

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE TiB₂-AlN PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTA DE CORTE*

Luiz Antônio Fonseca Peçanha Jr ¹

Sergio Neves Monteiro ²

Ítalo do Vale Tomaz ³

Marlon Mendes de Oliveira ⁴

Alan Monteiro Ramalho ⁵

Noan Tonini Simonassi ⁶

Fabio de Oliveira Braga ⁷

Resumo

Compósitos cerâmicos de TiB₂-AlN foram preparados por técnica de “spark plasma sintering”. A densidade máxima relativa e resistência foram de 96,9% e 16,2 GPa, respectivamente. As amostras foram submetidas a testes de usinagem de curto tempo. Os compósitos com 70% de AlN foram utilizados como ferramenta de corte e apresentaram resultados satisfatórios para os parâmetros de corte. Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permitiram a análise da microestrutura e o desgaste da superfícies após os testes de corte.

Palavras-chave: Compósitos, TiB₂-AlN, Teste de Usinagem, Ferramenta de Corte.

CHARACTERIZATION OF TiB₂-ALN COMPOSITES FOR APPLICATION AS CUTTING TOOL

Abstract

Densified ceramic TiB₂-AlN composites were prepared by spark plasma sintering. The maximum relative density and toughness were 96.9% and 16.2 GPa, respectively. The samples were also subjected to short time machining tests. Composites with 70% AlN were applied as cutting tools and had satisfactory results for the used cutting parameters. Scanning Electron Microscopy (SEM) allowed the analysis of the microstructure and the wear surfaces after cutting tests.

Keywords: Composite, TiB₂-AlN, Machining Tests, Cutting Tool.

¹ Instituto Federal Fluminense. Mestre em Ciência dos Materiais, AGF Costa do Sol, Centro - Cabo Frio - Brasil- RJ: 28909-971.

² Instituto Militar de Engenharia, Professor, Ph.D. em Engenharia e Ciências dos Materiais – Praça General Tibúrcio, 80, 22.290-270, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

³ Instituto Federal Fluminense. Mestre em Ciência dos Materiais AGF Costa do Sol, Centro - Cabo Frio - Brasil- RJ: 28909-971.

⁴ Instituto Federal Fluminense. Mestre em Ciência dos Materiais, AGF Costa do Sol, Centro - Cabo Frio - Brasil- RJ: 28909-971.

⁵ Instituto Federal Fluminense. Mestre em Ciência dos Materiais, AGF Costa do Sol, Centro - Cabo Frio - Brasil- RJ: 28909-971.

⁶ Instituto Militar de Engenharia, Doutorando em Ciência dos Materiais – Praça General Tibúrcio, 80, 22.290-270, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

⁷ Instituto Militar de Engenharia, Doutorando em Ciência dos Materiais – Praça General Tibúrcio, 80, 22.290-270, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

INTRODUÇÃO

Compósitos baseados em diboreto de titânio (TiB_2) e nitreto de alumínio (AIN) possuem importantes propriedades para aplicações termomecânicas. Em adição a sua alta condutividade térmica, AIN é conhecido por possuir ser bom isolante elétrico e baixo coeficiente de expansão térmica [1]. A condutividade térmica do AIN pode variar entre 80 e 260 $Wm^{-1}K^{-1}$, dependendo da composição química e de sua microestrutura [2]. Além disso, a combinação de alto ponto de fusão, estabilidade química e módulo de Young, tornam o diboreto de titânio um importante material para aplicações de alta performance [3]. Contudo, as aplicações do TiB_2 são limitadas, basicamente por sua baixa tenacidade a fratura, bem como baixo coeficiente de autodifusão o que torna difícil a densificação deste cerâmico [4].

A combinação de TiB_2 e AIN promove, dentre outras vantagens, variação nos mecanismos de fratura que são responsáveis pela baixa tenacidade a fratura que são de extrema importância, pois são os principais limitantes deste tipo de material para aplicações termomecânicas [2].

Assim, o presente trabalho, visa avaliar compósitos de TiB_2 -AIN sinterizados por “Spark Plasma Sintering” (SPS) e utilizados como ferramentas de corte e submetidos a ensaios de usinagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, AIN e TiB_2 , foram utilizados como matérias primas para a sinterização do compósito. Ambos foram comercialmente obtidos na forma de pó da empresa Alfa-Aesar/Sigma-Aldrich com 98% de pureza para o AIN e 99,5% para o TiB_2 , e um tamanho médio de partícula de 10 μm para ambos. Duas misturas diferentes foram preparadas contendo 70% e 30% em fração volumétrica de AIN completadas com TiB_2 . Ambas as formulações foram obtidas por mistura manual utilizando-se pilão e almofariz por 30 minutos à temperatura ambiente e, em seguida postas a secar em uma estufa à 60 °C por 8 horas para a retirada de umidade.

Os compósitos densificados foram obtidos por SPS, utilizando o equipamento DR. SINTER LAB Jr, modelo SPS 211 LX. Todas as amostras foram sinterizadas sob pressão constante de 80 MPa e 10-2 Torr de vácuo. As temperaturas de sinterização foram de 1600 °C, 1700 °C e 1800 °C, o que resultou em três amostras para cada mistura. Para a sinterização foi utilizado uma taxa de aquecimento de 200 °C/minuto e mantidas na temperatura de sinterização por 10 minutos. A mistura de pós foi posta a sinterizar em um molde com 10 mm de diâmetro interno, entre 2,82 e 3,05 mm de altura e uma quantidade de massa variando entre 0,668 e 0,698 g.

A densidade relativa dos compósitos sinterizados foram determinadas utilizando-se técnica de imersão baseada no princípio de Arquimedes. Após os testes de densidade, as amostras foram cortadas de maneira transversal para se obter uma ponta de corte e observadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura modelo SSX-550 da marca Shimadzu para avaliação da microestrutura do material sinterizado e da ponta de corte exposta. A preparação para as análises de MEV foi realizada com a limpeza ultrassônica por 10 minutos e revestida com platina à 23 °, sob 40 mA de corrente por 100 segundos.

Testes de dureza Vickers foram conduzidas sob carga de 294,3 N em um aparelho Pantec, modelo RBSN. A carga foi aplicada de maneira lenta e foi mantida por 10 segundos e, posteriormente, removida conforme a norma ASTM E92-16 [5].

As amostras que obtiveram maior densidade relativa e dureza foram submetidas a ensaios de usinagem rápida, baseados na norma ISSO 3685 [6], utilizada para padronizar os testes de ferramentas de corte. Os testes de usinagem foram conduzidos em um torno CNC Romi modelo Centur 35D utilizando aço SAE 4140 temperado como material de corte.

As curvas de vida útil das ferramentas foram determinadas com parâmetros de 0,1 mm de profundidade e taxa de avanço de 0,2 mm durante o processo de usinagem, utilizando as velocidades de corte de 100, 200 e 300 m/min. Após os ensaios a superfície de corte forma analisadas qualitativamente e semi-qualitativamente por MEV e Espectroscopia Dispersiva de Raios X (EDS).

O estudo considerou o desgaste máximo da ferramenta (VBmax), ou seja, quando este alcançou 0,3 mm de profundidade ou ocorreu fratura catastrófica com critério de fim de vida útil das amostras sinterizadas utilizadas como ferramenta de corte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra as densidades relativas e dureza, em função da temperatura, para os compósitos sinterizados. Amostras com 70% de AlN alcançaram os maiores valores de densificação em todas as temperaturas quando comparadas com as amostras contendo 70% TiB₂ sinterizados às mesmas temperaturas. Contudo, os compósitos com 70% TiB₂ alcançaram os maiores valores de dureza. Este comportamento é justificado pela baixa sinterabilidade e alta dureza do TiB₂ monolítico [4]. Ainda, ambos os compósitos obtiveram dureza maior do que o AlN monolítico (10,6 GPa), porém, abaixo da apresentada pela cerâmica TiB₂ monolítica [2].

Tabela 1: Densidade relativa e dureza dos compósitos sinterizados.

	Temperatura (°C)	Densidade Relativa (%)	Dureza (GPa)
70% AlN	1600	85,0 ± 2,15	10,1 ± 0,4
	1700	93,2 ± 1,22	13,8 ± 0,3
	1800	96,9 ± 0,65	15,1 ± 0,3
70% TiB₂	1600	82,4 ± 1,30	8,6 ± 0,6
	1700	87,5 ± 1,33	16,0 ± 0,5
	1800	92,0 ± 1,20	16,2 ± 0,9

A figura 1 apresenta a microestrutura das amostras sinterizadas com 70% de AlN. É possível observar a morfologia alongada do TiB₂. Os grãos alongados de TiB₂ e a diferença entre o coeficiente de expansão térmica e entre TiB₂ e AlN promovem uma deflexão na propagação das trincas através da interface de contato. Estes são os mecanismos endurecedores mais comuns em compósitos cerâmicos, sendo estes, responsáveis pela tenacidade a fratura (K_{IC}) [8,9].

Na figura 1, ainda, é possível observar a redução da porosidade com o aumento da temperatura de sinterização, confirmando os resultados apresentados na tabela 1. A presença de porosidade com ângulo agudo vistos, predominantemente nos corpos sinterizados à 1600 °C, evidenciam a dificuldade que o AlN encontra em molhar o TiB₂ em baixas temperaturas.

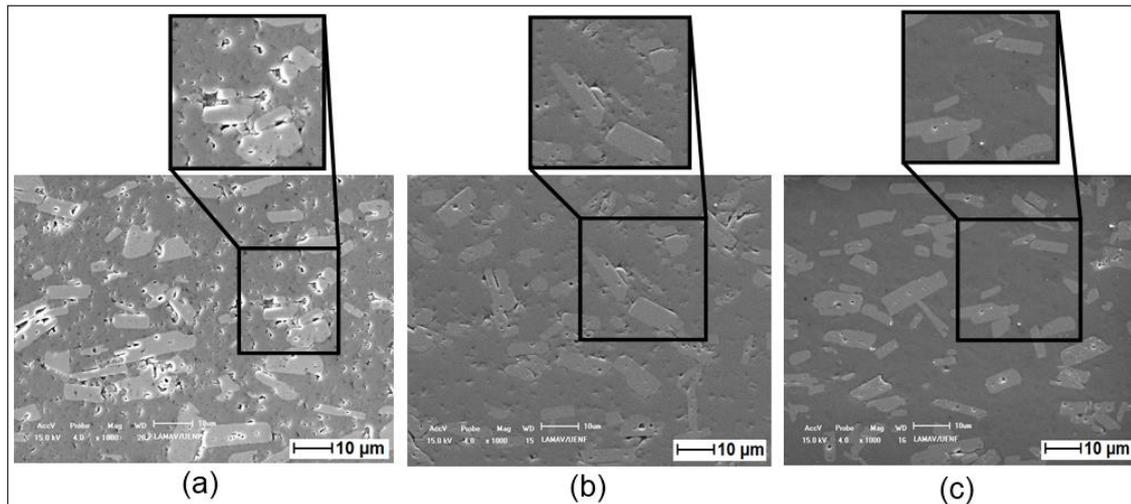


Figura 1: Micrografia obtida por MEV dos compósitos com 70% de AlN sinterizados em diferentes temperaturas: (a) 1600 °C; (b) 1700 °C; e (c) 1800 °C.

Após a análise microestrutural, a avaliação da tenacidade a fratura e densificação, as amostras sinterizadas a 1800 °C foram escolhidas para os testes de usinagem rápida [6]. Os testes foram conduzidos em condições severas de usinagem afim de se acelerar o desgaste da ferramenta de corte. A vida útil das ferramentas com 70% de AlN são apresentadas na figura 2. Como esperado, a vida útil diminui quando maior velocidade de corte é utilizado.

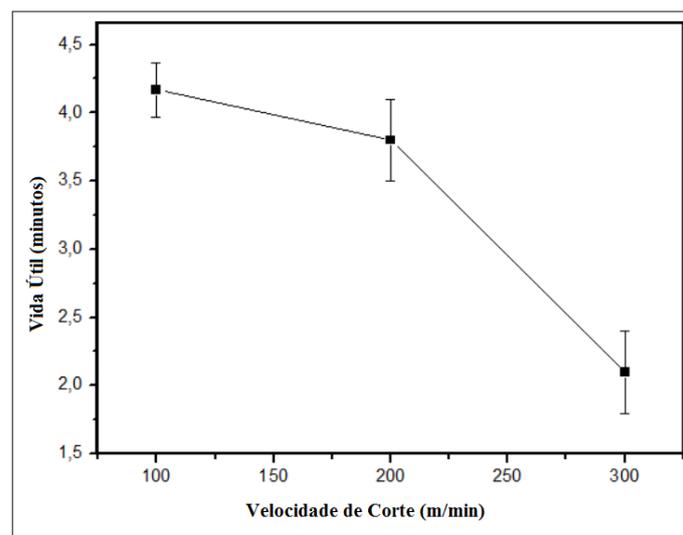


Figura 2: vida útil versus velocidade de corte dos compósitos com 70% de AlN sinterizados à 1800 °C.

Com a velocidade de corte de 100 m/min as amostras obtiveram uma vida útil de 4,17 minutos. As amostras testadas a 200 m/min obtiveram 3,8 minutos de vida útil.

Contudo, as amostras testadas a 300 m/min tiveram sua vida útil encerrada após 2,0 minutos de teste.

As ferramentas com 70% de AlN apresentaram resultados satisfatórios durante os testes quando comparados com os resultados obtidos por Ezugwu e seus colaboradores [10] que conduziram os testes utilizando ferramentas baseadas em Nitreto Cúbico de Boro e encontraram o valor máximo de vida útil por volta de 4,0 minutos, utilizando velocidade de corte de 150 m/min e líquido de arrefecimento.

Os compósitos com 70% de TiB_2 não apresentaram desempenho satisfatório nos testes de usinagem. Para todas as velocidades utilizadas, as ferramentas apresentaram desgaste prematuro. O aquecimento excessivo durante a usinagem provocaram deformação plástica na peça de trabalho (figura 3) e, conseqüentemente, uma superfície usinada irregular. A baixa performance destas pode ser explicado pela baixa condutividade térmica, que é responsável pelo aquecimento excessivo.

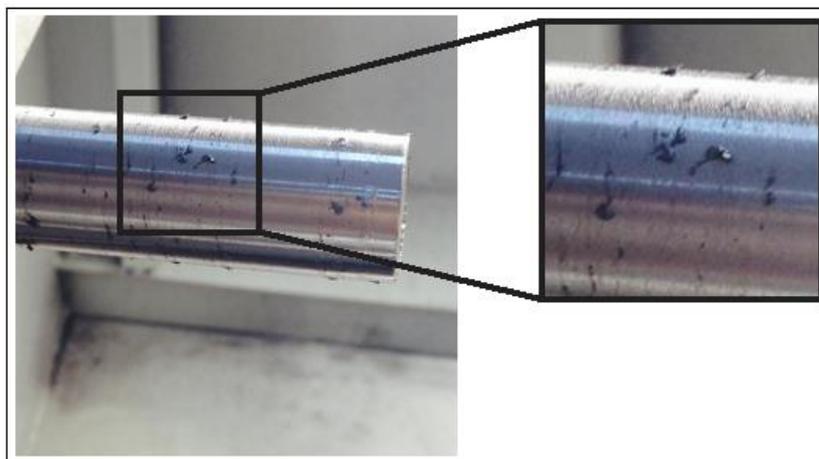


Figura 3: Superfície usinada utilizando os compósitos de 70% de TiB_2 como ferramenta de corte.

Os compósitos utilizados como ferramenta de corte, nas três velocidades, apresentaram trincas e desgaste da ponta de corte (Figura 4.a). Esse desgaste responsável pela perda de contato entre ponta de corte e a peça de trabalho e é causado pela perda do ângulo de alívio da ferramenta e, conseqüentemente, aumento da região de fricção no contato entre a ferramenta e a peça usinada.

Já a figura 4.b apresenta a microanálise de EDS da região de desgaste do compósito após o processo de usinagem. Os resultados de EDS indicam a presença predominante de Alumínio (Al) e Titânio (Ti), que são os elementos base deste compósito. Em adição, a presença de Carbono (C) foi observado, que pode ser justificado pelo uso dos moldes em carbono para a sinterização. As análises de EDS foram fundamentais para a verificação da estabilidade química deste compósito em aplicações termomecânicas. A abstenção de elementos externos na ferramenta de corte demonstram que não houve reação química entre o compósito e a peça de usinada. A estabilidade química é essencial para garantir a manutenção das propriedades químicas do compósito.

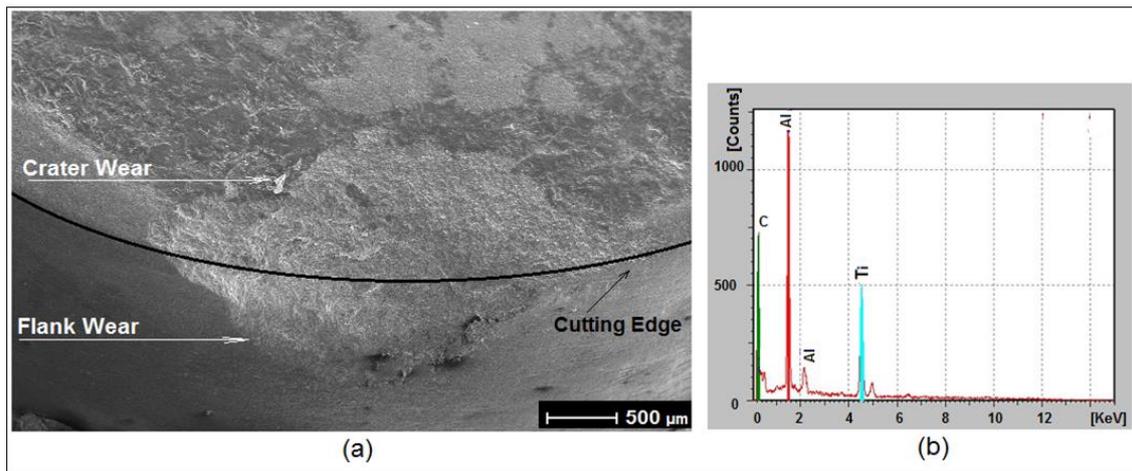


Figura 4: MEV (a) da cratera de desgaste e EDS (b) da ferramenta de corte de 70% de AlN para uma velocidade de corte de 300 m/min.

CONCLUSÕES

Os valores de densificação e dureza dos compósitos TiB₂-AlN sinterizados por “Spark Plasma Sintering” foram avaliados, bem como, seu desempenho como ferramentas de corte nos testes de usinagem. Todas as amostras apresentaram valores satisfatório de densificação e dureza.

Compósitos com 70% de TiB₂ apresentaram desempenho insatisfatório quando utilizadas como ferramentas de usinagem.

Compósitos com 70% de AlN apresentaram melhor desempenho como ferramentas de corte, mostrando estabilidade química e resistência ao desgaste satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- [1] X. He, F. Ye, Z. Zhou, H. Zhang. Journal of Alloys and Compounds Vol.496, p.413-417. (2010).
- [2] X.Y. Zhang, S.H. Tan, D.L. Jiang, Ceramics International. Vol.31, p.267-270. (2005).
- [3] D. Demirskyi, Y. Sakka, O. Vasylykiv. Ceramics International. Vol.41, p.10828-10834. (2015).
- [4] T.S.R.Ch. Murthy, J.K. Sonber, B. Vishwanadh, A. Nagaraj, K. Sairam, R.D. Bedse, [5] J.K. Chakravartty. Journal of Alloys and Compounds. Vol. 670, p.85-95. (2016).
- [5] ASTM Standard E092. Annual Book of ASTM Standards 03.01 (2016).
- [6] ISO 3685. International Standard. Second Edition, p.p.54. (1993).
- [7] Z.H. Zhang, X.B. Shen, F.C. Wang, S.K. Lee, Q.B. Fan, M.S. Cao. Scripta Materialia. Vol.66, p.167-170. (2012).
- [8] S. Chao, J. Goldsmith, D. Banerjee. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Vol.49, p.314-319. (2015).

- [9] J.J. Kruzic, R.L. Satet, M.J. Hoffmann, R.M. Cannon, R.O. Ritchie. Vol.9, n.6, p.1986-1996. (2008).
- [10] E.O. Ezugwu, R.B. Da Silva, J. Bonney, A'.R. Machado. International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.45, p.1009-1014. (2005).