

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS SUPERABRASIVOS VIA SINTERIZAÇÃO EM ALTAS PRESSÕES E ALTAS TEMPERATURAS NO SISTEMA cBN-TiB₂-Al¹

Samara Venina Simen de Azeredo Silva²

Ana Lúcia Diegues Skury³

Márcia Giardinieri de Azevedo⁴

Sérgio Neves Monteiro⁵

Resumo

O cBN é um material promissor dentre esses materiais. Neste contexto, no presente trabalho são apresentados resultados referentes ao desenvolvimento e caracterização de compósitos nanoestruturados. O alumínio e o diboreto de titânio foram utilizados como ligantes no processo de sinterização do cBN. Inicialmente os pós de cBN e ligantes foram misturados em moinho de alta energia do tipo SPEX visando a cominuição dos mesmos até a forma de nanopó. O tamanho médio de partícula encontrado após a moagem variou entre 200 nm a 500 nm. O aperfeiçoamento das técnicas de usinagem assim como o desenvolvimento da indústria metal/mecânica, tem sido relacionado principalmente a aplicações de novos materiais avançados e a ferramentas de corte para materiais ferrosos. Após o processo de mistura os pós foram compactados e submetidos ao processo de sinterização. Os compósitos obtidos foram caracterizados em termo de microestrutura, propriedades mecânicas. Foram ainda realizados ensaios de torneamento em aço endurecido. Os resultados mostraram que os compósitos obtidos são apropriados para fabricação de insertos destinados para usinagem de alta velocidade e materiais tais como ferro nodular.

Palavras-chave: cBN, sinterização, usinagem, sistema cBN-TiB₂-Al.

OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF NANOSTRUCTURED SUPERABRASIVE COMPOSITES THROUGH SINTERING IN HIGH PRESSURES AND HIGH TEMPERATURES IN THE SYSTEM cBN-TiB₂-Al

Abstract

The cBN is a promising material among these materials. In this context, this work presents results for the development and characterization of nanostructured composites. Aluminum and titanium diboride as binders were used in the process of cBN. Initially, the cBN powder and binder were mixed in a high energy mill SPEX order to comminution thereof to from nanopowder. The average particle size after milling found ranged between 200 nm to 500 nm. The improvement of machining techniques and the development of industry metal/mechanics has been primarily related to applications of new advanced materials and cutting tools for ferrous materials. After the mixing the powders were compacted and subjected to sintering process. The composites were characterized in terms of microstructure and mechanical properties. Were even conducted tests on hardened steel turning the results show that the composites are suitable for manufacturing inserts designed for high speed machining of materials such as ductile iron.

Key words: cBN, sintering, machining, system cBN-TiB₂-Al.

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

² Doutoranda, Eng. e Ciências dos Materiais, CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ DSc. Prof. Associado, Programa de Pós Graduação em Eng. e Ciência dos Materiais, CCT, UENF, RJ, Brasil.

⁴ Pós-Doutoranda, Eng. e Ciências dos Materiais, CCT, UENF, RJ, Brasil.

⁵ PhD. Professor, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos obtidos a partir de Nitreto cúbico de Boro (cBN) são amplamente utilizados como ferramentas de corte para materiais ferrosos, no campo de aplicação onde as ferramentas diamantadas apresentam limitações⁽¹⁾.

A importância dos compósitos à base de cBN reside em processos de usinagem de materiais ferrosos de elevada dureza. Os compósitos obtidos a partir de cBN promovem alta qualidade superficial, eliminando a necessidade de retífica^(2,3).

Recentemente uma nova classe de materiais superabrasivos tem sido produzida inicialmente a partir de nanopós, a síntese de materiais nanoestruturados bem como o estudo das tecnologias de produção e caracterização desses materiais tem gerado enorme interesse do ponto de vista científico e tecnológico.

O processo de sinterização sob altas pressões e altas temperaturas dos materiais obtidos a partir de cBN é a base do processo tecnológico que é utilizado pelas principais empresas do mundo que produzem ferramentas superabrasivas⁽⁴⁾.

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 TiB₂ a alta dureza e a baixa reatividade aos compostos ferrosos qualificam este material como promissor ligante para a sinterização de cBN^(4,5).

Alguns estudos mostram que compósitos a base de cBN podem ser utilizados na usinagem de metal duro, com boa qualidade superficial e vida útil da ferramenta prolongada⁽⁶⁾.

Tendo em vista os resultados obtidos, o objetivo do presente trabalho foi a produção e a caracterização dos compósitos nanoestruturados à base de cBN via sinterização sob altas pressões e altas temperaturas, utilizando TiB₂ e Al como ligantes para a produção de insertos destinados à aplicação em ferramentas de corte utilizadas na indústria metal/mecânica, elevação de suas propriedades e otimização da tecnologia de produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi proposto o desenvolvimento tecnológico dos compósitos à base de cBN, os quais foram manufacturados via sinterização sob altas pressões e altas temperaturas. Os pós utilizados na mistura reativa estão ilustrados na Tabela 1. O Nitreto cúbico de Boro utilizado é proveniente do Superhard Material Institute, Kiev Ucrânia.

Tabela 1. Descrição dos pós

Pós	Pureza	Granulometria
cBN	91%	14/40 µm
TiB ₂	99,5%	≤ 325 Mesh
Al	99,5%	≤ 325 Mesh

A mistura reativa foi preparada na proporção de (60% cBN, 30% TiB₂ e 10% Al) e foi processada em moinho de alta energia do tipo SPEX 8000 com poder de moagem de 10:1, a programação do tempo de moagem foi de 1 hora e 30 minutos. Após a

completa mistura dos pós, os mesmos foram submetidos a pré-compactação por compressão uniaxial de 500 MPa em matriz de aço na prensa hidráulica de 20 ton modelo LA4C da L&A e Comércio LTDA para obter os compactos de 7mm de altura e 7mm de diâmetro. Após esta etapa foi realizada a secagem dos mesmos em estufa por 30 minutos a 80°C. O compacto verde obtido após o processo de secagem foi inserido cuidadosamente no interior do tubo aquecedor feito de grafite que foi selado com discos também feitos de grafite. Todo o conjunto por sua vez foi inserido na cápsula feita de calcita. As cápsulas de calcita com as amostras inseridas no interior foram posicionadas entre as superfícies de trabalho do Dispositivo de alta pressão com concavidade toroidal Figura 1, e todo esse conjunto foi inserido entre os blocos de apoio da prensa hidráulica especial de 630 ton. Modelo D0138 da Ryazantypressmach.

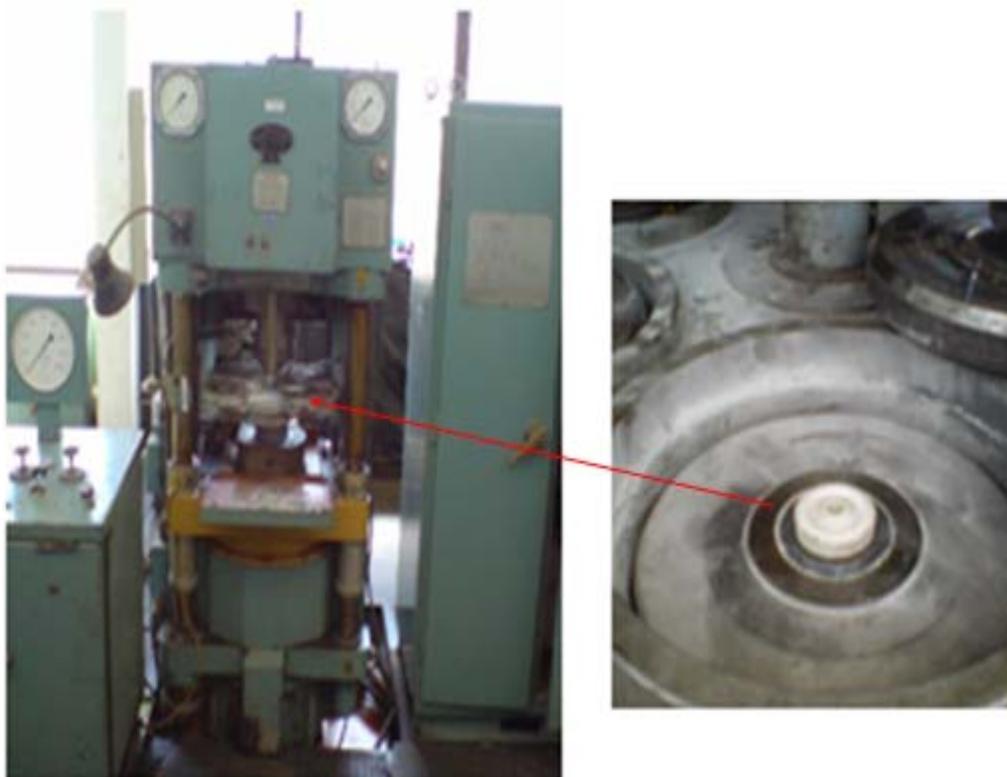


Figura 1. Prensa hidráulica especial Modelo D0138 da Ryazantypressmach e cápsula de calcita inserida no DAP.

Para a realização do processo de sinterização, foi utilizado o regime baseado na aplicação com ciclos e sem ciclos dos parâmetros de pressão e temperatura. O diagrama esquemático Figura 2 apresenta o método de aplicação de altas pressões e altas temperaturas, é possível observar o modo de variação e aplicação dos parâmetros de temperatura, pressão e tempo no processo cíclico de sinterização.

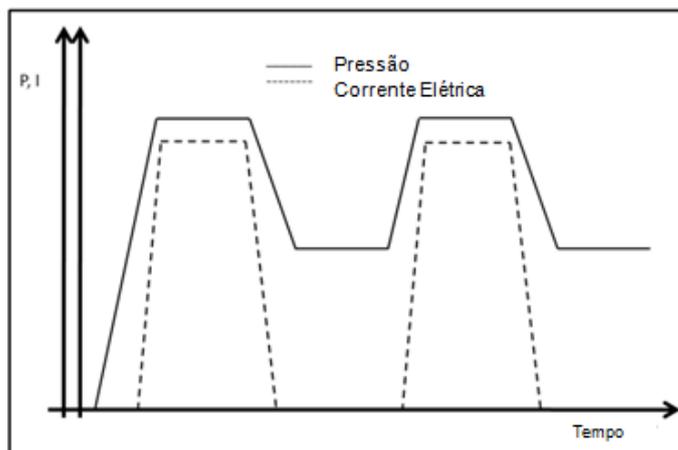


Figura 2. Diagrama esquemático do ciclo de aplicação dos parâmetros de sinterização.

Foi avaliado o processo de sinterização com regime com ciclos e sem ciclos como pode ser observado na Tabela 2. O objetivo desta variação foi avaliar se os parâmetros de processamento bem como os ciclos influenciam consideravelmente na qualidade do produto sinterizado, para desta forma otimizar o processo.

Tabela 2. Parâmetros de Sinterização

Grupos	Parâmetros de sinterização
I	7,5 GPa - 1650°C
II	6,6 GPa - 1800°C
III	6,6 GPa - 1800°C (regime cíclico)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras obtidas não apresentaram superfície regular, porém as mesmas foram polidas para a obtenção de uma superfície plana.

A Tabela 3 demonstra que foram obtidos níveis satisfatórios de densificação para cada grupo, entretanto houve uma variação na densificação dos mesmos devido aos diferentes parâmetros de sinterização.

Tabela 3. Densidade Aparente média e densidade relativa média

Grupos	Densidade Aparente Média (g/cm ³)	Densidade Relativa Média (%)
I	3,22	88,66
II	3,33	90,18
III	3,50	96,40

A partir de estudos da porosidade, composição de fase e estrutura dos compósitos produzidos por sinterização de nanopós de cBN, sob alta pressão utilizando ligantes, pode-se verificar uma característica especial da consolidação do nanopó sob os parâmetros de pressão e temperatura, ou seja, a formação de volumes locais de diferentes densidades que causam o aumento da porosidade ⁽⁴⁾. Entretanto no presente trabalho foram alcançados níveis melhores de densificação utilizando temperatura entorno de 1.800°C.

Observa-se que os valores de densidade do grupo I diferem dos grupos II e III significativamente. Da análise dos dados apresentados na Figura 3. Pode-se observar que há diferença entre a densidade dos compósitos em função dos parâmetros de sinterização empregados. A média da densidade do grupo I

apresenta valores inferiores aos dos grupos II e III, pois os parâmetros de sinterização influenciaram na consolidação da estrutura do compósito a base de cBN.

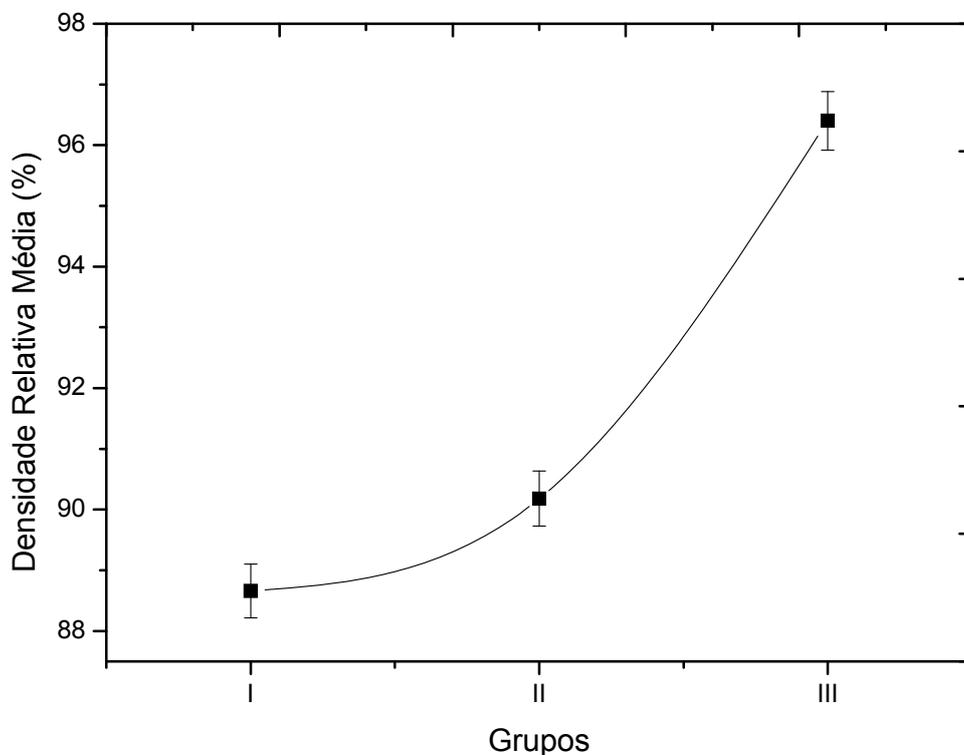


Figura 3. Densidade relativa média apresentada pelas amostras sinterizadas dos grupos I, II e III.

O estudo da microdureza é de suma importância na avaliação das alterações na microestrutura, pois a medição da microdureza acompanha as mudanças microestruturais, permitindo avaliar a condição sub-superficial do compósito a base de cBN. Os valores de Microdureza podem variar devido a não homogeneização dos compactos.

A microdureza dos compósitos é refletida pela quantidade de cBN, ou seja, a microdureza dos insertos aumenta de acordo com a quantidade de cBN, desde que a quantidade de Al adicionada seja igual a quantidade de cBN consumida ⁽¹⁾. No presente trabalho foram alcançados valores satisfatórios de microdureza para mistura reativa com 60%p de cBN.

Examinado com atenção a Figura 4 que apresenta a microdureza para os três grupos nota-se que os valores de microdureza média são satisfatórios, entretanto os grupos II e III com parâmetros de sinterização de 6,6 GPa e 1.800°C com ciclo para o grupo II e sem ciclo para o grupo III apresentaram valores de microdureza próximos.

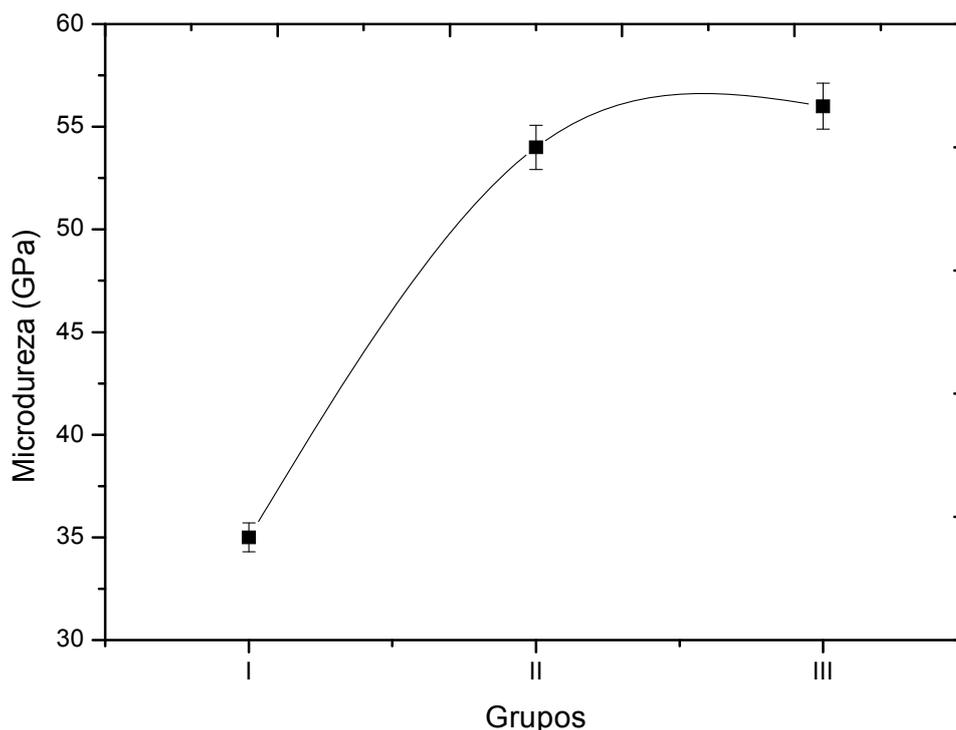


Figura 4. Microdureza média apresentada pelas amostras sinterizadas dos grupos I, II e III.

Três compósitos foram utilizados no ensaio de desgaste por torneamento, um de cada grupo. A análise de desgaste por torneamento teve como objetivo avaliar a efetividade da sinterização. Os compósitos passaram por testes de usinagem que foram executados utilizando um torno semi-automático modelo ROMI –TORMAX 20A. Após o ensaio de torneamento foi realizada a microscopia eletrônica de varredura dos compósitos. O desgaste em ferramentas de corte pode ser descrito por uma pequena quantidade de mecanismos que estão envolvidos no processo de usinagem. Na Figura 5 pode-se observar o desgaste de cratera apresentado por uma amostra do grupo I, o presente trabalho de pesquisa avalia o desgaste de cratera apenas através de microscopia eletrônica de varredura, não sendo possível a análise aprofundada da extensão e profundidade da cratera.

No desgaste de cratera apresentado na Figura 5 atuaram basicamente o desgaste por abrasão e por cisalhamento dos pontos de micro soldagem. O processo de abrasão ocorreu em função do contato do cavaco proveniente do processo de usinagem sobre a superfície de saída da ferramenta, e o cisalhamento ocorreu devido ao destacamento da aresta postiça de corte a qual acaba por arrancar juntamente as partículas de material da região da superfície de saída da ferramenta. O aspecto final da cratera também foi influenciado por danos severos produzidos na região de flanco. Consequentemente ocorreu a quebra da ponta da ferramenta de corte.

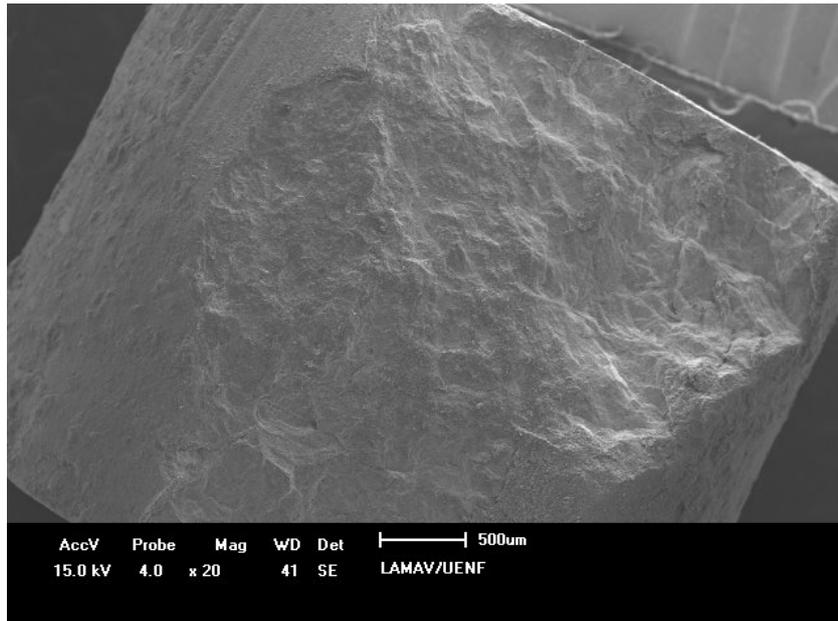


Figura 5. Micrografia obtida através de microscopia eletrônica de varredura de uma amostra do grupo I apresentando desgaste do tipo cratera após o ensaio de torneamento.

A abrasão pode ocorrer tanto na superfície de folga quanto na superfície de saída da ferramenta, caracterizando o desgaste de flanco e o desgaste de cratera respectivamente como pode ser observado na Figura 6 o desgaste de flanco, assim como a formação de cratera pode ser observado na face de ataque. Na parte inferior do inserto fica nítido que o crateramento começou a se formar na região que ocorreu o contato entre a peça e a ferramenta.

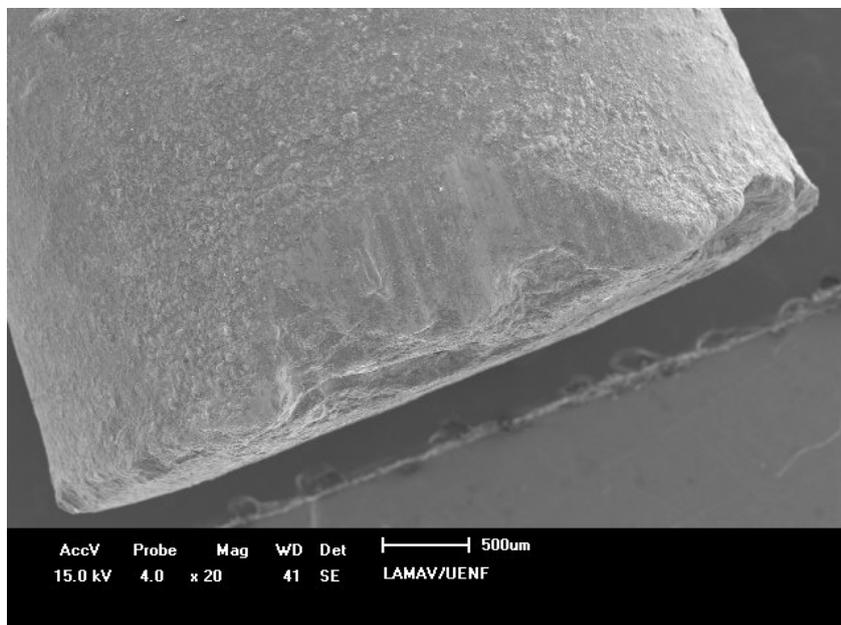


Figura 6. Micrografia obtida através de microscopia eletrônica de varredura de uma amostra do grupo II apresentando desgaste dos tipos flanco e formação de cratera após o ensaio de torneamento.

A amostra do grupo III Figura 7 apresentou apenas desgaste de flanco, onde o processo de abrasão ocorreu fundamentalmente pelo contato entre a peça usinada e a ferramenta de corte e pelo deslocamento das partículas endurecidas. Pode-se observar através de microscopia eletrônica de varredura a aresta arredondada, a

qual inferiu resistência suficiente para garantir a continuidade do processo de usinagem. A amostra apresentou boa resistência em relação às forças de usinagem em relação as outras. Um fato positivo é que não houve lascamentos ou trincas oriundas do processo de usinagem.

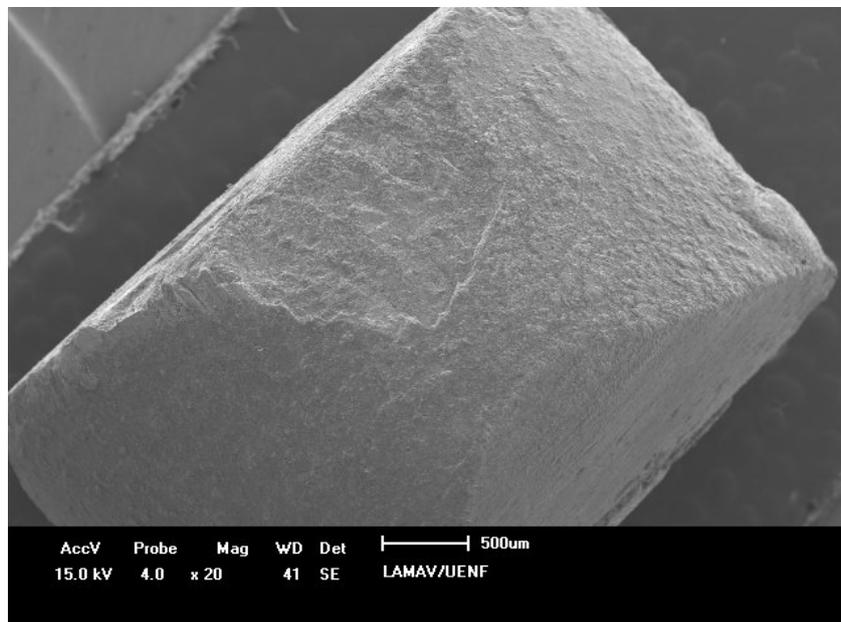


Figura 7. Micrografia obtida através de microscopia eletrônica de varredura de uma amostra do grupo III apresentando desgaste do tipo flanco após o ensaio de torneamento.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho mostra que de um modo geral, houve densificação satisfatória em todos os grupos, entretanto os grupos sinterizados com ciclos e sem ciclos a 6,6 GPa entorno de 1.800°C apresentaram os melhores valores de densidade, bem como os valores de microdureza obtidos. Isto deve-se a formação de microestrutura refinada das amostras sinterizadas. Na análise de desgaste por torneamento apenas a mostra do grupo I apresentou o crateramento as amostras dos grupos II e III mostraram um bom desempenho no ensaio de torneamento e apresentaram desgaste de flanco, formação de cratera e desgaste de flanco respectivamente. O cilindro usinado apresentou uma boa qualidade superficial, sendo necessário fazer uma análise de rugosidade superficial para quantificar o perfil de usinabilidade.

Agradecimentos

Os autores do presente trabalho agradecem às seguintes instituições: CAPES e FAPERJ pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Xiao-Zheng, R.; Tsurumi, T.; Fukunaga, O; Yano, T. High-pressure sintering of cBN-TiN-Al composite for cutting tool application. *Diamond and Related Materials* 11. pp.280-286 (2002).
- 2 Júnior, J. S.; Ramalho, A. M.; Bobrovnichii, G. S. Transformação do nitreto hexagonal de boro em nitreto cúbico de boro. *Revista Matéria*. v.13, n.2, pp.258-266. (2008).

- 3 Valpassos, J. M; Ramalho, A. M; Bobrovnitchii, G. S; Monteiro, S. N. Estudos Preliminares da Sinterização do Nitreto Cúbico de Boro Empregando Ligantes Á Base de Titânio. *Tecnologia em Metalúrgica e Matreiais*. 14, n.2, pp.12-16 (2007).
- 4 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).
- 5 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).
- 6 Liu, K; Li, X. P.; Rahman, M.; Liu, X. D. cBN tool wear in ductile cutting of tungsten carbide. *14th International Conference on Wear of Materials*. v. 225. pp. 1344-1351 (2003).