Essas condições estão relacionadas com sua importante combinação de propriedades física e mecânica. Porém a grande dificuldade dessas ferramentas no mercado esta relacionada com a sua possível fragilidade, tipos de maquinas ferramentas, restrição popular, e outras [1].

Com a atual evolução de maquinas e equipamentos de usinagem, esses fatos estão diminuindo consideravelmente, e atualmente pode ser observada a presença das ferramentas cerâmicas na usinagem de varias ligas nas mais diversas empresas, como objeto redutor

de processos posteriores, e consequentemente auxiliando na proteção do meio ambiente e na redução de custos dos processos [2]. Nas indústrias europeias os processos de fabricação por usinagem vêm apresentando importantes evoluções, sendo direcionado parte de seus recursos ao desenvolvimento de novas ferramentas cerâmicas, que possam trabalhar em altas velocidade, sem a utilização de fluido refrigerante [3]. Entre os materiais cerâmicos, as ferramentas de alumina têm despertado grande interesse científico e tecnológico como material estrutural e funcional, devido as suas excelentes propriedades como: boa refratariedade, resistência mecânica elevada, dureza elevada, alta condutividade iônica, baixa condutividade térmica e resistência ao choque térmico [4].

De maneira geral podemos observar na literatura que existe pouca ou quase nada de informações acerca do desenvolvimento, caracterização e utilização de ferramentas cerâmicas a base de alumina na usinagem do ferro fundido nodular. Esse trabalho se desenvolve como uma fonte importante de informações no cenário brasileiro de usinagem com ferramentas cerâmicas de alumina, com objetivo de promover uma evolução do conhecimento científico e tecnológico da usinagem do fer-

ro fundido nodular com ferramenta cerâmica nacional, concentrando-se na caracterização e testes por torneamento com diferentes velocidades de corte.

Materiais cerâmicos

Os materiais cerâmicos são definidos como materiais essencialmente sólidos e compostos em grande parte por materiais inorgânicos. Esses materiais tem despertado um novo interesse em função de recentes avanços na ciência dos materiais, com o desenvolvimento de novos materiais cerâmicos com propriedades únicas [5]. As cerâmicas avançadas possuem propriedades específicas que as levam a uma série de aplicações tecnológicas, incluindo ferramentas de corte, materiais para barreira térmica, blindagem balística, e outras [6].

Usinagem a seco

O processo de usinagem sem o uso de fluido refrigerante envolve ausência de efeitos positivos nos processos de corte dos metais. O não uso desses fluidos podem promover efeitos positivos ao meio ambiente, saúde humana, e promover redução de custos.

Na usinagem a seco um fator importante, é que a ferramenta deve possuir propriedades em altas temperaturas superior a do material que esta sendo usinado, além de haver uma remoção de calor adequada que evite o acúmulo de calor por muito na interface ferramenta/peça, o qual pode vir danificar a ferramenta e/ou a peça [7]. A remoção de cavacos pode causar danos na superfície das ferramentas, porém materiais com alta resistência a temperatura deve ser utilizados para que o processo possa preservar a integridade da superfície da peça e produzir desgaste na ferramenta de maneira estável. O uso de fluidos refrigerantes deve ser indesejável em função de seus danos para o meio ambiente, a saúde humana. Dependendo do material da peça e do material da ferramenta, a redução de custos pode alcançar até 17% do custo total de uma peça se o processo for realizado a seco. Isto é principalmente devido à eliminação de refrigeração, os custos de manutenção, limpeza e eliminação [8 - 11].

É destacado no mercado que a redução de custos no processo de corte, juntamente com a redução da poluição ambiental é a principal chave para a indústria, se manter competitiva e rentável no futuro.

2. Procedimento Experimental

Desenvolvimento da ferramenta

A ferramenta cerâmica foi produzida usando pós de alumina α (α - Al_2O_3 da Alcoa) e óxido de ítrio (Y_2O_3 da HCST da Alemanha), com uma composição de 95% em peso Al_2O_3 e 5% em peso Y_2O_3 , com tamanho de partículas de 0,40 - 0,70 μm . A composição foi moída e homogeneizada em meio líquido por 24h utilizando moinho de bolas rotativo com potes e esferas de alumina. Após a homogeneização realizou um controle de qualidade em função do peso das esferas e do copo do moinho para observar possível contaminação. Em seguida o pó foi secado em estufa a 120 °C, desagregado e peneirado em malhas de 100 *mesh* (0,15mm). Os corpos a verde foram prensados uniaxialmente em uma matriz metálica no formato 16,36 x 16,36 x 7,50 mm, com carga de 80 MPa, seguida prensagem isostática com carga de 300 MPa, por 2 min. Os corpos a verde foram acomodados sobre um cadinho de alumina, protegido por uma cama de alumina, seguido da sinterização nas temperaturas de 1600 °C por 2 h, com taxas de aquecimento de 15 °C/min até 1200 °C, 10 °C/min até 1400 °C e 5 °C/min até a temperatura final. O resfriamento se deu na inércia do forno.

Após a sinterização as cerâmicas foram analisadas quanto à densidade relativa pelo princípio de Arquimedes, e posteriormente lixadas e polidas para análise de microdureza e tenacidade à fratura utilizando método de indentação Vickers com carga de 20 N em função das normas ASTM-C-1327-99 [12] e ASTM-C-1421-99 [13], respectivamente.

Teste de Usinagem

Os testes de usinagem deste trabalho têm como objetivo avaliar o desempenho da ferramenta de alumina desenvolvida em laboratório

no teste de torneamento. Os testes foram realizados no ferro fundido FUCO FE45012 com grafita nodular em uma matriz ferrítica/perlítica conforme Figura 1, de acordo com a norma ASTM A247. O ferro fundido utilizado possui dureza aproximada de 203 HB e composição química 2,99-3,30% de C, 2,2-2,73% de Si, 0,40% de Mn, 0,044-0,056% de P, 0,065-1,09% de S, 0,05% de Cr, 0,08-0,10% de Cu e o restante de Fe. Os corpos de prova foram pré-usinados para uma melhor fixação nas castanhas, sendo os testes conduzidos utilizando parte útil de 104 mm em diâmetro e 300 mm de comprimento.

O principal parâmetro a ser variado no torneamento do ferro fundido nodular foram as velocidades de corte ($V_c = 200, 300$ e 500

m/min.), avanço de $0,25$ mm/rot. e profundidade de corte de $0,5$ mm. Todas as condições foram submetidas a três réplicas utilizando um torno CNC marca Romi modelo Centur 30D, com RPM Máxima de 4500 RPM e potência de $7,5$ KW e suporte da marca Sandvick modelo DSBNR 2020K 12, apropriado para incertos cerâmicos, pertencentes ao núcleo de pesquisas NUPAM do IF Sudeste MG.

As ferramentas utilizadas nos teste foram desenvolvidas em laboratório, apresentando dureza de $12,10 \pm 0,12$ GPa, $K_{ic} = 8,6$ MPa. m^{1/2}, densidade relativa de $97,23 \pm 0,12\%$, na geometria de acordo com a norma ISO 1832, conforme Figura 2.

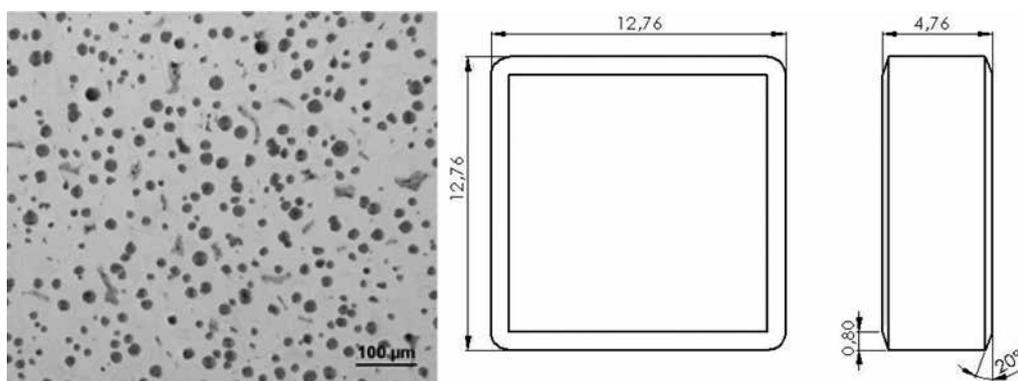


Figura 1- Microestrutura do ferro fundido nodular; Figura 2- Geometria da ferramenta

Caracterização dos desgastes das ferramentas

As caracterizações dos desgastes ocorridos nas ferramentas foram realizadas com o auxílio de um microscópio estereoscópico trinocular (mod. SZ-6145 TR) com aumento de 45 vezes, e as análises foram determinadas de acordo com a norma ISO 3685/1993, a qual fixa o desgaste de flanco máximo de $0,6$ mm, e a rugosidade foram realizadas utilizando um rugosímetro Mitutoyo SJ-301 em três regiões distintas defasadas de 120° aplicando um filtro GAUSS e cut off de $0,08$ mm de acordo com as normas DIN 4768 e ISO 4288, pertencente ao núcleo de pesquisas NUPAM do IF Sudeste MG.

3. Resultados e Discussões

Desgaste da ferramenta

As figuras 3, 4, 5 e 6 mostram a influência da velocidade de corte no desgaste das ferramentas de alumina. Os desgastes afetam a vida da ferramenta, a rugosidade e, consequentemente, a economia do processo. Nessas figuras podemos observar que a ferramenta apresentou significativa redução no desgaste de flanco em função do aumento da velocidade de corte. Isso pode ser atribuído, a característica específica das ferramentas cerâmicas, que possui melhor desempenho em altas velocidades de corte, devido

ao calor gerado na interface ferramenta peça, o qual diminui a resistência do material que está sendo usinado. As Figuras 4, 5 e 6, mostram que os desgastes ocorridos foram por abrasão e ocorreram de maneira progressiva. Entretanto os desgastes ocorridos apresentam reflexos diretos na rugosidade superficial da peça em função da acomodação ferramenta peça.

Outro ponto positivo é que a partir de determinada temperatura o grafite existente no ferro fundido nodular pode ter como função lubrificante pastoso, contribuindo para redução do atrito entre a peça e a ferramenta, e por consequência diminuindo o desgaste.

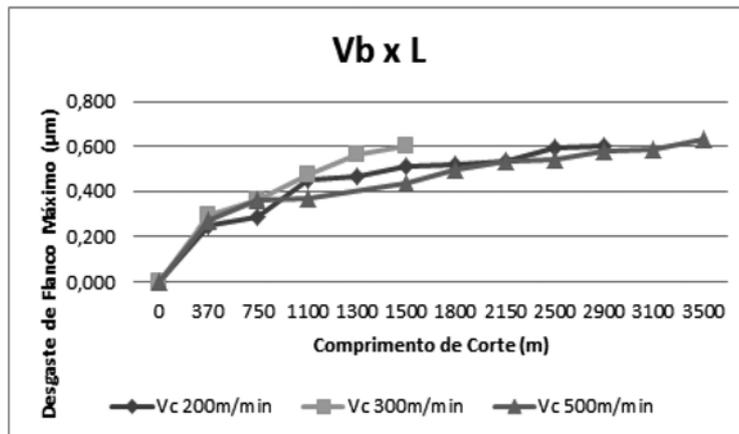


Figura:3 Desgaste de Flanco x Comprimento de Corte

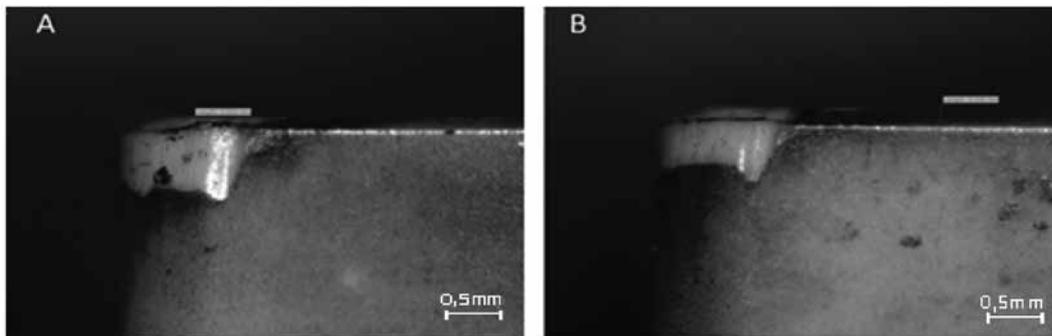


Figura 4- Desgaste de flanco para $v_c=200\text{m/min}$; Figura 5- Desgaste de flanco $v_c=300\text{m/min}$

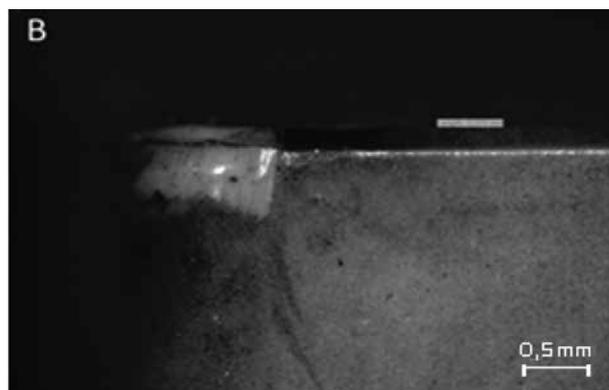


Figura 6- Desgaste de flanco para $v_c=500\text{m/min}$;

Rugosidades R_a e R_y

As rugosidades são parâmetros importantes na usinagem de materiais, pois estão diretamente relacionadas com o desempenho

da ferramenta e acabamento superficial e nas propriedades do material usinado. No processo de torneamento de vários materiais, a baixa rugosidade permite importante estimativa de custo no processo e maior credibilidade.

Conseqüentemente, a rugosidade pode determinar a vida ferramenta e a estabilidade do sistema. As figuras 7 e 8 mostram os perfis de rugosidade para as condições utilizadas. Observa-se que tan-

to para R_a quanto para R_y a rugosidade diminui com o comprimento de corte. Entretanto esses resultados são característicos das propriedades tribológicas dos pares opoentes.

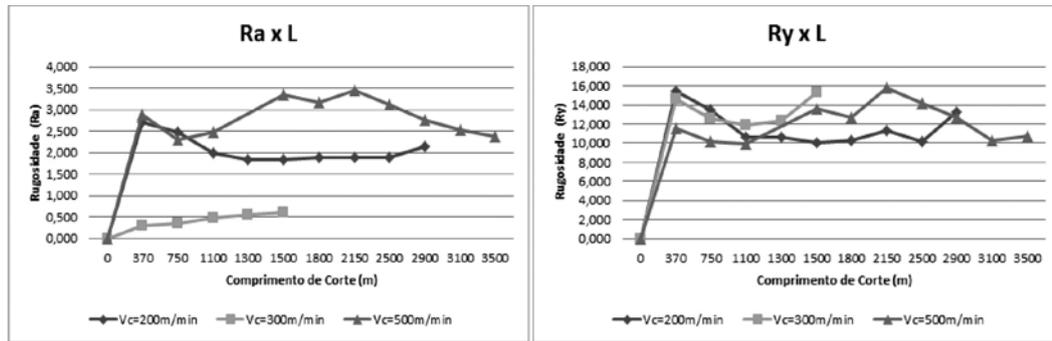


Figura 6- Rugosidade R_a x Comp. de corte Figura 7- Rugosidade R_y x Comp. de corte

Analisando as Figura 6 e 7, podemos observar que a menor rugosidade ocorreu quando do uso da velocidade de 200m/min. Entretanto, quando do aumento da velocidade de corte pode ser observado uma tendência de redução da rugosidade R_a e R_y em função do comprimento de corte. Isso pode ser atribuído a uma maior concentração de calor na interface ferramenta/peça, onde há uma região de concentração de material e calor, e nessa área o grafite presente na microestrutura do material possivelmente se transforma em fluido pastoso auxiliando nas reduções de tensões e melhorando a acomodação ferramenta/peça, o que aumenta o tempo de vida das ferramentas.

4. Conclusões

A ferramenta desenvolvida pode ser testada com a promessa de bons resultados se submetida na usinagem de outros materiais. No ferro fundido nodular ela apresentou melhores resultados quando submetida à velocidade de corte de 500m/min, confirmando que as ferramentas cerâmicas apresentam melhores desempenhos quando submetidas a altas velocidades de corte. Entretanto estes parâmetros influenciam diretamente no comportamento da ferramenta, pois na velocidade de corte de 300m/min a rugosidade R_a foi menor, embora apresentasse um comprimento de corte inferior. Este trabalho mostra que é possível à usinagem em diversos materiais com ferramentas de baixo custo desenvolvidas com tecnologia Brasileira.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao IF Sudeste MG (Campus Juiz de Fora) por ter cedido aos laboratórios e instrumentos utilizados nestes testes, a Fundação TUPY S/A e a Sandvik.

6. Referências Bibliográficas

1. ACCHAR, W. Materiais Cerâmicos: Ciência e Tecnologia, EDUFRRN, Rio Grande do Norte, p. 13-14, 111, 2000.
2. DORÉ, C.; BAGETTI, J.H.; BOEHS, L.; GUESSER, W.L.; BRESSIANI, A.H.A. Avaliação do desempenho de ferramentas de cerâmica $Al_2O_3+Y_2O_3+NBC$ na usinagem de ferro fundido vermicular, anais COBEF 2007.
3. SOUZA, J.V.C.; CRNKOVIC, S.J.; KELLY, C.A.; MOREIRA, M.R.V.; RIBEIRO, M. V.; SILVA, O.M.M. Behavior of the Silicon Nitride Cutting Tool During Ti-6Al-4V Machining. In: Fifth International Conference on High Speed Machining, 2006, Metz. Fifth International Conference on High Speed Machining, 2006.
4. MONDAL B. Zirconia toughened alumina for wear resistant engineering and machinability of steel application. Adv Appl Ceram 2005;104(5):256-60.

5. SOUZA, J.V.C.; NONO, M.C.A.; RIBEIRO, M.V.; MACHADO, J.P.B.; SILVA, O.M.M. Cutting forces in turning of gray cast iron using silicon nitride based cutting tool, *Materials & Design*, v.30, (2009), pp. 2715-2720.
6. ACCHAR, W., *Materiais Cerâmicos: Ciência e Tecnologia*, EDUFRRN, Rio Grande do Norte, p. 13-14, 111, 2000.
7. LANNA, M. A., et al. Otimização de custos de produção de ferramentas utilizando sinterização normal. *Anais do 48o Congresso Brasileiro de Cerâmicas*, 2004
8. EZUGWU, E. O., Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, in: *international Journal of Machine Tools and Manufacture* 45 (2005) 1353-1367.
9. LAHRES, M.; DOERFEL, O.; NEUMÜLLER, R. Applicability of different hard coatings in dry machining an austenitic steel. *Surface and Coatings Technology* 120-121 (1999), pp. 687–691.
10. BRINKSMEIER, E. ; WALTER, A.; JANSSEN, R.; DIERSEN, P. ; Aspects of cooling lubrication reduction in machining advanced materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 213 Part B (1999), pp. 769–778.
11. POPKE, H.; EMMER, T.; STEFFENHAGEN, J. Environmentally clean metal cutting processes—machining on the way to dry cutting. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 213 Part B (1999), pp. 329–332.
12. ASTM: C1327-99, “Standard test method for vickers indentation hardness of advanced ceramics”, pp. 1-8, 1999.
13. ASTM: C-1421-99, “Standard test method for determination of fracture toughness of advanced ceramics at ambient temperature”, pp. 1-32, 1999.

Endereço para Correspondência:

José Vitor Cândido de Souza

jose.candido@foa.org.br / jose.vitor01@fatec.sp.gov.br

Docente do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 - Três Poços

Volta Redonda – RJ

CEP: 27240-560