

ANÁLISE DO DESGASTE DAS PASTÍLHAS DE USINAGEM A BASE DE NITRETO CÚBICO DE BORO ¹

Raphael Maciel de Souza ²

Alan Monteiro ³

Gueroold S. Bobrovnitchii ⁴

Sérgio Neves ⁵

Resumo

O nitreto cúbico de boro (cBN), após o diamante, é o material comercial de mais alta dureza. Contudo, o cBN pode ser aplicado na usinagem de materiais ferrosos, pois o mesmo apresenta maior inércia química à ação de compostos ferrosos. O cBN sinterizado com determinados tipos de ligantes e sob certos parâmetros de pressão e temperatura (aproximadamente 8,0 GPa e 1700°C), pode ser empregado na forma de pastilha na usinagem de aços temperados na indústria metal-mecânica. Além de viabilizar a mecanização desses aços endurecidos, o uso do cBN possibilita alcançar níveis de acabamento superficial similares aos obtidos em operações de retífica. Dentre os ligantes utilizados na sinterização, normalmente usa-se pós a base de compostos de titânio e/ou de alumínio, que são elementos capazes de dissolver as camadas de óxido de boro que envolvem as partículas de cBN. No presente trabalho, as pastilhas foram fabricadas por meio de sinterização da mistura de pós de cBN com pós de alumínio. Testes de usinagem foram realizados para verificar a efetividade de usinagem. Também ensaios de dureza Vickers e microscopia eletrônica de varredura foram realizados. Os resultados obtidos são importantes para o prosseguimento nos estudos sobre a sinterização do cBN.

Palavras-chave: Nitreto cúbico de boro; Sinterização; Alumínio; Usinagem.

ANALYSIS OF MANUFACTURING INSERTS WEARS DONE CUBIC BORON NITRIDE

Abstract

After diamond, the cubic Boron Nitride (cBN) is the hardest commercial material. However, the cBN inserts can be used to ferrous material manufacturing, as steel, due mainly the chemical high inertia. The sintering of cBN inserts can be obtained thought mixture cBN powders with some kinds of binders powders, as aluminum and titanium, under high pressure and high temperature, near 8.0GPa and 2000K, respectively. As manufacturing harding steel, the cBN inserts permits achieve finish superficial level similar to grinding. In the present work, the cBN inserts were manufactured, by sintering under high pressure and high temperature, using mixture cBN powders and aluminum powders. Tests of manufacturing were done to observe the performance of cBN inserts, also hardness testing and analysis by scanning electronic microscopic were achieved. The results obtained are important to understand the cBN inserts sintering behavior.

Key words: Cubic boron nitride; Sintering; Aluminum; Manufacturing.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Aluno de Graduação do Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

³ *D.Sc., Professor da Universidade Salgado de Oliveira e Técnico de Nível Superior do Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

⁴ *Ph.D., Professor do Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

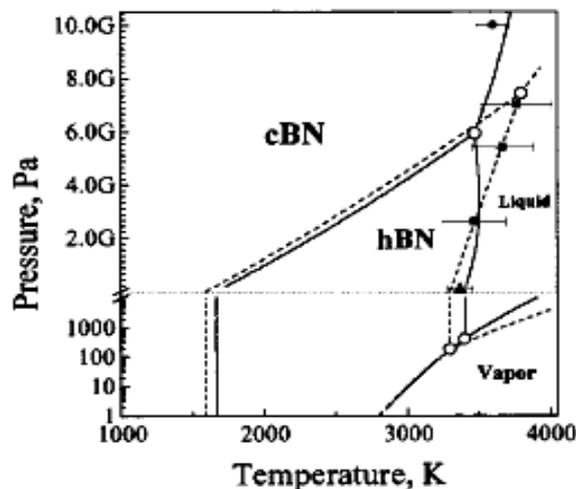
⁵ *Ph.D., Professor do Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

1 INTRODUÇÃO

Apesar das novas marcas de metal duro possuírem alta resistência ao desgaste e elevada dissipação de calor, elas ainda são incapazes de realizar a usinagem de aços de alta dureza, como aços-ligas temperados e determinados tipos de ferro fundido. O desenvolvimento de materiais cristalinos a base de cBN foi motivado por essa deficiência, principalmente após o aprimoramento de novos métodos de síntese, o que permitiu o crescimento de cristais maiores.

As primeiras informações sobre a obtenção do cBN na forma de pastilhas sinterizadas foram divulgadas em 1961. Contudo, Valpassos⁽¹⁾ afirma que a aplicação prática desses materiais somente foi divulgada em 1972.

A sinterização dos pós de cBN é realizada com o objetivo de se obter policristais na região de estabilidade termodinâmica do cBN. Em Novikov e Shulzhenko,⁽²⁾ de acordo com o diagrama de fase do nitreto de boro, figura 1, pressões entre 7 à 12GPa são necessárias junto com temperaturas da ordem de 2000K.



Fonte: Solozhenko.⁽³⁾

Figura 1. Diagrama de fase, pressão versus temperatura, do nitreto de boro (As linhas contínuas foram obtidas na referência Solozhenko⁽³⁾. As linhas tracejadas são do diagrama de Solozhenko⁽⁴⁾). Os pontos quadrados pretos mostram as informações sobre a fusão do hBN obtidas por Wentorf, 1959. O ponto circular preto mostra o ponto de fusão do cBN sob 10 GPa, Zerr, 1998, e o ponto triangular preto mostra o ponto de fusão do hBN em 50 MPa, Vinogradov.⁽⁵⁾

O cBN é o segundo material de mais alta dureza, tendo dureza Knoop de aproximadamente 45GPa, enquanto a do diamante está em torno de 90GPa. O cBN tem provado ser um interessante e útil material para a indústria, devido à combinação de elevada dureza com comportamento químico sob temperaturas elevadas, visto que o diamante é oxidado formando CO_2 , que é liberado para a atmosfera dando prosseguimento ao processo de deterioração do material. Já o cBN, sob as mesmas condições, forma uma camada protetora de B_2O_3 que limita a ação do oxigênio. Essa camada protege o cBN até temperaturas próximas do ponto de vaporização do B_2O_3 , após o qual uma rápida oxidação ocorre. A reatividade química do cBN com o ferro é também bastante diferente a do diamante. Sob altas temperaturas, tal como é alcançado nas regiões de contato entre uma ferramenta e uma peça durante o processo de usinagem, o diamante tende a reagir com o ferro e suas ligas, aumentando o atrito e o desgaste. Já o cBN atua de forma contrária, sem qualquer reação. Ele permite a retirada de cavacos de uma peça de forma suave, com o mínimo de atrito. Rebolos de cBN são usados para dar acabamentos em aços

temperados ou em superligas empregadas em turbinas a gás. Essas características acima mencionadas permitem ao cBN atuar como um importante material para ferramentas de corte, principalmente na forma de pastilhas sinterizadas.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Para a obtenção de compósitos policristalinos a base de cBN são aplicados diversos métodos de sinterização, como a sinterização direta sem ligantes e a indireta com ligantes. No caso da sinterização com ligantes, simultaneamente ao crescimento da área de contato entre os grãos de cBN, ocorre a interação físico-química do mesmo com o material ligante. A escolha correta do ligante, bem como sua composição, quantidade e granulometria, leva a formação de uma cerâmica dura que preenche os poros e que se distribui homogênea entre os grãos de cBN, formando uma solução sólida de boretos e nitretos como fase contínua. Wentorf⁽⁶⁾ descreve que nem todos os elementos químicos são capazes de dissolver as partículas de cBN durante a aplicação dos parâmetros de altas pressões e temperaturas e, desse modo, contribuir para a sua sinterização.

Como ligantes, foi patenteada uma ampla gama de materiais, que inclui todos os metais refratários, metais do grupo do ferro, Al, Si e muitos materiais não metálicos, como óxidos e nitretos. Frequentemente, encontra-se combinações de compostos, como SiN+Si e Mg+Si (Patentes Japão N° 5624701, França N° 2455632 e EUA N° 4334928). Quanto a granulometria, em algumas patentes são especificados valores de até 200µm. Segundo Valpassos,⁽¹⁾ a utilização de nanopós constitui uma perspectiva para aumentar as propriedades mecânicas.

A necessidade do ligante deve-se a alta afinidade entre o oxigênio e a superfície das partículas de cBN nas temperaturas de sinterização. O oxigênio forma óxido de boro entre os contornos das partículas de cBN, impossibilitando qualquer tipo de ligação química. Uma das soluções para evitar esse problema tem sido sinterizar as partículas de cBN com alumínio. A idéia básica é que o alumínio consiga reduzir o óxido de boro, deixando o boro livre para se ligar com os metais de transição e este composto, por sua vez atuando como um catalisador na formação do inserto cBN. Dessa forma, um forte ligante entre as partículas de cBN é obtido. Wentorf⁽⁶⁾ conclui que o oxigênio resultante da redução é aparentemente ligado ao alumínio, formando localmente a alumina, não causando dano a sinterização.

Contudo, em Rong et al.,⁽⁷⁾ outros autores têm relatado que a sinterização no sistema CBN-Al é prejudicada pela alta velocidade de formação de grãos de AlN e AlB₂ entre as partículas de cBN e, como consequência, a resistência mecânica da pastilha é diminuída. Para evitar este problema, Rong et al.⁽⁷⁾ propõe a utilização de compostos a base de nitreto de Titânio (TiN) no sistema cBN-Al. O TiN apresenta excelentes resultados tribológicos e coeficiente de expansão térmica intermediário entre o alumínio e o cBN. Os resultados práticos têm revelado a superioridade do sistema cBN-Ti-Al, quando comparado com o cBN e com outros elementos. Rong et al.⁽⁷⁾ atribui os problemas de falta de homogeneidade dos compostos formados (TiB₂, TiN, AlN) ao processo da mistura dos pós. O uso de TiN no sistema cBN-Al contribui para a formação de uma estrutura mais fina e homogênea e como resultado, a tenacidade da pastilha é melhorada, mas gera uma pequena perda de abrasividade da mesma. Entretanto, Klimczyk et al.⁽⁸⁾ ressalta que a interação entre os elementos (ligantes) com as partículas de cBN ainda não é bem compreendida devido, principalmente, a dificuldade de identificação de todas as fases formadas durante o processo de alta pressão e alta temperatura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As pastilhas de cBN foram obtidas de acordo com a seqüência apresentada abaixo, sendo que alguns dos elementos utilizados no processo de sinterização são mostrados na figura 2.

- Peneiração do pó de alumínio nas faixas granulométricas determinadas (entre $150\mu\text{m}/180\mu\text{m}$ e $212\mu\text{m}/250\mu\text{m}$), formando o pó do ligante;
- Mistura do pó de cBN com o pó do ligante (proporção de 90% de cBN em peso) formando a mistura reativa;
- Colocação da mistura reativa dentro do tubo aquecedor de grafite e montagem deste no interior da cápsula deformável de calcita, após o qual faz-se o fechamento das extremidades do tubo com as tampas de proteção (mistura de grafite com pó de calcita em 50% de peso), formando a amostra;
- Posicionamento da amostra entre as superfícies de trabalho do DAP tipo bigorna com concavidade toroidal;
- Posicionamento do DAP entre os pistões de compressão da prensa hidráulica especial com capacidade de força de 630ton;
- Acionamento da prensa para obtenção, e manutenção, dos parâmetros de pressão e temperatura por um determinado tempo (15min);
- Diminuição da temperatura e alívio da pressão;
- Retirada da amostra processada;
- Quebra da cápsula, tubo aquecedor e tampas isolante, para a obtenção da pastilha de cBN;
- Limpeza ultra-sônica, em solução de água e detergente neutro, do composto de cBN por um período de 10 min;
- Medição de dureza Vickers;
- Análise por microscopia eletrônica de varredura;
- Análise por Difração de Raio-X;
- Fixação do composto de cBN no porta ferramentas para testes de torneamento;
- Testes de torneamento em aços de dureza superior a 50HRc.

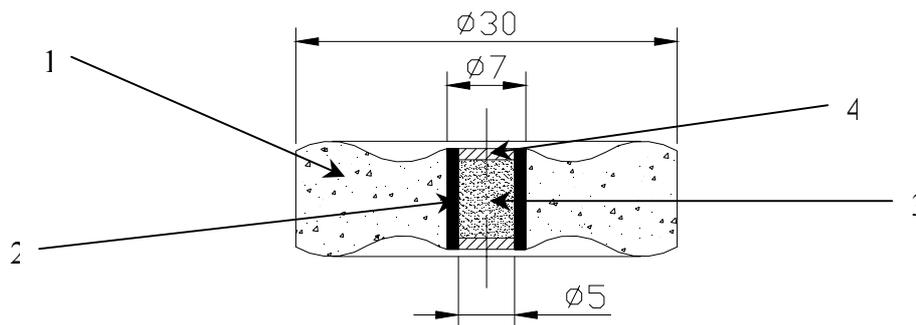


Figura 2. Esquema de montagem da amostra na cápsula, onde: 1 – Cápsula deformável de calcita; 2 – Tubo aquecedor de grafite; 3 – Mistura reativa; 4 – Tampas de proteção.

4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1 Os Testes de Dureza Vickers

Os resultados dos testes de dureza Vickers não foram conclusivos, principalmente devido à dificuldade de se observar a marcação feita pelo penetrador de diamante sobre a superfície da amostra. Na melhor das hipóteses, onde foi possível identificar com mais clareza as arestas da marcação, o valor da dureza Vickers obtida foi de 42GPa. É importante notar que após algumas tentativas de se obter uma melhor marcação, a ponta do penetrador de diamante foi quebrada. Benko⁽⁹⁾, em sua literatura específica sobre testes em amostras de cBN, indica que o mais conveniente para esses ensaios é o penetrador do tipo Knoop, ou dureza Knoop, que possibilita fazer a marcação sobre a superfície do cBN sem que os níveis das tensões presentes ultrapassem valores críticos.

4.2 As análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resultados na análise MEV mostraram que há pouca quantidade de poros entre as partículas de cBN, indicando uma elevada densificação da pastilha sinterizada, como notado na Figura 3. A trinca indicada pela seta "A" na Figura 4, provavelmente deve-se a imprecisão nos controles de pressão e temperatura durante o processo de sinterização. Esse tipo de problema já havia sido observado em experimentos anteriores e a solução foi obtida aplicando um aumento gradual da temperatura ao longo do processo.

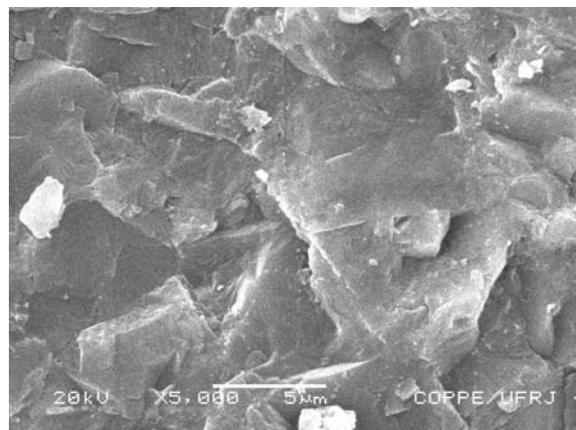


Figura 3. MEV da superfície da pastilha de cBN

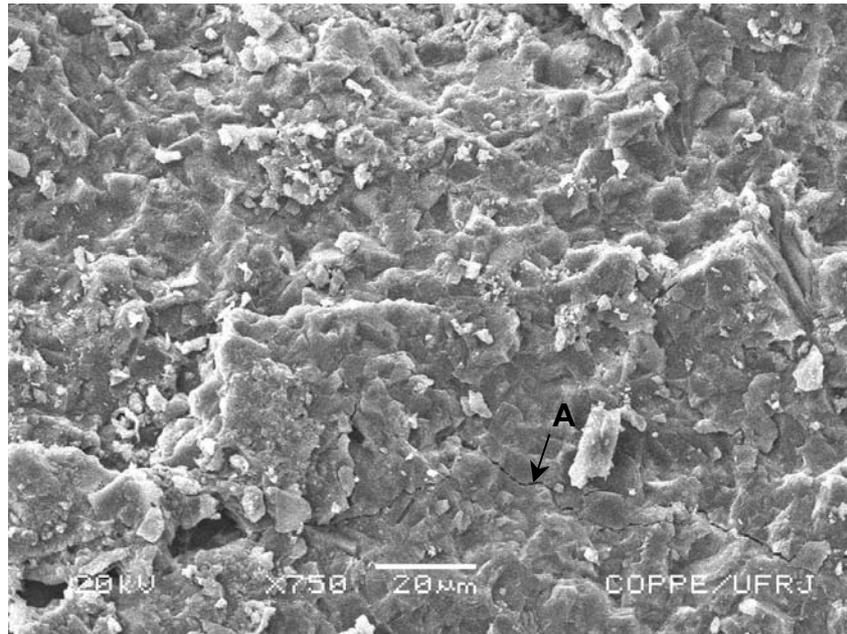


Figura 4. MEV da superfície fraturada da pastilha de cBN

4.3 Análise por Difração de Raio –X

O difratograma (Figura 5) revelou que alguns dos compostos apresentados na teoria foram de fato encontrados nas amostras sinterizadas. Obviamente, análises quantitativas posteriores são necessárias para verificar a relevância de cada um desses compostos.

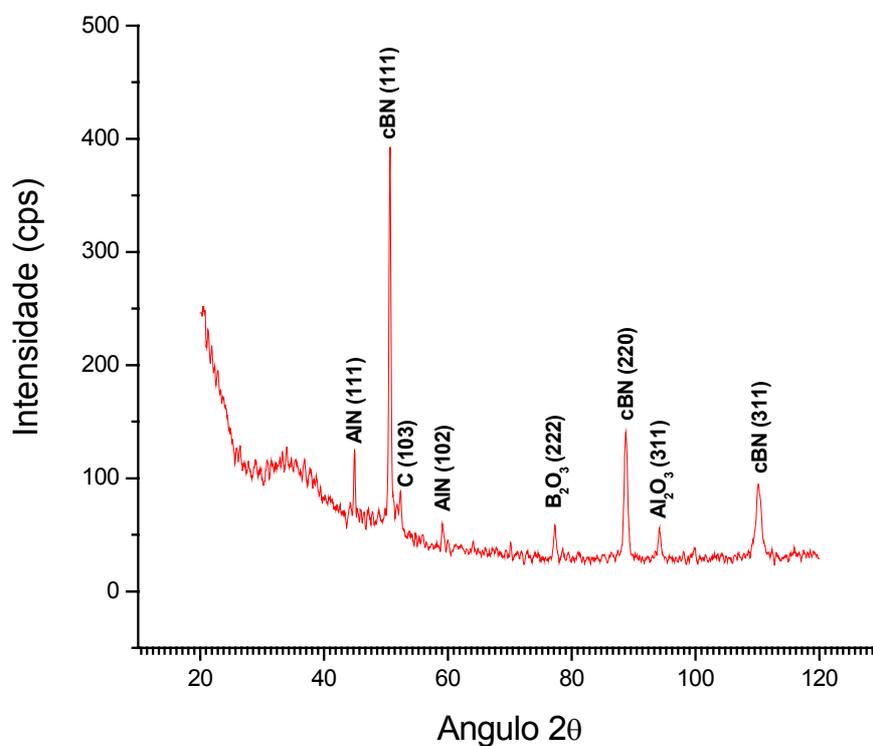


Figura 5. Difratograma da pastilha de cBN+Al.

4.4 Testes de Usinagem

Os parâmetros empregados foram: rotação = 2500RPM; avanço = 47,5mm/mim; profundidade de corte = 0,05mm. O material usinado foi um aço AISI 4140, temperado e revenido, com dureza de 54HRc (Figura 6). O tipo de operação de torneamento foi o faceamento. As pastilhas de cBN foram, após a sinterização e limpeza ultra-sônica, pesadas e fixadas no porta ferramentas e submetidas ao ensaio. Após 1 minuto de usinagem intermitente, a amostra foi novamente submetida à pesagem. Isso foi realizado durante 16min. Os testes de usinagem foram realizados no torno mecânico Tormax 20-A, marca ROMI S. A. e, infelizmente, os parâmetros de usinagem ficaram condicionados às características da máquina, tal como a rigidez do seu conjunto. O resultado do teste demonstra a eficiência da sinterização (figura 7), onde se nota que a perda de massa foi menor que 4%. A variação maior do peso da amostra 1 (com granulometria do Al entre 150/180 μ m) é notada apenas inicialmente, provavelmente por ação de trincas que devem ter causado alguma desagregação. Já na amostra 2 (com granulometria do Al entre 212/250 μ m), onde a formação de trincas provenientes do processo não observada, a variação do peso foi menor. A amostra de metal duro (WC), apesar de apresentar uma menor perda de massa, provavelmente devido a sua maior tenacidade, teve uma vida útil bastante reduzida, já que aos 6 minutos de corte o desgaste na aresta de corte era grande o suficiente para dificultar a usinagem, ao ponto de a superfície ficar com a rugosidade acima de 80 μ m. Já a amostra de cBN, mesmo após 10 minutos de usinagem manteve a capacidade de corte inalterada, de modo que a rugosidade superficial, em determinados momentos, atingiu níveis de 18 μ m.

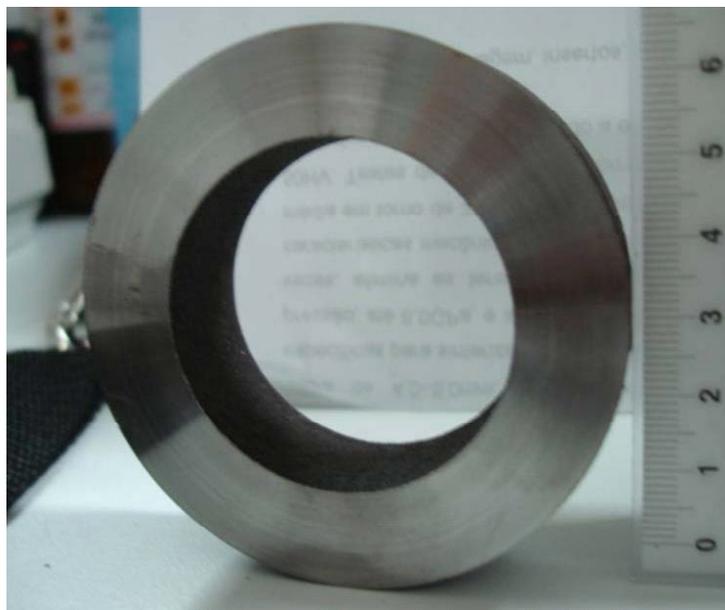


Figura 6. Anel de aço AISI 4140, temperado e revenido para dureza 54HRc e que foi utilizado durante os teste de usinagem.

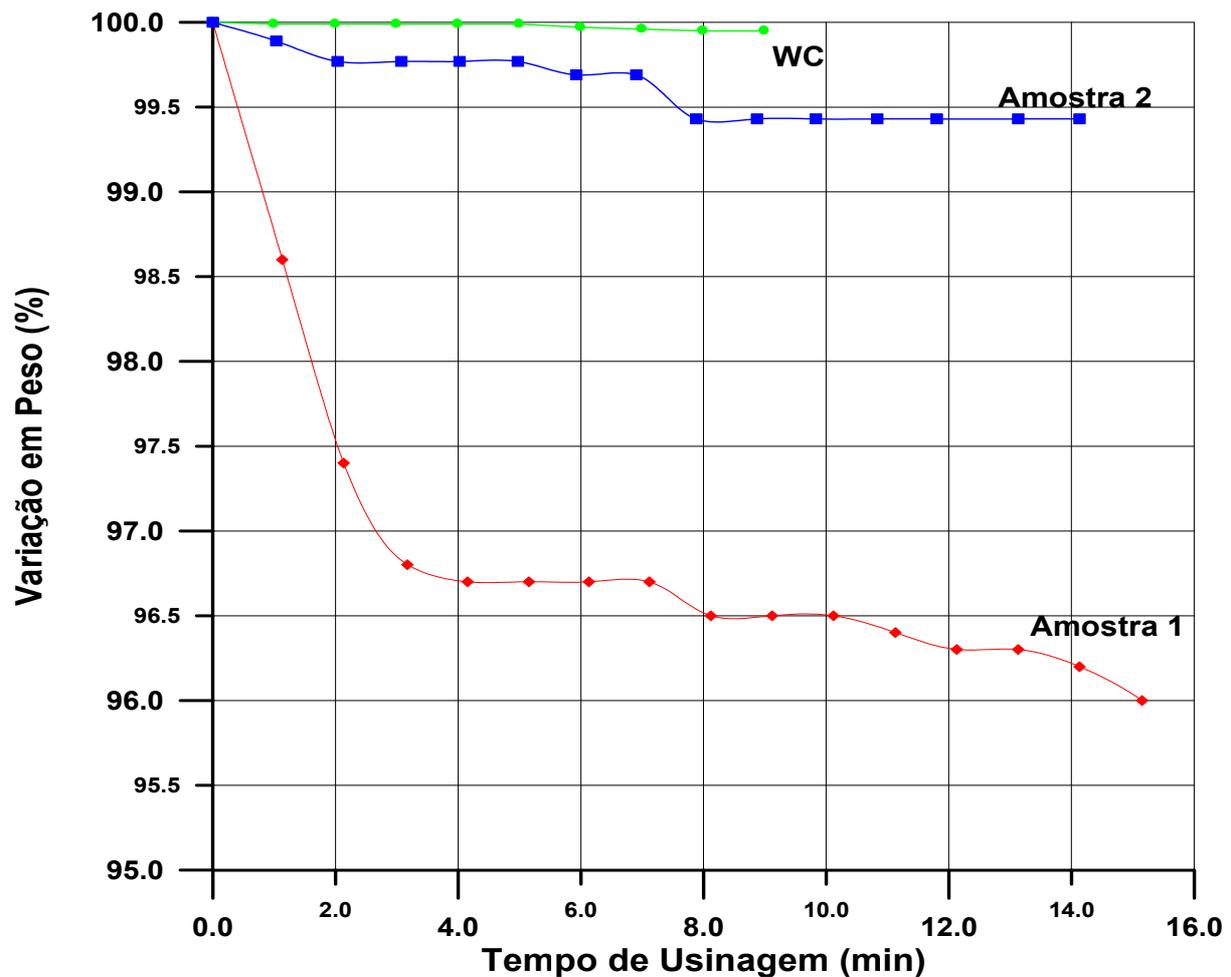


Figura 7. Resultado do ensaio de usinagem, onde: amostra 1 – cBN+Al com granulometria do ligante entre 150/180 μ m; amostra 2 – cBN+Al com granulometria do ligante entre 212/250 μ m; WC – pastilha de usinagem de metal duro.

REFERÊNCIAS

- 1 Valpassos, J. M., *Estudo Inicial da Sinterização do Nitreto Cúbico de Boro Utilizando Como Ligante o Diboreto de Titânio*. Monografia de Graduação da Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006, p. 24.
- 2 Novikov N. V., Shulzhenko A. A., (1991), Os Materiais Superduros Policristalinos para Ferramentas de Corte, VII Internationale Pulvermetallurgische Tagung DDR, Dresden: Institut Für Festkörperphysik, pp. 49-60.
- 3 V. L. Solozhenko, V. Z. Turkevich, W. B. Holzapfel "Refined Phase Diagram of Boron Nitride", *J. Phys. Chem. B* 1999, 103, 2903-2905.
- 4 Solozhenko, V. L. *High Pressure Science and Technology*, Proceedings of the Joint XV AIRAPT & XXXIII EHPRG International Conference; World Scientific: Singapore, 1996; p 338.
- 5 Vinogradov V. L.; Kostanovsky, A. V. *Teplofiz. Vys. Temp.* 1991, 29, 1112.
- 6 Wentorf, R. H., (1991) Cubic Boron Nitride: Synthesis and Applications. New Diamond Science and Technology. In.: International Conference Proceedings, pp. 1029-1037.
- 7 Rong X., Tsurumi T., Fukunaga O., Yano T., (2002), High Pressure Sintering of cBN/TiN/Al Composite for Cutting Tool Application. *Diamond and Related Materials*, Vol. 11, pp. 280-286.

- 8 Klimczyc P., Benko E., Lawniczac K., Jablonska K., Piskorska E., Henonem M., Ormaniec A., Gorczynska-Zawinslan W., Urbanovich V. S., (2004), *Cubic Boron Nitride – Ti/TiN Composites: Hardness and Phase Equilibrium as Function of Temperature*. Journal of Alloys and Compounds, Vol. 382, pp. 195-205.
- 9 Benko E., Wyczesany A., Barr T.L., *cBN-Metal/Metal Nitride Composites*. Ceramics International, 2000 - Vol. 26, pp. 639-644.
- 10 Zerr, A.; Serghiou, G.; Boehler, R. *Proceedings of the 5rd NIRIM International Symposium on Advanced Materials*; NIRIM: Tsukuba, 1998; p 5.