

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA CERÂMICA COM TECNOLOGIA NACIONAL PARA MANUFATURA DE MATERIAIS ESPACIAIS

Miguel Adriano Inácio^{1, a}, José Vitor Cândido de Souza^{1, b},
Maria do Carmo de Andrade Nono^{1, c} e Sérgio Luis Mineiro^{1, d}

¹Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE, São José dos Campos – SP -Brasil

^ainacio@las.inpe.br, ^bvitor@las.inpe.br, ^cmaria@las.inpe.br, ^dsergiolm@las.inpe.br

Palavras chave: ferramentas cerâmicas, propriedades mecânicas, alumina-zircônia

Abstract. *A ciência e a tecnologia estão avançando em um ritmo cada vez mais rápido e as formas pelas quais eles interagem com a economia, sociedade e meio ambiente estão se tornando cada vez mais complexas. Dentro deste contexto, os materiais cerâmicos apresentam-se como soluções para diversas aplicações futuras. Esses materiais apresentam propriedades superiores aos metais quando da sua aplicação em temperaturas elevadas. Dentre os materiais, as cerâmicas a base de alumina apresentam boa resistência ao desgaste, elevada dureza, porém baixa tenacidade em comparação com as cerâmicas de zircônia, que exibe alta resistência e boa tenacidade a fratura, mas baixa dureza. O objetivo deste trabalho é desenvolver materiais cerâmicos com propriedades promissoras a aplicação como ferramentas de corte no processo de usinagem. Para isto, uma composição de pós a base de $Al_2O_3/3Y-ZrO_2$ nano, foram desenvolvidos, sinterizadas a $1600\text{ }^\circ\text{C}$ e caracterizada quanto às propriedades físicas e mecânicas. Os resultados mostraram dureza de 16,22 GPa e tenacidade à fratura de $6,21\text{ MPam}^{1/2}$. Esses resultados credenciam o material a diversas aplicações tribológicas, entre elas como ferramenta de corte na usinagem de diversas ligas.*

1- Introdução

Os materiais cerâmicos à base de alumina e zircônia podem ser utilizados como componentes estruturais, devido às suas importantes propriedades, tais como alta resistência mecânica, inércia química, resistência a altas temperaturas, etc. As cerâmicas à base de alumina e de zircônia podem oferecer propriedades únicas dependendo do seu processo de fabricação (Sasseron, 2006). A alumina alfa densa e policristalina, destaca-se em função da combinação de suas propriedades de alta resistência ao desgaste, à corrosão e à compressão em altas temperaturas, enquanto que a zircônia proporciona alta resistência, alta tenacidade à fratura, mas baixa dureza (Nono, 1990). As propriedades da alumina citadas acima são importantes, mas em especial a tenacidade à fratura pode ser melhorada pela dispersão de zircônia na estrutura, principalmente pela transformação de fase tetragonal-monoclínica. Dessa maneira é possível melhorar as propriedades das cerâmicas a base de alumina. Porém, para fabricação de ferramentas de corte muitos parâmetros devem ser controlados, desde a fabricação das ferramentas até as especificações da peça a ser usinada. A utilização de ferramentas cerâmicas no campo da usinagem ainda é um grande desafio, sendo limitada principalmente devido ao seu comportamento frágil característico, a dispersão das propriedades de resistência mecânica e a quebras das ferramentas (Souza, 2005). Buscando uma nova alternativa no desenvolvimento de ferramentas cerâmicas, esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta cerâmica a base de alumina com adição de nanopartículas de zircônia estabilizada com a geometria especificada pela NORMA ISO 1832. Entretanto, alguns fatos devem ser superados como, obtenção de boas propriedades mecânicas, consolidadas pelas fases obtidas, e microestrutura adequada para retífica da ferramenta.

2- Procedimento experimental

2.1- 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_2) Nanoparticulado dopado com Ítria.

A zircônia utilizada foi a zircônia policristalina estabilizada com 3 % mol ou 5,2 % peso de ítria (Y_2O_3), ZS2 da Shandong Zhongshun Sci. & Tech. Devel. Co. Ltd. A Tabela 1 apresenta as características químicas e físicas fornecidas pelo fabricante.

TABELA 1. Composição química do pó nanoparticulado de zircônia

Componente: ZrO_2-3Y (nm)	% máxima
$Zr(Hf)O_2$	94,8
Y_2O_3	5,2
SiO_2	0,005
Al_2O_3	0,02
Fe_2O_3	0,006
TiO_2	0,002
Cl^{-1}	0,005
MgO	-
CaO	-
Densidade (g/cm^3)	6,05

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. A Tabela 2 apresenta as características químicas e físicas fornecidas pelo fabricante.

TABELA 2. Composição química do pó submicroparticulado da $\alpha-Al_2O_3$

Componente: $\alpha-Al_2O_3$ (0,5-1,5 μm)	% máxima
Al_2O_3	> 99,5%
Na_2O	0,05%
SiO_2	0,06%
Fe_2O_3	0,03%
Densidade (g/cm^3)	3,95

2.1.1- 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 ($3Y-ZrO_2$). Utilizou-se para a composição 81,5 wt % de Al_2O_3 e 18,5 wt % de $3Y-ZrO_2$ nano, denominada A.

2.2- 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. Nesse processo foram utilizados bolas de alumina, haste de agitação e câmara de moagem fabricada de alumina, com objetivo de reduzir possíveis contaminações causadas pelo desgaste e atrito das partes em contato. 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 compactado 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. 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.

3- Resultados e discussões

3.1- Fases presentes nos pós de partida

Nos difratogramas de raios X foram observadas fases presentes: alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), zircônia (ZrO_2) tetragonal majoritária, e monoclinica (badeleita) em menor quantidade. É notado ainda que, dentro do limite de detecção do difratômetro de raios X, não há contaminação dos materiais de partida, por outros materiais cristalinos. Fato importante observado é que nos pós de zircônia, há uma quantidade considerável de zircônia monoclinica não transformada (200), que após a sinterização, independentemente da temperatura utilizada, esse percentual de fase monoclinica, se transforma totalmente em tetragonal, pois há temperatura, tempo, taxas de resfriamento e teores de Y_2O_3 suficientes para estabilização total da zircônia tetragonal em temperatura ambiente.

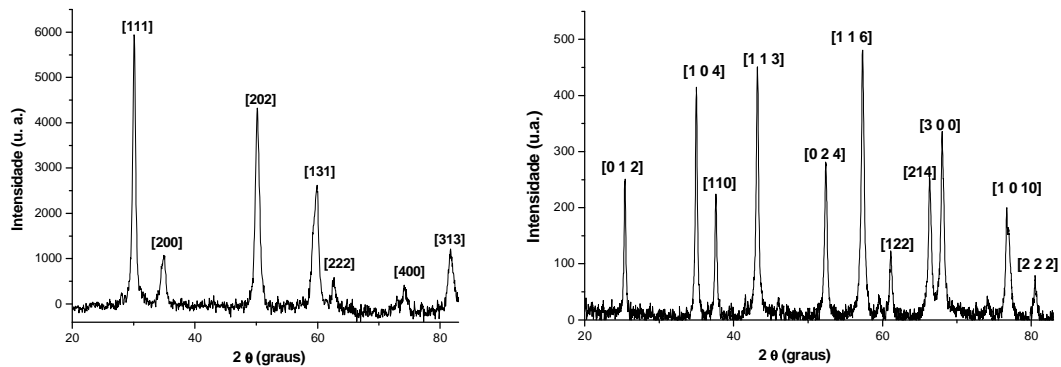


Fig.1 - Difratograma de raios X do pó de 3Y- ZrO_2 nano, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

3.2- Propriedades físicas

Analisando os resultados obtidos após caracterizações dos corpos a verde e sinterizados, podemos observar massa específica de 2,4891 g/cm^3 , densidade teórica de 5,031 g/cm^3 , densidade a verde de 49,48 %. O resultado de densidade a verde do material é próximo de 50 %. Este valor foi obtido após estudos em laboratório e tem fundamental influência na obtenção de propriedades promissoras das cerâmicas. Após sinterização foram realizados os cálculos de retração linear, perda de massa e densidade relativa das amostras pelo princípio de Arquimedes. Os resultados das amostras após sinterização foram $\approx 20\%$, $2,6\% \pm 0,18$ e $98,7\% \pm 0,23$ respectivamente. Esses resultados se mostram importantes na obtenção de ferramentas cerâmicas a base de alumina-zircônia, com conseqüente ajuste de propriedades mecânicas e fases obtidas.

3.3- Análise de fases da amostra sinterizadas

O difratograma de raios X, mostrado na Figura 2, pode ser observado a ausência da fase ZrO_2 monoclinica caracterizada por picos de difração nas posições $2\theta=28^\circ$ e $2\theta=31^\circ$ e presença de fase tetragonal e fase $\alpha-Al_2O_3$. A ausência de fase ZrO_2 monoclinica indica que o percentual de zircônia monoclinica presente no pó de partida foi integralmente transformada. A total transformação de fase tetragonal durante a sinterização indica que a alumina não influenciou nas taxas de transformação de fase, durante o processo de fabricação. Entretanto, devido a quantidade de alumina presente na composição, podemos observar intensos picos da fase $\alpha-Al_2O_3$, que associado com a fase tetragonal da zircônia e densidade relativa consiste em uma estrutura reforçada do material final.

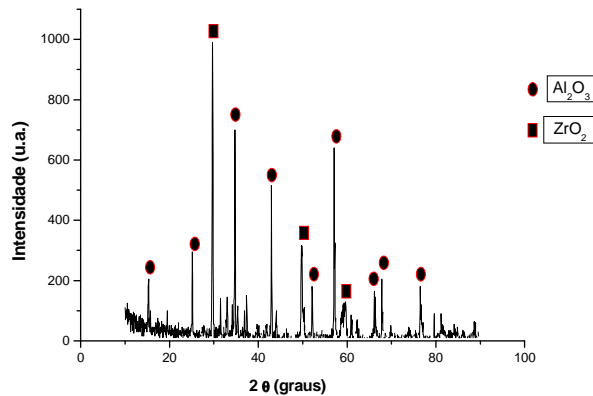


Fig.2 - Difratograma de raios X da amostra sinterizada a 1600 °C.

3.4- Caracterização microestrutural

A microestrutura da amostra obtida pode ser observada nas Figuras 3a e 3b. Na Figura 3a pode ser observado uma distribuição homogeneia da alumina na estrutura. Na Figura 3b, pode ser observado que os grãos de alumina são maiores, e isso é em função do tempo utilizado no processo de sinterização. De acordo com (Alexander,1994) 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 ser entre 3 e 4, em função do tempo de sinterização, e isso indica que possivelmente, diferentes mecanismos de crescimento de grão estejam atuando nessas duas fases (Ralph, 1992).

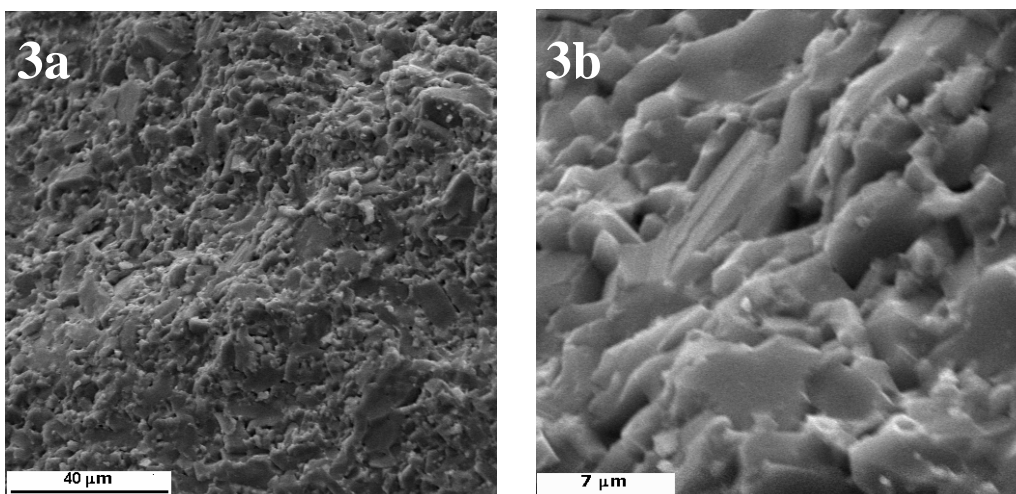


Fig. 3a e 3b – Micrografias dos compósitos $Al_2O_3 - ZrO_2$.

3.5- Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas em insertos cerâmicos para aplicação como ferramenta de corte têm primordial influência no seu desempenho. Os resultados obtidos mostram-se valores característicos de materiais a base de alumina com dureza Vickers de 16,22 GPa (aproximadamente 1600 HV) e tenacidade à fratura de 6,21 MPam^{1/2}. Os resultados mostram que a temperatura de sinterização foi eficiente no processo de obtenção de determinadas propriedades, e esse comportamento está diretamente relacionado com o aumento da densidade relativa. Pode-se notar que a zircônia promoveu importante valor de tenacidade a fratura. Nesse caso, a alumina, que apresenta coeficiente de expansão térmica diferente da zircônia gera um campo de tensão ao redor de seus grãos durante o resfriamento, que resulta em barreira a propagação de trincas. Os resultados das propriedades mecânicas apresentam baixos valores de desvio padrão, que confere ao material uma maior confiabilidade.

3.6- Geometria da ferramenta de corte

A geometria das ferramentas deve variar pelo tipo de processo e material a ser trabalhado (desbaste pesado, médio e acabamento) (Diniz, 2008). 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 definiu a geometria 12,76 x 12,76 x 4,76 mm, conforme Figura 3.

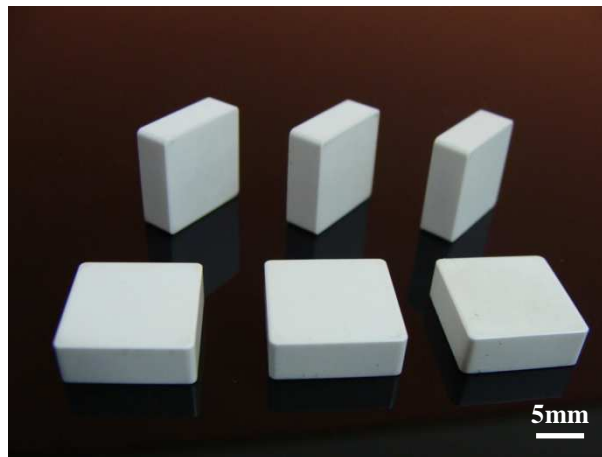


Fig.3- Fotografia da ferramenta desenvolvida.

Conclusão.

O objetivo de obter corpos cerâmicos com propriedades físicas e mecânicas promissoras para uso como ferramentas de corte foi alcançado com sucesso. Verificou-se ainda, que 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 MPam^{1/2}. Esses valores credenciam a aplicação dessas ferramentas em processos de usinagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro.

References

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.

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.

Oliveira, A. P. A. Influência de fatores físico-químicos na produção de pós de zircônia. PUC-RJ. (1997) Tese de doutorado.

Souza, J. V. C., Desenvolvimento de pastilhas cerâmicas à base de Si_3N_4 para aplicações tribológicas Guaratinguetá, UNESP, (2005) Tese de Doutorado.

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.

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

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