

# SINTERIZAÇÃO DE WBN VIA APLICAÇÃO CÍCLICA DOS PARÂMETROS DE PRESSÃO E TEMPERATURA<sup>1</sup>

Mariane Abreu Alves Campos<sup>2</sup>  
Ana Lucia Diegues Skury<sup>3</sup>  
Renan da Silva Guimarães<sup>4</sup>

## Resumo

O Nitreto de Boro (NB) é um material imprescindível para usinagem com alta precisão e alta velocidade de materiais ferrosos. Na sinterização do wBN são aplicados basicamente dois tipos de ligantes: compostos a base de titânio e compostos a base de alumínio. Cada qual oferece diferentes possibilidades, tais como maiores valores de profundidade de corte ou menor nível de rugosidade superficial (acabamento). Para a produção dos compósitos serão preparadas misturas com composição variável. Serão determinadas as propriedades mecânicas e físicas dos compósitos. No presente projeto pretendeu-se elevar o nível de informações referentes ao processo de sinterização de wBN e contribuir para o desenvolvimento da tecnologia nacional (em escala de bancada) destinada para fabricação de insertos a base deste material. A qualidade dos insertos foi avaliada em termos de microestrutura, propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** Sinterização; Metal mecânica; Propriedades; Nitreto de boro.

## SINTERING WBN VIA THE APPLICATION OF THE PARAMETERS OF CYCLIC PRESSURE AND TEMPERATURE

## Abstract

The Boron Nitride (NB) is an essential material for machining with high accuracy and high speed of ferrous materials. For the wBN sinterization process two types of binders are applied based compounds and titanium compounds of aluminium. Each offers different possibilities, such as higher values of depth of cut or lower level of surface roughness (finish). For the production of composites mixtures with varying composition were prepared. The mechanical and physical properties of composites were determined. In this project was intended to raise the level of information regarding the process of sintering of wBn and contribute to the development of national technology designed to manufacture inserts the basis of this material. The quality of the inserts was evaluated in terms of the microstructure, mechanical and thermal properties. The inserts were tested in real working conditions.

**Key words:** Inserts; Superhard materials; High pressure.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Eng. Metalúrgica e Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Professora Associada, Lamav, CCT, UENF, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Técnico em Mécânica, Bolsista, Lamav, CCT, UENF, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

As novas tendências nos processos de usinagem, principalmente nos convencionais, determinam sensivelmente a produtividade da indústria metal mecânica atual. Tendências estas que disponibilizam máquinas-ferramenta de alta tecnologia com maior rigidez, potência e capacidade de rotação, permitindo a elevação das condições de corte, mais efetivamente da velocidade de corte e, por conseguinte o aumento da produtividade.

Portanto, o aumento da produtividade da indústria metal-mecânica exige constantemente a pesquisa e o desenvolvimento de novas máquinas-ferramenta e, em especial, do ferramental associado a estes equipamentos. Mais do que nunca se tem investigado cautelosamente o desempenho da ferramenta de corte com o intuito de estender potencialmente sua vida e melhorar a qualidade da peça usinada. Além disso, espera-se obter um determinado grau de confiabilidade no seu desempenho em serviço.

Neste contexto, o Nitreto de Boro (NB) é um material imprescindível para usinagem com alta precisão e alta velocidade de materiais ferrosos, como aço, pois, diferentemente do diamante, o BN não reage o ferro sob determinadas temperaturas, conservando sua integridade física e estabilidade química durante o processo de corte e usinagem. Isto se traduz na capacidade de manter o gume de corte afiado e dimensões constantes na mecanização (corte, usinagem e polimento) do principalmente do aço.<sup>(1-4)</sup>

Além disso, o uso de insertos a base de wBN, modificação do BN, como ferramenta de usinagem pode eliminar a necessidade de retífica das peças, o que economiza máquinas, mão-de-obra especializada e tempo de processo. É evidente que com a evolução e modernização da indústria metal-mecânica tem-se observado a grande necessidade de produzir ferramentas especiais que atendam às expectativas do mercado.<sup>(5,6)</sup>

Uma ferramenta de corte deve ser resistente à fratura e à deformação plástica, deve ter uma adequada tenacidade à fratura, elevada dureza à quente, resistência ao choque térmico e deve ser quimicamente estável e inerte em temperatura de operação. Ferramentas produzidas a partir de carbonetos cimentados, carboneto de titânio e alumínio têm vida e velocidade de corte muito curta e não são capazes de cortar aço endurecido, pois sofrem deformação e fratura. O avanço da tecnologia de alta pressão surge com diamante e o CBN, mas o uso do diamante é limitado em materiais não ferrosos e a cerâmicos, pois o mesmo reage com ferro, já o nitreto cúbico de boro tem menor dureza, porém, comparado ao diamante, o CBN apresenta uma resistência elevada à temperatura. O principal uso do cBN está relacionado com a usinagem sob altas velocidades de metais ferrosos de difícil usinagem, tais como aços de elevada dureza (acima de 50 HRc) e ferros fundidos não maleáveis, atuando no campo onde as ferramentas de diamantes não atuam. As exigências crescentes de desempenho, de restrições dimensionais e de longevidade de elementos de máquinas e mecanismos levaram à aplicação de materiais de alta resistência mecânica e ao desgaste que são difíceis de tratar por usinagem comum. Até pouco tempo, a quase totalidade dos processos de acabamento superficial na indústria metal mecânica era realizada por operações de retífica. Para promover a qualidade de superfície das peças produzidas pela indústria acima citada, são empregadas, no momento, as ferramentas abrasivas, tais como rebolos de óxidos de silício, aluminas e diamantes. Entretanto, não é racional em todos os casos a utilização desse tipo de operação, tanto em termos econômicos quanto tecnológicos

(baixa produtividade, presença de mudança estrutural nas camadas superficiais, geração de tensões residuais e custo elevado da usinagem).

Por isso, torna-se, em alguns casos, interessante substituir essas ferramentas abrasivas por insertos feitos de materiais policristalinos a base de nitreto cúbico de boro (PcBN), devido principalmente às características singulares alcançadas com seu uso. Normalmente o PcBN é produzido via sinterização em altas pressões e altas temperaturas. Entretanto, as propriedades dos compósitos são diretamente influenciadas tanto pelo ligante quanto pelo tamanho de grão das partículas de cBN. O PcBN (Nitreto policristalino de boro) tem um bom desempenho em aços endurecidos, porém também é limitado por ter uma baixa tenacidade à fratura.<sup>(7)</sup>

Segundo pesquisas recentes, como a de Shaoje<sup>(8)</sup> em 2011, uma possível solução para aumentar a tenacidade dos compactos consiste na busca por novos tipos de ligantes e a manipulação dos parâmetros de sinterização. Segundo dados reportados na literatura<sup>(1-3)</sup> a introdução de nanopartículas no meio reacional durante a sinterização, aliada à aplicação dos parâmetros de pressão e temperatura de forma cíclica, é viável e permite a produção de compactos (insertos) com maior tenacidade à fratura sem prejuízo da dureza do material.

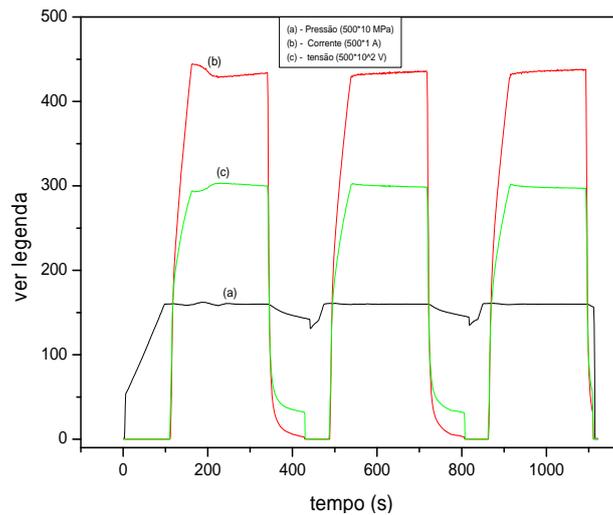
Assim, diante do exposto, objetivando a produção de compósitos destinados para a aplicação como insertos utilizados na usinagem de alta velocidade, no presente trabalho são apresentados os resultados preliminares referentes à obtenção de compósitos nanoestruturados a base de wBN, TiB<sub>2</sub> e Al.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção da mistura de partida, os pós de wBN (70%), TiB<sub>2</sub> (21%) e Al (9%) foram submetidos à moagem de alta energia em moinho de bolas, Spex 8000 mixer, por um período efetivo (excetuando tempo de descanso) de moagem foi de 2 h. Após o processo de mistura, procedeu-se ao processo de preparação da célula de reação, a qual é composta por uma cápsula de calcita, bucha de grafite e mistura reativa. Para execução do processo de sinterização em altas pressões e altas temperaturas (APAT) foi utilizada a prensa de 630 toneladas. A calibração da pressão e temperatura foi realizada por procedimentos previamente descritos na literatura.<sup>(1-3)</sup> Para a produção dos compósitos foi utilizado o sistema cíclico de aplicação dos parâmetros do processo de sinterização.<sup>(2)</sup> Para cada sinterização foram utilizados 3 ciclos, sendo todos os processos monitorados via software específico.<sup>(1)</sup> Após o processo de sinterização as amostras foram retiradas da célula de reação, limpas e preparadas para a caracterização. A densidade dos compactos foi determinada via aplicação do método de Arquimedes. Os testes de microdureza foram realizados em Microdurometro da Shimadzu, Modelo MHV-2 ver.2.04, aplicando carga de 19,614 N e tempo de indentação 10 segundos. A microestrutura dos compactos foi observada em microscopia eletrônica de varredura (MEV)

## 3 RESULTADOS

Conforme mencionado, todos os processos de sinterização foram monitorados via software. A partir dos dados armazenados é possível a construção das curvas de sinterização, as quais permitem a análise qualitativa do processo. Na Figura 1 está apresentado um gráfico com o comportamento típico observado durante a sinterização das amostras.



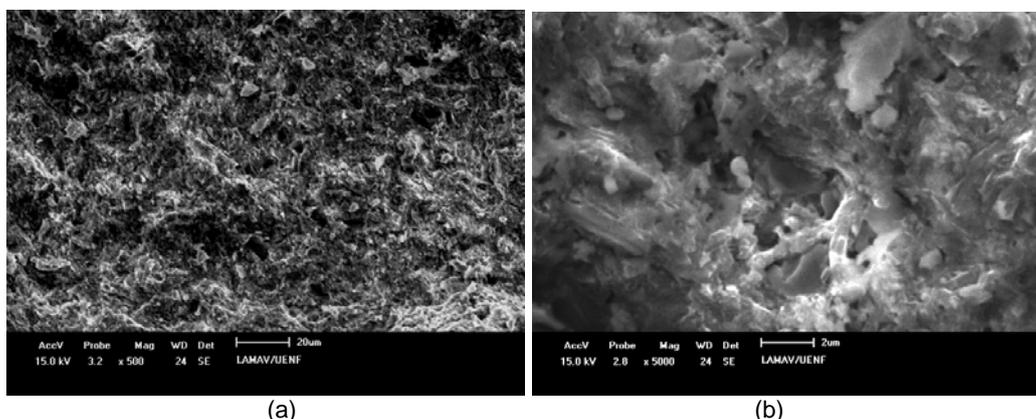
**Figura 1.** Comportamento dos parâmetros durante o processo de sinterização.

Foram sinterizadas 10 amostras em formato cilíndrico com diâmetro de 4,2 mm a 4,8 mm, e altura de 3,8 mm a 4,2 mm. Algumas das amostras podem ser observadas na Figura 2.



**Figura 2.** Amostras sinterizadas.

A densidade teórica, obtida a partir da regra das misturas, foi de 3,12 g/cm<sup>3</sup>. Já a densidade média das amostras foi de 3,08 g/cm<sup>3</sup>. Na determinação da microdureza das amostras foi encontrado um valor médio de 12 GPa. Na Figura 3 estão apresentados os resultados provenientes da análise da região de fratura das amostras.



**Figura 3.** Região de fratura. (a) aspecto geral; (b) detalhe das partículas

## 4 DISCUSSÃO

Todos os processos de sinterização foram executados sob potência elétrica constante. Entretanto, no decorrer do processo de sinterização, a formação de novas fases ou alterações estruturais nos componentes que compõem a mistura de partida são esperadas. Isto implica na variação da resistência elétrica da mistura, a qual por sua vez, irá provocar alterações tanto na corrente elétrica quanto na voltagem. Observando-se o gráfico da Figura 1 constata-se que estas mudanças são mais significativas no primeiro ciclo. A partir do segundo ciclo as variações continuam ocorrendo, porém em menor escala. Isto sugere que a formação de novas fases, oriundas da interação entre o wBN e os ligantes, ocorre de forma mais intensa logo no início do processo. Tendo-se em vista os valores de densificação encontrados, pode-se inferir que o processo de sinterização foi efetivo, uma vez que foi encontrada uma densificação em torno de 98,7. Esta análise é corroborada pelos resultados encontrados para a microdureza das amostras (12 GPa) e pela análise da superfície de fratura das amostras.

Conforme pode ser observado na Figura 3a, as amostras mostraram baixíssima porosidade. Nota-se também que os cristais de wBN estão firmemente ancorados na matriz metálica, sendo os cristais totalmente envolvidos por ela. Já na Figura 3b observa-se este efeito em maiores detalhes. Nesta figura podem ser aglomerados de partículas com tamanho inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Segundo dados da literatura,<sup>(1-3)</sup> a temperatura da zona de reação tende a diminuir a partir do centro para a extremidade da amostra. Isto ocorre em função dos gradientes de temperatura característicos do tipo de dispositivo de alta pressão<sup>(1-3)</sup> utilizado neste trabalho. Consequentemente, durante a aplicação cíclica dos parâmetros, o material formado é repetidamente exposto às condições ideais de APAT e, desta forma, sujeito ao fenômeno de *oversintering*.<sup>(8)</sup> Assim sendo, a distribuição heterogênea da temperatura no compósito pode afetar o desempenho tecnológico dos compósitos como ferramentas de usinagem.<sup>(9)</sup> Nesse sentido, investigações posteriores serão conduzidas visando a avaliação das propriedades abrasivas destes compósitos.

## 5 CONCLUSÃO

Como conclusão deste estudo preliminar sobre a sinterização do wBN utilizando  $\text{TiB}_2$  e Al como ligantes, pode-se dizer que o processo de sinterização via aplicação cíclica dos parâmetros é eficiente. A princípio foram obtidos compactos com boas propriedades. Entretanto, ainda são necessários estudos mais aprofundados e uma melhor caracterização dos compactos. Isto demonstra a necessidade de continuidade dos estudos relacionados com a produção de insertos superabrasivos a partir do wBN.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Faperj pelo suporte financeiro e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

- 1 BOBROVNITCHII, G. S.; RAMALHO, A. M.; MONTEIRO, S. N.; SKURY, A. L. D. Effect of cycling the high pressure and the high temperature on the quality of cubic boron nitride composites. In: Conference proceedings of the International Technical Conference on Diamond, Cubic Boron Nitride and their Applications (InterTech 2008). Orlando, Florida, Estados Unidos da América, v.1, p.1 – 10. 2008.
- 2 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.
- 3 SKURY, A. L. D.; SIDERIS Jr, A. J.; BASTOS, M. G. A. Investigation of Fractures, Wear and Density of Sintered Nanostructured Compacts. Proceedings Material Symposium 2010. Rio de Janeiro, v.1, p. 115 – 115. 2010.
- 4 Sistema FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Decisão Rio 2010-2012. Rio de Janeiro, p. 13 – 65. 2009.
- 5 SCHUITEK, A.; SEVERIANO, A.; BELLOS, N. Otimização de Processo de Retificação Utilizando Rebolos de CBN. In: I Congresso Brasileiro de Engenharia Fabricação, ABCM. Curitiba, 2001.
- 6 VALPASSOS, J.M.; RAMALHO, A. M.; BOBROVNITCHII, G. S.; MONTEIRO, S.N. Sintering of Cubic Boron nitride using Titanium-based binders. Brazilian MRS Meeting 2005, Recife, 16-19 de Outubro. 2005.
- 7 DIVAKAR, C.; BHAUMIK, S.K.; SINGH, A.K. High pressure-High temperature processing and performance of wBN-cBN composite tools. Anais da Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia de Alta Pressão. Bangalore, Índia. 10-11 de outubro de 1994.
- 8 SHAOJE, L.; YI W. et al. The investigation of ultrahigh pressure sintering of cubic boron nitride with binding agent of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Advanced Materials Research. v. 150, p. 1191. 2011.
- 9 DE BEERS, U. Diamonds in Industry. Booklets Series. 9 volumes. 1995.