

## **ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS DE ALUMINA-ZIRCÔNIA PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE CORTE**

Miguel Adriano Inácio<sup>1</sup>, Maria do Carmo de Andrade Nono<sup>1</sup>, José Vitor Cândido de Souza<sup>2</sup>, Sergio Luiz Mineiro<sup>1</sup>, Daniel Alessander Nono<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório Associado de Sensores e Materiais  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 12227-010  
São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP SP -Brasil  
inaciofisica@yahoo.com.br

### RESUMO

Cerâmicas de alumina apresentam várias propriedades superiores à maioria dos materiais cerâmicos, tais como: resistência à fratura, dureza, resistência ao desgaste, estabilidades química e térmica. Porém, seu uso como cerâmica estrutural é limitado pelos valores pequenos de tenacidade à fratura (2 a 4 MPa). Estes valores podem ser aumentados adicionando-se zircônia tetragonal policristalina (TZP) à matriz de alumina, formando um compósito  $Al_2O_3-ZrO_2$ . Propriedades mecânicas de dureza e de tenacidade à fratura de compósitos de alumina-zircônia com diferentes quantidades de  $ZrO_2$  (de 30 e 18,5 % em peso) foram estudadas. Os pós foram misturados a úmido em moinho de bolas, compactados com 50 MPa (prensagem uniaxial), 300 MPa (prensagem isostática) e sinterizados ao ar em 1600 °C, por 3 horas. Após as caracterizações químicas e físicas (difração de raios X, microscopia óptica de varredura e densidade) os resultados indicaram um aumento de tenacidade à fratura no compósito  $0,815Al_2O_3 - 0,185ZrO_2$ .

Palavras chave: zircônia, alumina, ferramenta de corte, tenacidade,

### INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial necessita de grandes esforços por parte de pesquisadores direcionados ao desenvolvimento de novos materiais. Neste contexto encontram-se as cerâmicas de alumina e zircônia como alternativa em diversos campos e dentre eles no campo tribológico (1). Os materiais cerâmicos, de um modo geral, são relativamente limitados em termos das suas aplicações devido às suas propriedades mecânicas, as quais, em muitos aspectos, são inferiores àquelas exibidas por outros materiais, a exemplo, os metais. A principal desvantagem é a disposição à fratura catastrófica de maneira frágil com absorção de energia muito pequena. Porém, cerâmicas à base de alumina e de zircônia, após processamento

adequado, podem apresentar altas densidades e microestrutura controladas, tornando-se qualificadas para garantir um alto desempenho mecânico (2). Isso faz com que as indústrias de manufaturas gastem cada vez mais tempo no processo de fabricação. Dentre os mais importantes processos de fabricação, destacam-se os processos de usinagem que possuem uma parcela considerável do custo final do produto, sendo de grande importância o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte que possibilitem trabalhar com velocidades cada vez maiores e a um custo cada vez mais reduzido (1). A seleção de materiais para componentes em aplicações tribológicas não é baseada somente no comportamento tribológico, mas requer uma avaliação prévia do seu desempenho, resistência à corrosão, fluência, tensão, compressão, dobragem e fadiga, estabilidade dimensional, propriedades térmicas, tipo de fabricação e custos. O presente trabalho trata do estudo e desenvolvimento de ferramentas cerâmicas de corte de ZTA - zircônia tetragonal - alumina para aplicações em usinagem de materiais utilizados pelas indústrias Aeroespaciais, com objetivo de obter possíveis avanços tecnológicos e redução de custo. O processamento e caracterização das composições desenvolvidas nesse trabalho visou a obtenção de cerâmicas densas de alta resistência para posteriores testes como ferramentas de corte sendo que a seleção dos pós precursores deve-se a características peculiares dos materiais  $Al_2O_3$  e nano 3Y-ZrO<sub>2</sub> como boa dureza e resistência mecânica para alumina e boa tenacidade para a zircônia com o objetivo de se observar de maneira sistemática a importância dessas propriedades para aplicações como ferramentas de corte (3,4). Porém, fatos como obtenção de propriedades mecânicas consolidadas pelas fases obtidas, e microestrutura adequada devem fazer parte da continuidade dos estudos para que se possa obter uma ferramenta com excelentes propriedades físicas e mecânicas.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### MATERIAIS

Neste item são apresentadas as características principais dos materiais utilizados durante os experimentos, bem como sua identificação e procedência. Os materiais que foram utilizados neste trabalho são adquiridos comercialmente.

**a)** Pó de zircônia (ZrO<sub>2</sub>) nanoparticulado dopado com Ítria.

A zircônia utilizada foi a zircônia policristalina estabilizada com 3 % mol ou 5,2 % em peso de ítria ( $Y_2O_3$ ), ZS2 da Shandong Zhongshun Sci. & Tech. Devel. Co. Ltd.

**b) Pó de Alumina ( $\alpha-Al_2O_3$ ) submicroparticulado.**

O pó de alumina reativa OP1000 submicroparticulado comercial utilizado neste trabalho foi fornecido pela empresa pela Alacan-Alumínio do Brasil Ltda.

## MISTURA

A composição estudada teve como base óxido de alumínio submicrométrico ( $\alpha-Al_2O_3$ ) e óxido de zircônio estabilizado com óxido de ítrio nanométrico (3Y-ZrO<sub>2</sub>). Utilizou-se para as composições A= 81,5 wt % de  $Al_2O_3$  e 18,5 wt % de 3Y-ZrO<sub>2</sub> nano e B= 70 wt % de  $Al_2O_3$  e 30 wt % de 3Y-ZrO<sub>2</sub>.

## PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

As matérias primas foram caracterizadas por difração de raios X. A composição A foi homogeneizada em moinho convencional por 8 horas com velocidade de 200 rpm. Após este período, a composição foi filtrada, e subsequente secada em estufa a 100 °C por 24 horas. Em seguida, foram desagregadas em almofariz de ágata e submetidas ao peneiramento em malha de 120 mesh. A composição foi compactada com uma carga de 80 MPa durante 30 segundos com subsequente descompressão com tempo de 60s e posteriormente seguida de prensagem isostática a frio com pressão de 300 MPa. A dimensão utilizada foi de 16,36 x 16,36 x 7,5 mm, com objetivo de obter uma geometria final de 12,76 x 12,76 x 4,76 mm, de acordo com a NORMA ISO 1832. As matrizes utilizadas na confecção dos corpos de prova foram matrizes com camisa flutuante. Após essa etapa os corpos a verde foram submetidos ao processo de sinterização na temperatura de 1600 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de 3 horas. Os insertos para ferramenta de corte foram caracterizados quanto à perda de massa, densidade a verde, retração linear, difração de raios X, densidade relativa, microestrutura, microdureza e tenacidade à fratura e análise da topografia por perfilometria óptica.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### FASES PRESENTES NOS PÓS DE PARTIDA

Nos difratogramas de raios X foram observadas as seguintes fases: alumina ( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), zircônia ( $3\text{Y-ZrO}_2$ ) tetragonal majoritária, e monoclinica (badeleíta) em menor quantidade.

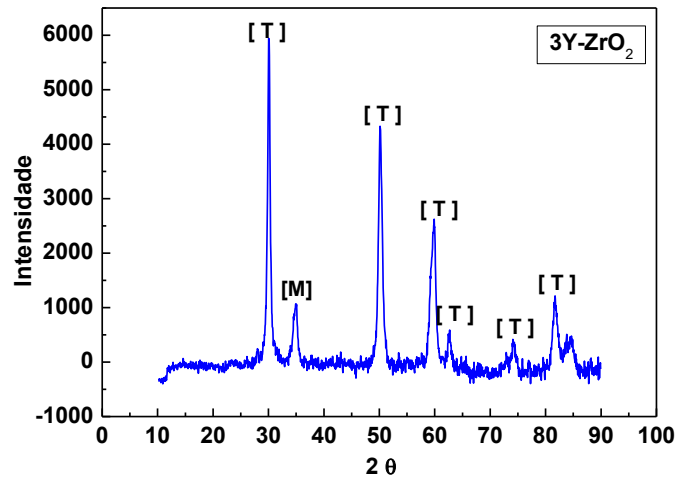


Fig.1 - Difratograma de raios X do pó de 3Y- ZrO<sub>2</sub> nano.

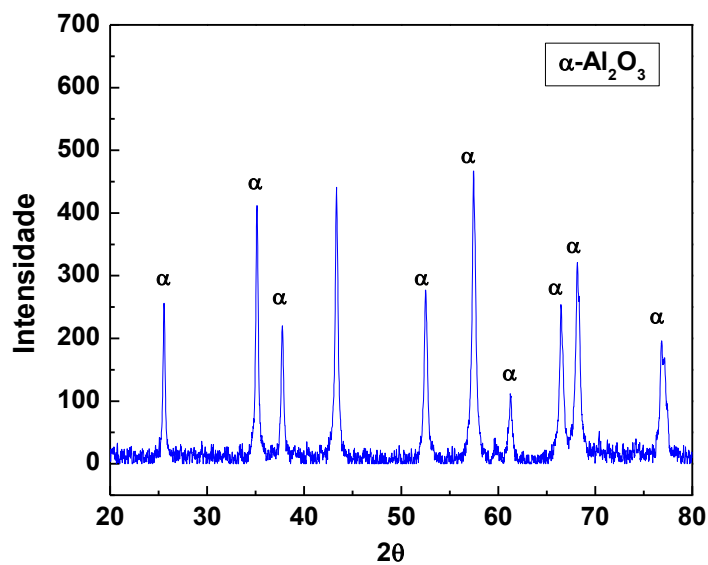


Fig. 2 - Difratograma de raios X do pó de  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## PROPRIEDADES FÍSICAS

Os valores de massa específica a verde, massa específica teórica e densidade relativa a verde estão mostrados na Tabela 1. Estes valores mostram variações muito pequenas para os compactados com composições dos tipos A e B.

Tabela 1 – Valores de massa específica e de densidade a verde dos compactados.

Compactado	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica teórica (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)
A	2,49	5,03	49,48
B	2,52	5,22	48,38

Esses resultados se mostram importantes na obtenção de cerâmicas com propriedades mecânicas necessárias para a confecção e aplicação tribológica de ferramentas de corte.

### ANÁLISE DE FASES DAS AMOSTRAS SINTERIZADAS

Na Figura 3 (composição A), pode-se observar a presença majoritária de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com a estrutura cristalina da alumina  $\alpha$  e de ZrO<sub>2</sub> com estrutura cristalina tetragonal. Já na Figura 4 observa-se presença majoritária de ZrO<sub>2</sub>. As intensidades relativas dos picos de difração de ambos os materiais são consistentes com as quantidades de alumina e de zircônia utilizadas na composição B.

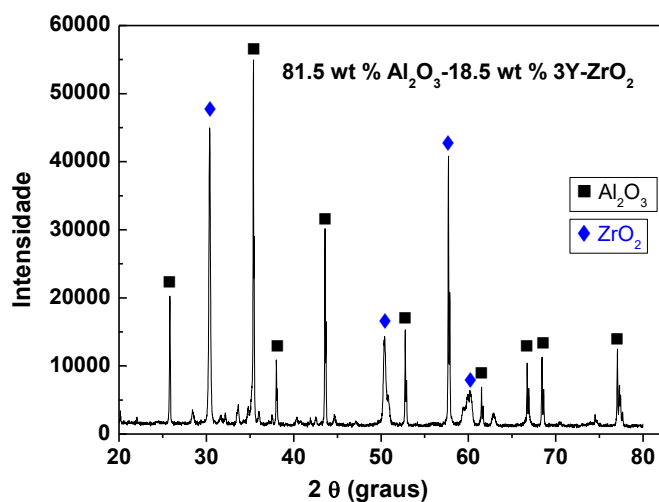


Fig. 3 - Difratograma de raios X da amostra A, sinterizada a 1600 °C.

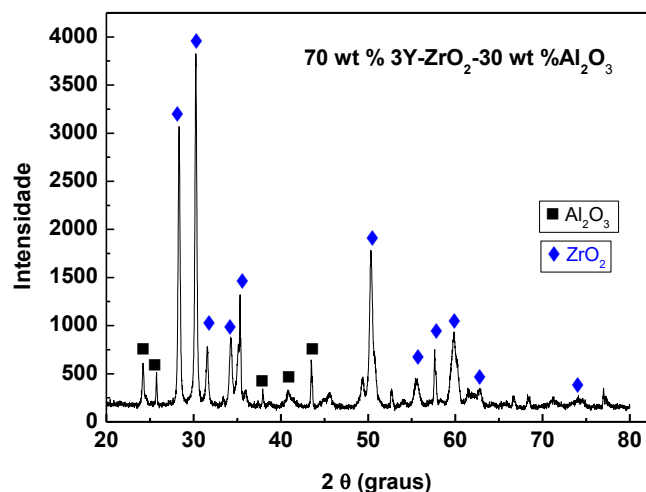


Fig. 4 - Difratoograma de raios X da amostra B, sinterizada a 1600 °C.

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

As microestruturas das superfícies de fratura dos compósitos cerâmicos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> são mostradas nas Figuras 5 e 6. Na Figura 5 (amostra B) pode ser observada uma distribuição homogênea da alumina na estrutura. É possível verificar que os grãos de alumina são maiores, e isso pode ocorrer em função do tempo utilizado no processo de sinterização. O crescimento de grão da alumina é diretamente proporcional ao tempo de sinterização (patamar), quanto maior o tempo maior os grãos. Já o expoente de crescimento de grão da zircônia e da alumina é relatado de ser entre 3 e 4, em função do tempo de sinterização, e isso indica que, possivelmente, diferentes mecanismos de crescimento de grãos estejam atuando nessas duas fases (5,6). Na Figura 6 (amostra A) o crescimento de grãos foi diferente da amostra representada na Figura 5. Isto pode estar relacionado à uma maior quantidade de grãos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que foi utilizado na amostra A em relação à amostra B, sendo possível a zircônia atuar como reforço dos grãos que se apresentam distribuídos em forma de ilhas na microestrutura. Contudo, como os parâmetros de sinterizações são os mesmos eles também podem promover influência na microestrutura dos materiais.

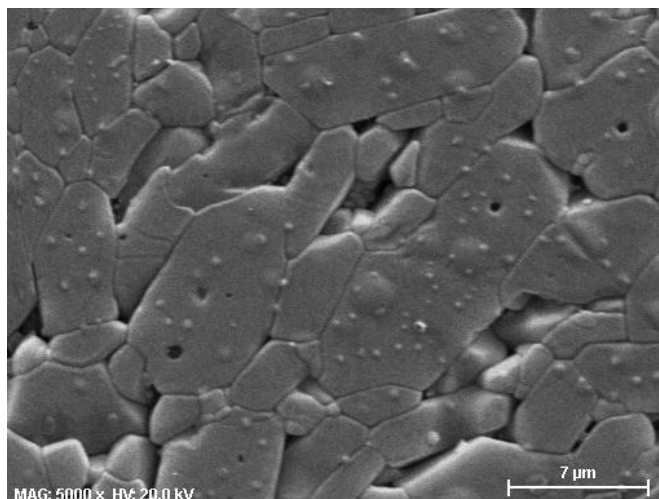


Fig. 5 – Micrografias da amostra B.

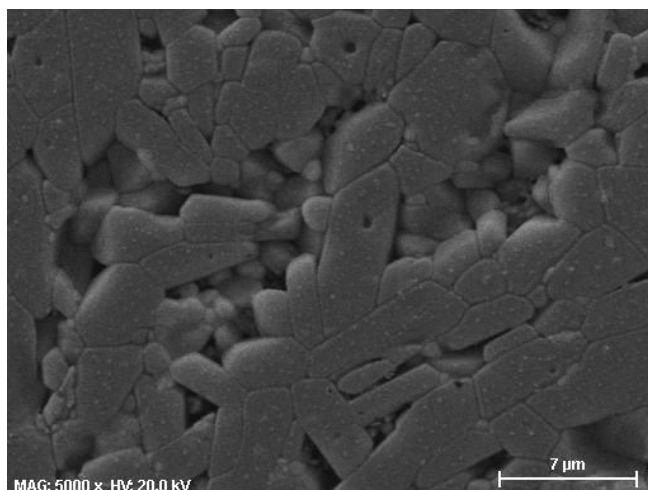


Fig. 6 – Micrografias da amostra A.

## PROPRIEDADES MECÂNICAS ( DUREZA E TENACIDADE À FRATURA)

As propriedades mecânicas dos materiais cerâmicos são muito importantes para definir seu campo de aplicação. Os resultados de dureza obtida pelo método de dureza Vickers e da tenacidade à fratura ( $K_{IC}$ ) são apresentados respectivamente na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de dureza e tenacidade à fratura das cerâmicas.

Composição	Sinterização em 1600 °C	
	K <sub>IC</sub> (MPa.m <sup>1/2</sup> )	Dureza Vickers (GPa)
A	6,21 ± 0,24	16,22 ± 0,10
B	7,20 ± 0,16	15,04 ± 0,07

A densificação das amostras são da ordem de 98 %, indicando que a dureza e tenacidade a fratura dos insertos cerâmicos são característicos des natureza dos materiais. Isso fica mais evidente devido aos parâmetros de sinterização ter sido os mesmos para ambos compósitos cerâmicos. Entretanto, na Tabela 2 fica evidente que a composição que utilizou maior quantidade de alumina (A) apresentou maior dureza, enquanto que a composição com maior quantidade de zircônia estabilizada apresentou dureza de 15,04 GPa. Matematicamente podemos observar que houve uma redução dos valores de 7% de dureza da composição A para B, enquanto que os valores de tenacidade à fratura são inversos aos valores de dureza. De uma maneira geral observando os valores de densidade relativa em conjunto com os resultados de desvio padrão apresentados isso indica uma homogeneidade dos valores de dureza no interior da amostra.

#### GEOMETRIA DA FERRAMENTA DE CORTE

Na escolha da geometria das ferramentas deve-se atentar pelo tipo de processo e material a ser trabalhado (desbaste pesado, médio e acabamento) (7). A obtenção da geometria das ferramentas foi em função da norma ISO 1832, onde definiu-se uma ferramenta que apresentasse um maior campo de aplicação com boa resistência, e possibilidade de utilização no torneamento de desbaste e acabamento. Seguindo esses parâmetros foi definida a geometria 12,76 x 12,76 x 4,76 mm, conforme Figura 7a. A ferramenta com maior quantidade de zircônia apresentou, como era de se esperar, menor rugosidade superficial devido à maior concentração de partículas nanométricas de zircônia presentes. Uma imagem da aresta de corte da ferramenta também é mostrada na Figura 7b. Já a figura 7c apresenta a imagem da topologia da superfície de saída da ferramenta com maior concentração de zircônia por perfilometria óptica.



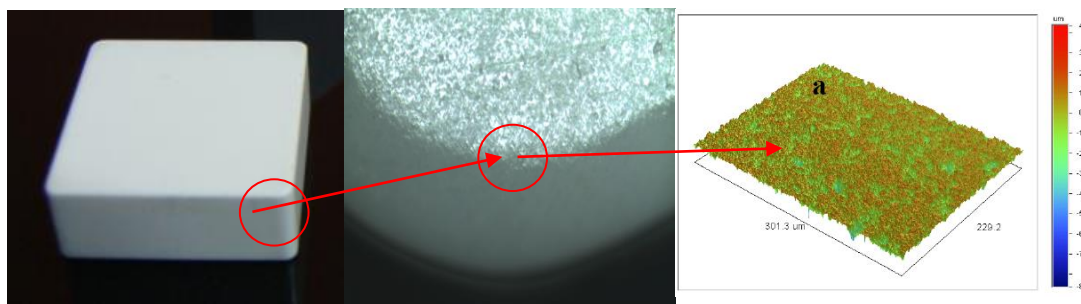


Fig.7 - a) Ferramenta desenvolvida, b)aresta de corte c) Topografia.

Foram realizadas, 10 varreduras em diferentes áreas da superfície das ferramentas. A análise da imagem permite visualizar uma topografia do tipo dente de serra (irregularidades superficiais com formato de serra), sendo que esta topografia influenciará na ação de abrasão sobre o cavaco, tendo como função, a quebra do cavaco. Os valores de rugosidade média ( $R_a$ ) são de 605,20 nm para ferramenta com menor quantidade de zircônia e de 344,77 nm maior quantidade de zircônia.

## CONCLUSÃO

O objetivo de produzir corpos cerâmicos com propriedades físicas e mecânicas promissoras para uso como ferramentas de corte foi alcançado com sucesso. Verificou-se ainda, que a temperatura de 1600 °C foi eficiente para obtenção de materiais com baixa porosidade (alta densidade), promovendo dureza Vickers de 16,22 GPa e tenacidade à fratura de 6,21 MPa.m<sup>1/2</sup> para a composição A (81.5 wt % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18.5 wt % 3Y-ZrO<sub>2</sub>), 15,04 GPa e 7,20 MPa.m<sup>1/2</sup> para a composição B (70 wt % 3Y-ZrO<sub>2</sub>-30 wt % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Esses valores credenciam a aplicação dessas ferramentas em processos de usinagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte.

## REFERÊNCIA

- [1] Souza, J. V. C., Desenvolvimento de pastilhas cerâmicas à base de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> para aplicações tribológicas Guaratinguetá, UNESP, (2005) Tese de Doutorado.
- [2] C. O. Sasseron, J. Marchi, J.C. Bressiani e A.H.A. Bressiani, Sinterização de cerâmicas à base de alumina, zircônia e titânia. Anais do 50º Congresso Brasileiro

de Cerâmica Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society 22 a 25 de maio 2006 – Blumenau, SC.

[3] FONSECA, S. T. Processamento e caracterização de pós e de cerâmicas de alumina total e parcialmente nanoestruturadas. 2007. 89 p. (INPE-15153-TDI/1285). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.12.40>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

[4] Nono, M.C.A., Cerâmicas à base de zircônia tetragonal policristalina do sistema  $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$  (Ce-TZP), S.J.Campos-SP, ITA-CTA, 1990, Tese de doutorado.

[5] Alexander, K.B., Becher, P.F., Waters, S.B., Bleier, A., Grain growth kinetics in Alumina-Zirconia (CeZTA) Composites, J. Am Ceram Soc. (1994) Vol.4, p.939-46.

[6] Ralph, B., Shim, K.B., Huda, Z., Furley, J., Edirisinghee, M.E., The effect of particles and solutes on grain boundary migration and grain growth, Mater Sci Forum,(1992) p. 94-95.

[7] Diniz, A. E., Marcondes, F. C. Coppini, N. L. Tecnologia da Usinagem dos materiais. 6ª Ed., Artliber Editora.(2008) p.95.

#### MECHANICAL PROPERTIES ANALYSIS OF ALUMINA-ZIRCONIA COMPOSITE CERAMIC FOR APPLICATION AS CUTTING TOOLS

##### ABSTRACT

*Alumina ceramics present various superior properties to most ceramic materials, such as fracture strength, hardness, wear resistance, chemical and thermal stabilities. However, its use as structural ceramics is limited by the small values of fracture toughness (2-4 MPa). These values can be increased by adding tetragonal zirconia polycrystals (TZP) to the alumina matrix forming a  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  composite. Mechanical properties of Hardness and fracture toughness of alumina-zirconia composites with different amounts of  $\text{ZrO}_2$  (30 and 18.5 wt%) were studied. The powders were mixed in a ball mill, compacted at 50 MPa (uniaxial), 300 MPa (isostatic pressing) and sintered in air at 1600 °C for 2 hours. After the chemical and physical characterizations (X-ray diffraction, optical microscopy and density) the results indicated an increase in fracture toughness in 0.815  $\text{Al}_2\text{O}_3$  composite - 0.185  $\text{ZrO}_2$ .*

*Keywords:* zirconia, alumina, cutting tool, toughness.