

# PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DOS COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS DE CBN PARA USO NA INDÚSTRIA METAL/MECÂNICA\*

Samara Venina Simen de Azeredo Silva<sup>1</sup>

Sérgio Neves Monteiro<sup>2</sup>

Guerold Serguevitch Bobrovnitchij<sup>3</sup>

Ana Lucia Diegues<sup>4</sup>

## Resumo

Os compósitos produzidos a partir de Nitreto cúbico de Boro (cBN) são utilizados nos processos de usinagem de materiais ferrosos, tais como, peças fabricadas a partir de ligas ferrosas, ligas a base de níquel e materiais ferrosos com dureza de 45 HRc. Os compósitos a base de cBN são produzidos sinterizando cBN e seus ligantes sob condições de altas pressões e altas temperaturas (APAT). O presente trabalho tem como objetivo a caracterização microestrutural dos compósitos nanoestruturados de cBN, processados sob altas pressões e altas temperaturas, com parâmetros de pressão de 6,6 GPa e 1800°C e tempo de processamento cíclico e acíclico. Os compósitos produzidos foram testados na usinagem de aço 4140. Os resultados mostraram que uma melhor densificação e uma menor perda de massa dos compósitos durante a usinagem tem relação com os parâmetros de sinterização e com o tempo de processamento.

**Palavras-chave:** Compósitos; cBN; Materiais ferrosos.

## PROCESSING AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF NANOSTRUCTURED COMPOSITES OF CBN FOR INDUSTRIAL METAL/MECHANICAL

### Abstract

The composites made from cubic boron nitrite (cBN) are used in machining of ferrous materials processes, such as parts made from ferrous alloys, nickel based alloys, and ferrous materials with a hardness of 45 HRC. The composites cBN base are produced by sintering cBN and its ligands under conditions of high pressure and high temperatures (APAT). This paper aims to microstructural characterization of nanostructured composites of cBN, processed under high pressure and high temperature, with pressure parameters 6,6 GPa and 1800°C and cyclic and acyclic processing time. The composites produced were tested for machining steel 4140. The results showed the improved densification and less weight loss machining of composites is related to sintering parameters and processing time.

**Keywords:** Composites; cBN; Ferrous materials.

<sup>1</sup> *Doutoranda em Engenharia e Ciência dos Materiais, CCT/LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>2</sup> *PhD, Engenharia Metalúrgica, Professor do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>3</sup> *PhD, Engenharia Mecânica, CCT/LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>4</sup> *DSc./professor Associado, Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos materiais, CCT/LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da indústria metal/mecânica, a engenharia de manufatura, tem sido desafiada a usinar novos tipos de materiais. Próximo à dureza do diamante existe o cBN sendo considerado também um material superduro por possuir uma dureza acima de 40 GPa, possui uma maior condutividade térmica, sendo mais estável termicamente e menos reativo na usinagem de metais ferrosos, estas características possibilitam a aplicação de cBN e seus compósitos no corte de materiais ferrosos [11].

Os materiais compósitos à base de Nitreto Cúbico de Boro (cBN) contendo uma fase matriz selecionada a partir de cerâmicas avançadas de alta dureza visando a aplicações tecnológicas industriais têm sido pouco explorados pelos pesquisadores. Um dos principais problemas das ferramentas de cBN é a perda da eficiência de corte causada pela excessiva temperatura gerada durante o processo de usinagem de aço ou ferro fundido,[2] sendo mais frágil do que o diamante, entretanto a sua estabilidade térmica resiste ao calor em temperaturas entorno de 1200°C, enquanto que no diamante a grafitação começa a ocorrer em torno de 900°C [7,9].

O cBN não contém carbono, não necessita de uma barreira térmica para evitar a difusão na usinagem de aços. No entanto, o que impedia uma ampla aplicação de ferramentas de cBN é a sua baixa resistência a flexão e tenacidade à fratura, devido a este fato, pesquisadores buscam combinações ideais de ligantes. A seleção dos ligantes depende fundamentalmente da abrasividade do material a ser usinado. A combinação de alto ponto de fusão, alta dureza, elevado módulo de elasticidade, excelente condutividade elétrica e coeficiente de expansão térmica relativamente baixo, tornam o diboreto de titânio (TiB<sub>2</sub>) um importante material para aplicações de alto desempenho [8,12,10].

Estudos relacionados à sinterização de cBN utilizando alumínio como ligante relatam uma melhoria no desempenho do compósito quando é adicionada uma pequena quantidade de Alumínio entre 10-30%, permitindo otimizar as propriedades do compósito. Apresentam também melhores resultados no processo de usinagem de materiais ferrosos, seja quanto ao desgaste da ferramenta ou em relação ao acabamento superficial. Em relação ao TiB<sub>2</sub> a alta dureza e a baixa reatividade aos compostos ferrosos qualificam este material como promissor ligante para a sinterização de cBN [1,4].

De acordo com os dados da literatura [6] a aplicação de altas pressões e altas temperaturas é uma técnica atraente para a sinterização de compactos bem consolidados. Os principais parâmetros de sinterização aos quais as amostras foram submetidas foram: pressão, temperatura e tempo. O controle e monitoração da sinterização são automatizados, o que permitiu acompanhar em tempo real a variação dos parâmetros [5]. Este trabalho dedica-se ao estudo do processamento e da caracterização microestrutural do compósito a base de cBN para uso na indústria metal/mecânica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

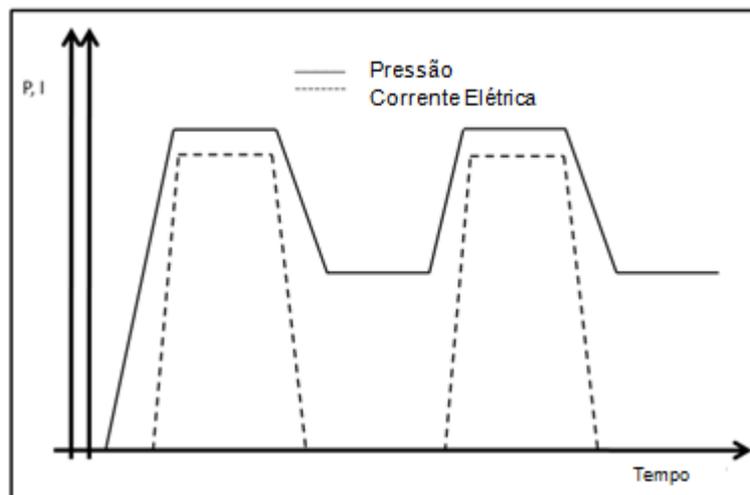
Os pós utilizados nas misturas reativas para o desenvolvimento deste trabalho estão ilustrados na tabela 1. O pó de nitreto cúbico de boro foi fornecido pelo superhard material Institute Kiev, Ucrânia.

**Tabela 1.** Apresentação dos pós utilizados.

| Pós     | Composição                  | Granulometria       |
|---------|-----------------------------|---------------------|
| cBN     | 60%                         | 14/40 $\mu\text{m}$ |
| ligante | 30%TiB <sub>2</sub> , 10%Al | $\leq$ 325 Mesh     |

Para a obtenção da mistura nanoestruturada os pós foram submetidos ao processo de moagem de alta energia em moinho Spex 8000 mixer, por um período efetivo de 1 hora com tempo de descanso de 15 minutos. Após a moagem, a mistura foi compactada, e logo após a célula de reação foi montada, a qual é composta por uma cápsula de calcita, que foram utilizadas como meio comprimível no dispositivo de alta pressão DAP, dois tubos de grafite e a mistura reativa. Os compósitos foram sinterizados sob Altas pressões e Altas temperaturas (APAT), foi utilizada a prensa de 630 toneladas modelo DO 138B – Ryazantashpressmach.

A calibração de pressão e temperatura foi realizada por procedimentos previamente descritos conforme a referência [3]. Para a realização do processo de sinterização, foi usado o de regime cíclico e acíclico dos parâmetros de pressão e temperatura. Um diagrama esquemático do método de aplicação de altas pressões e altas temperaturas está apresentado na figura 1. Neste diagrama é possível observar o modo de variação e aplicação dos parâmetros de temperatura, pressão e tempo no processo cíclico de sinterização que foi utilizado neste trabalho.

**Figura 1.** Diagrama esquemático do ciclo de aplicação dos parâmetros de sinterização.

No processo de sinterização foi feita a aplicação de pressão em dois patamares diferentes entre 6,6- 7,5 GPa, foi mantida a pressão enquanto que a corrente elétrica acionada, a fim de alcançar temperaturas entorno de 1650- 1800°C. Esses parâmetros foram mantidos constantes por períodos de 1, 2 e 3 minutos, sendo 3 minutos cíclicos. O objetivo da variação da sinterização cíclica e acíclica e com tempos de processamento diferentes é avaliar se os ciclos e os tempos influenciam diretamente na qualidade do produto sinterizado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

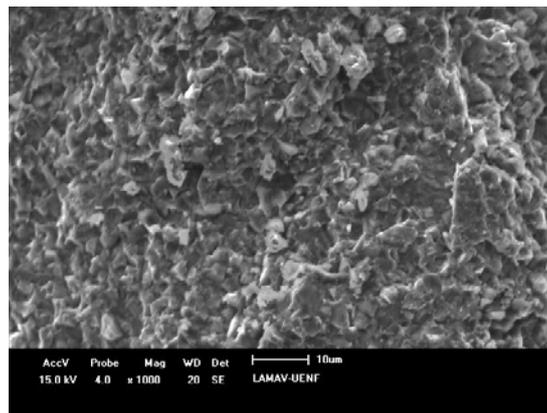
A tabela 2 apresenta a densidade média dos compósitos bem como a densificação dos mesmos, tendo-se os valores de densificação pode-se inferir que o processo de sinterização foi efetivo, esta análise acorda com os resultados da micrografia apresentada na figura 2, na análise da superfície de fratura da amostra 15-C5 onde

foi realizada a sinterização acíclica de 2 minutos, pode-se notar a homogeneidade dos elementos.

**Tabela 2.** Densidade dos compósitos.

| Compósitos | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Densificação (%) |
|------------|--------------------------------|------------------|
| 27- C9     | 3,33                           | 91,70            |
| 15-C5      | 3,50                           | 96,40            |
| 24-C8      | 3,27                           | 90,18            |

A sinterização foi executada sob potência elétrica constante, entretanto durante o processo de sinterização, pode ocorrer formação de novas fases ou alterações estruturais nos componentes que compõem a mistura esperada. A utilização dos ligantes nos compósitos a base de cBN, sob o aspecto microestrutural está relacionado também à formação de fases, na figura 2 observa-se a formação de fase contínua entre as partículas de cBN, o que forneceu as características mecânicas necessárias aos compósitos. Observa-se uma interação eficiente entre os grãos de cBN, formando assim uma estrutura homogênea. Pode-se verificar a partir desse fato que o ligante teve uma boa molhabilidade com os grãos de cBN. Outros estudos precisam ser realizados a fim de estudar o nível de sinterização atingido neste caso.



**Figura 2.** Micrografia da superfície de fratura da amostra 15-C5.

Os parâmetros de ensaio de torneamento estão descrito na tabela 3, e os resultados são apresentados na figura 3, através do gráfico que revela a perda de massa dos compósitos no processo de usinagem do aço 4140.

**Tabela 1.** Parâmetros utilizados no ensaio de torneamento.

| Velocidade de corte (Vc) | Avanço (a) (mm/rot) | Profundidade de Corte (p) (mm) |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 2500 rpm                 | 0,2                 | 0,5                            |

As amostras C5, C8 e C9 não apresentaram um desgaste uniforme como pode ser observado na figura 3. O valor médio da perda de massa foi de  $\pm 0,0033$  mg o que representa 1,1% do peso das amostras, a amostra C5 apresentou perda de massa insignificante, além de ter realizado a operação de desbaste com acabamento superficial relativamente bom, esta amostra também não apresentou lascamentos ou trincas. Entretanto, a amostra C9 apresentou perda de massa significativa de 2,89%, esta ferramenta quando comparada com as outras utilizadas no ensaio de torneamento apresentou desgaste excessivo e crateramento. Já a mostra C8

apresentou uma perda de massa mediana de 0,41%, apresentando desgaste de flanco.

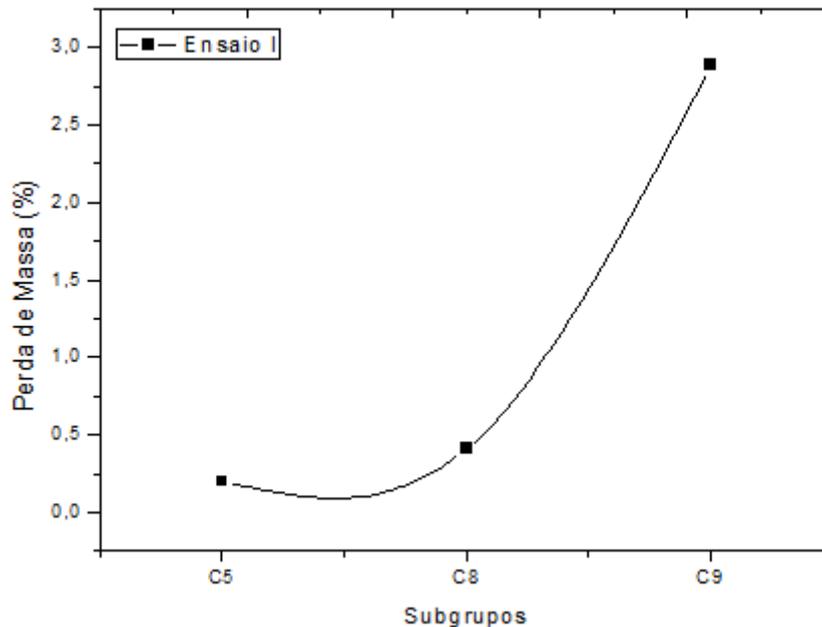


Figura 3. Perda de massa dos compósitos a base de cBN durante o processo de usinagem.

#### 4 CONCLUSÃO

De uma forma geral, os resultados apresentados foram satisfatórios, baseados nos aspectos estruturais e microestruturais dos compósitos a base de cBN, conclui-se que o processo de sinterização influencia diretamente na vida útil dos compósitos. Como pode ser notado nos resultados a amostra 15-C5 sinterizada de maneira acíclica com tempo de processamento 2 minutos, apresentou a melhor densificação 96,40% e uma perda de massa insignificante, as reações que ocorrem durante a sinterização interferem nas propriedades mecânicas dos compósitos. Porém, em vista dos resultados obtidos pode-se dizer que a composição da mistura aplicada demonstra a necessidade de continuidade dos estudos relacionados com a produção de compósitos superabrasivos de cBN.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Faperj pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Bezhenar, M. P.; Konoval, S. M.; Bozhko, S. A.; Loshak, M. G.; Aleksandrova, L. I. Physico-Mechanical Properties of cBN Composites Produced by a High-Pressure Reaction Sintering of Cubic Boron Nitride and Aluminum Powders. *Journal of Superhard Materials*. v.32. n.1, pp. 1-13, 2010.
- 2 Bianchi E. C. et al. Análise do comportamento da microestrutura de materiais endurecidos retificados com rebolos de cBN. *Materials Research*, vol. 3, n. 4, p. 147-154, 2000.

- 3 Bobrovnitchii, G. S.; Skury, A. L. D.; Monteiro, S. N. Effect of Cycling the High Pressure and the Temperature on the Quality of Cubic Boron Nitride Composites *Revista Finer Points*, v.2, p.23 - 30, 2009.
- 4 Bobrovnitchii, G. S.; Skury, A. L. D.; Monteiro, S. N. Effect of the pressure and temperature cycling in the sintering of cubic boron nitride composites under HPHT conditions *Journal Materials Science Forum*. V.600. pp. 837-843, 2010.
- 5 Valpassos J. M; Ramalho, A. M; Bobrovnitchii, G. S; Monteiro, S. N. Estudos Preliminares da Sinterização do Nitreto Cúbico de Boro Empregando Ligantes à base de Titânio. *Tecnologia em Metalúrgica e Materiais*. 14, n.2, pp.12-16, 2007.
- 6 Sulima, I.; Figiel, P.; Susniak, M.; Swiatek M.; *Archives of Materials Science and Engineering – International OCSCOWorld Press*. V 28, 687-120, 2007.
- 7 Klimczyk P. et.all. Cubic boron nitride based composites for cutting applications. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, v.44 issue2, fev 2011.
- 8 Lin, Shaojie. et.all. The investigation of ultrahigh pressure sintering of cubic boron nitridewith the binding agent of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Advanced Materials Research* v. 150-151, p. 1191-1194, 2011.
- 9 Ming, C. Y. The study of cubic boron nitride/diamond composite films for sensing and mechanical applications. Submitted to Department of Physics and Materials Science Doctor of Philosophy. City University of Hong Kong, 2009.
- 10 M. W Barsoum, B. Houng, *J. Am. Ceram. Soc.* 76, p.1445, 1993.
- 11 R. H. Wentorf, R. C. DeVries and F. P. BUNDY, *Science*, n.208, p. 873-880, 1980.
- 12 S. Baik, P.F. Becher, *J. Am. Ceram. Soc.* 70, p.527, 1987.
- 13 Torizuka, S., Sato, K., Nishio, H. and Kshi, T., Effect of SiC on interfacial reaction and sintering mechanism of TiB<sub>2</sub>. *J. Am. Ceram. Soc.*, 78, p.1606–1610, 1995.