

# NOVOS AVANÇOS NA USINAGEM DO FERRO FUNDIDO CINZENTO UTILIZANDO FERRAMENTAS CERÂMICAS DESENVOLVIDAS COM TECNOLOGIA NACIONAL

**José Vitor Cândido de Souza**

LAS-INPE – São José dos Campos (SP)

[vitor@las.inpe.br](mailto:vitor@las.inpe.br)

**Marcos Valério Ribeiro**

Departamento de Materiais e Tecnologia – UNESP – Guaratinguetá (SP)

[mvalerio@feg.unesp.br](mailto:mvalerio@feg.unesp.br)

**Cláudio Augusto Kelly**

Departamento de Engenharia de Materiais – EEL-USP – Lorena (SP)

[cakelly73@yahoo.com.br](mailto:cakelly73@yahoo.com.br)

**Olivério Moreira Macedo e Silva**

CTA-IAE-AMR – São José dos Campos (SP)

[silvaoliva@bol.com.br](mailto:silvaoliva@bol.com.br)

**Resumo** A usinagem é um dos mais importantes processos de manufatura no mundo, com significativo papel na geração de riquezas. A necessidade de melhoria no desempenho tecnológico em operações de usinagem, como: desempenho da ferramenta, redução de forças de corte, acabamento superficial da peça, são fatores reconhecidos como redutores econômicos das operações de usinagem. A melhoria tecnológica nos processos de usinagem tem sido objeto de importantes pesquisas, com destaque no desenvolvimento de novos materiais para ferramentas, que possibilita maior resistência ao desgaste, redução do uso de fluido refrigerante e outros. Nos últimos anos, um dos mais importantes desenvolvimentos na usinagem têm sido as novas ferramentas cerâmicas, que tem aumentado significativamente seu uso em operações de usinagens de varias ligas. Essas ferramentas quando usadas em materiais como ferro fundido, ligas de níquel e aços endurecidos apresentam um desempenho significativo. Esse trabalho tem como objetivo dar seqüência a testes de viabilidade técnica das ferramentas à base de  $Si_3N_4$ , desenvolvidas em laboratório, utilizando como aditivos  $Y_2O_3-AlN-Al_2O_3$ , para formação de solução sólida com importantes propriedades. Duas composições foram desenvolvidas utilizando quantidades variadas de aditivos, sendo que após as caracterizações, a de melhor resultado foi transformada em ferramentas de corte de acordo com a norma ISO 1832 e utilizada no torneamento do ferro fundido cinzento, utilizando velocidades de corte de 300, 400, 500, 600m/min, avanço de 0,32mm/rot com profundidade de usinagem variada. Os resultados obtidos mostraram baixo desgaste de flanco e redução de forças de corte e rugosidades.

**Palavra chave:** Novas ferramentas, usinagem, ferro fundido cinzento, sinterização,  $Si_3N_4$ .

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços em ferramentas cerâmicas têm conduzido a melhorias na resistência ao desgaste, alta refratariedade, resistência mecânica e dureza a quente. As ferramentas de nitreto de silício possuem alta resistência à abrasão e dureza a quente, quimicamente são mais estáveis do que as ferramentas de aço rápido e metal duro, apresentando menor tendência à aderência e aresta postiça, segundo Souza<sup>(1)</sup> e Kumar<sup>(2)</sup>. As ferramentas cerâmicas possuem propriedades químicas e mecânica única, permitindo aumento na taxa de remoção de materiais e melhoria na vida da ferramenta. Quando corretamente aplicada essas ferramentas reduzem custos de usinagem e aumentam a produtividade, de acordo com Kumar<sup>(3)</sup> e Smuk<sup>(4)</sup>. Melhorias nas propriedades das ferramentas cerâmicas têm sido obtidas através de avanços na microestrutura, tenacidade à fratura, dureza, resistência ao desgaste e outros. Essas melhorias têm permitido o uso dessas ferramentas na usinagem de vários tipos de ferro fundido, ligas de níquel e outros materiais em alta velocidade, conforme Sornakumar<sup>(5)</sup>.

Uso de ferramentas cerâmicas tem permitido usinagem de materiais duros com geometria complexa e obtenção de baixa rugosidade. Avançados materiais utilizados em planta nuclear demandam resistência à alta temperatura e alta resistência à fluência, sendo os processos de usinagem desses materiais realizados com ferramentas de diamante, CBN e nitreto de silício. Essas ferramentas permitem uma maior velocidade de corte, se comparada a outras ferramentas, além de eliminar processos posteriores, segundo Lanna<sup>(6)</sup> e Fallbohmer<sup>(7)</sup>. O entendimento dos mecanismos de desgaste como abrasão, adesão, desgastes tribo-químicos, deformação plástica e fratura, se faz necessário para se tirar proveito do bom desempenho das ferramentas.

Durante a usinagem, o contato ferramenta/peça promove a ação de vários mecanismos de desgaste, retirando porções de material da ferramenta, resultando em diferentes formas de desgastes como desgaste de flanco, cratera e entalhe. Os desgastes ocorridos nas ferramentas cerâmicas podem ser divididos em duas principais categorias: a) desgaste mecânico, abrasão, adesão, deformação plástica e fratura e b) desgaste químico, chamado tribo-químicos, difusão e dissolução. Normalmente o desgaste que ocorre nas ferramentas é um fenômeno complexo e pode ser atribuído a vários modelos e mecanismos de desgaste, de acordo com Xiao<sup>(8)</sup>. O efeito combinado dos mecanismos de desgaste ou predominância de alguns depende do tipo do material da ferramenta, do tipo do material da peça e das condições de corte. Em geral as ferramentas cerâmicas são mais resistentes do que as ferramentas de metal duro na usinagem do ferro fundido cinzento e ligas de níquel, conforme Vleugels<sup>(9)</sup>.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento da ferramenta à base de nitreto de silício utilizando duas composições, das quais será escolhida a de melhores propriedades para usinagem do ferro fundido cinzento, utilizando condições variáveis com o objetivo principal de verificar a viabilidade técnica da ferramenta produzida. Esse trabalho tem como ponto de partida outras composições de ferramenta e testes realizados anteriormente pelos autores.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é dar seqüência aos testes de usinagem utilizando ferramentas cerâmicas desenvolvidas com tecnologia nacional, variando composições e condições de usinagem. Em recentes trabalhos utilizando ferramentas de corte a base de nitreto de silício, observou-se que a velocidade de corte para qual a força de corte tende a reduzir é  $V_c=300\text{m/min}$  e  $f=0,32\text{mm/rot}$ , para  $a_p=1,00\text{mm}$ , segundo Lanna<sup>(10)</sup>.

## 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Duas composições com (A=81 wt %  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -7,00 wt %  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -10,00 wt %  $\text{AlN}$ -2,00 wt %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e B=81 wt %  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -5,00 wt %  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -10,00 wt %  $\text{AlN}$ -4,00 wt %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com tamanho de partículas variando de 0,57 a 0,69 $\mu\text{m}$ . As composições foram misturadas ao álcool etílico e homogeneizadas

por longo tempo, seguido de secagem em estufa, peneiramento e prensagem uniaxial e isostática no formato: 16,36 x 16,36 x 7,50 mm. Em seguida, as amostras a verde foram sinterizadas pelo processo de sinterização normal a 1900 °C, com patamar de 2h e taxa de aquecimento de 15 °C/min. A composição de melhores propriedades teve suas amostras retificadas e lapidadas na geometria final de acordo com a norma ISO 1832. As análises de fases foram realizadas por difração de raios-X usando radiação Cu-K $\alpha$  e as análises microestruturais das composições foram realizadas por MEV após as pastilhas serem lixadas, polidas e submetida ao ataque químico na temperatura de 500 °C por 10 min, utilizando NaOH:KOH na proporção de 1:1. Para a análise da densidade das amostras, utilizou-se princípio de Arquimedes com caracterizações de 50% de cada composição. As propriedades mecânicas das amostras foram medidas utilizando o método de indentação Vickers. Os testes de usinagem foram realizados em barras de ferro fundidos cinzento com dureza de 205 HB e dimensões variando de 101 a 105 mm de diâmetro e de 290 a 298 mm de comprimento de um mesmo lote, utilizando as condições: Vc=300m/min, ap=1,00 mm; Vc=400 m/min, ap=3,00 mm; Vc=500 m/min, ap=3,00mm; Vc=600 m/min, ap=3,00mm e f=0,32 mm/rot constante.

O desgaste de flanco, forças de corte, rugosidades e temperaturas foram analisadas, utilizado lupa com resolução 8x, microscópico estereoscópico, rugosímetro (Mitutoyo) e pirômetro de radiação infravermelho (Cyclops-52 Minolta-Land) e um dinamômetro para aquisição das componentes de forças.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos mostram que para as composições A e B, os valores de perda de massa foram inferiores a 3%, valores aceitáveis na fabricação de cerâmicas estruturais, de acordo com Shin<sup>(11)</sup>. A densidade relativa da composição A é 98,14% D.T., enquanto que para composição B é 97,69%D.T. Esses resultados mostram que os parâmetros de sinterização utilizados foram adequados para obtenção de cerâmicas com alta densidade. Entretanto as diferenças nos valores de densidades estão diretamente relacionadas com a quantidade de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> utilizada em cada composição, o que evidencia a importância do Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na sinterização de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, fatos relatados em literatura por Santos<sup>(12)</sup>. Comparando a difração de raios-X das composições A e B pode-se observar uma maior quantidade de fase  $\alpha$ -SiAlON para a composição A, que utilizou maior quantidade de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a qual tem grande influência na formação da fase  $\alpha$ -SiAlON, evidenciando que pequenas variações nas quantidades interferem na formação de fases. Para a composição B, foi observada uma quantidade majoritária da fase  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, que normalmente apresenta maiores valores de tenacidade à fratura do que fase  $\alpha$ -SiAlON.

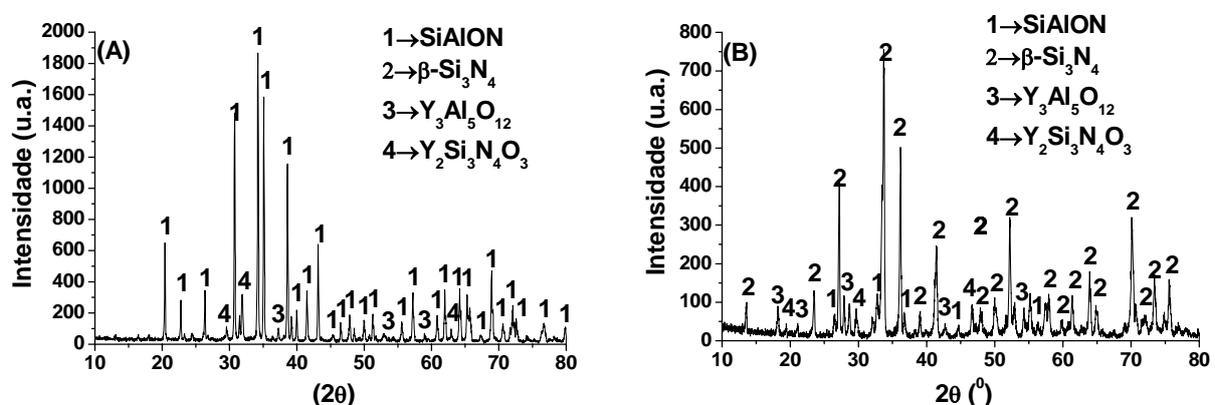


Figura 1- Difratoograma das composições (A) e (B)

Durante a sinterização de cerâmicas de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, as partículas de  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dissolvem-se na fase líquida e precipitam na forma de grãos alongados e/ou equiaxial. A morfologia depende da quantidade, tipo de aditivos e condições de sinterização. Os resultados das microestruturas estão de

acordo com recente trabalho desenvolvido pelo grupo, onde pode ser observado, que a composição A apresenta grãos com menor razão de aspecto, devido a maior quantidade de fase  $\alpha$ -SiAlON obtida, enquanto que a composição B, apresenta grãos com maior razão de aspecto característicos da fase  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. A microestrutura de cerâmicas a base de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> está diretamente relacionada ao tipo, quantidade de aditivos e condições de sinterização que poderá levar a formação de uma importante fase líquida, que permite a formação de determinada fase e suas propriedades, conforme Santos<sup>(12)</sup>. Os tipos de microestruturas obtidas estão de acordo com os resultados obtidos nos raios-X, e conseqüentemente terão importante influência nos valores de propriedades mecânicas da ferramenta obtida.

#### 4.1. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas das composições estão claramente relacionadas à obtenção de fase e microestrutura do material. Portanto na composição A, podemos observar uma dureza de 20,14 GPa e tenacidade à fratura de 5,26 MPa.m<sup>1/2</sup>, enquanto que para composição B foi obtida dureza de 19,21 GPa e tenacidade à fratura de 5,78 MPa.m<sup>1/2</sup>.

#### 4.2. Desgaste da Ferramenta

O parâmetro de desgaste utilizado para determinar o potencial da ferramenta será o desgaste de flanco, que ocorreu em todas as condições, em maiores ou menores dimensões. Entretanto para comparar a vida da ferramenta nas diferentes condições utilizadas, um máximo desgaste de flanco de 0,6 mm será usado como limitante, conforme a norma ISO 3685.

Para a condição de  $V_c=600$  m/min,  $a_p=3,00$ mm e  $f=0,32$  mm/rot, a ferramenta alcançou uma vida de 4283,15 m, para um  $V_b=0,40$  mm, apresentando maior taxa de desgaste para o menor comprimento de corte, quando comparado às outras condições. Isso pode ser atribuído aos parâmetros de usinagem utilizados como  $a_p=3,00$  mm e ao preparo da ferramenta em sua forma final, onde na Figura 7, podem ser observadas as marcas do rebolo de diamante utilizado no processo de retificação da ferramenta, apresentando grande rugosidade da superfície da ferramenta, que durante o processo de usinagem, pode levar a ferramenta a diferentes esforços solicitantes como: adesão de grafite como fator positivo e também ao aumento da concentração de tensão como fator negativo, podendo levar a superfície de corte da ferramenta a sofrer pequenas fraturas, trincas e/ou quebra.

Os desgastes de flanco ocorridos nas ferramentas são geralmente atribuídos ao atrito da ferramenta com a peça, causando abrasão, que normalmente causa alta temperatura e esses mecanismos afetam as propriedades da ferramenta de corte, provocando remoção de partículas da aresta de corte e aresta secundária. Na Figura 3, pode ser observado, que para todas as condições utilizadas houve desgaste de flanco, sendo que os maiores desgastes são observados nas  $V_c=300$  m/min e  $V_c=600$  m/min. Entretanto para ambas as velocidades de corte houve igualdade de valores de desgaste, sendo observado que o maior valor de comprimento de corte foi obtido na  $V_c= 300$  m/min e  $a_p=1,00$  mm, que alcançou um comprimento de 6533,06 m, sendo esse valor quase o dobro do comprimento de corte das condições  $V_c=600$  m/min e  $a_p=3,00$  mm. Entretanto para as  $V_c= 400$  e 500 m/min, com  $a_p=3,00$ mm, os desgastes variaram entre 0,10 e 0,20 mm, sendo superior à condição que utilizou 600 m/min. Para essas condições o ensaio foi interrompido, devido a grande quantidade de material necessário para o teste, mas pode observar que o menor desgaste ocorreu para 500 m/min com comprimento de corte 4808,58 m. Esses valores evidenciam importantes resultados obtidos pela ferramenta e destacam a importância da escolha correta dos parâmetros de usinagem para cada tipo de ferramenta de corte.

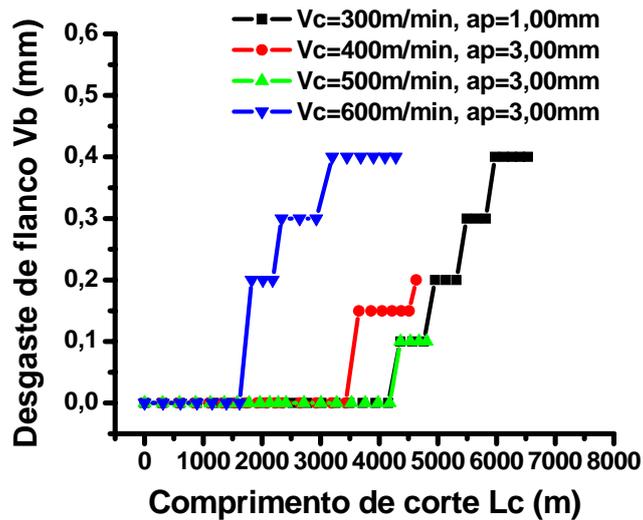


Figura 3 – Desgaste de flanco x Comprimento de corte

Analisando a temperatura, são observadas pequenas variações da temperatura durante os ensaios. Na Figura 4, pode-se observar a redução das temperaturas após o início dos testes de usinagem para todas as condições, fato observado em trabalho anterior na usinagem do ferro fundido cinzento com ferramentas cerâmicas, segundo Lanna<sup>(10)</sup>. De maneira geral pode se dizer que a temperatura foi maior para a condição de menor velocidade e profundidade de usinagem. Nas demais condições os valores de temperatura foram similares, com pequenas variações, sendo possível concluir que o parâmetro que influenciou a temperatura nesse trabalho foi à profundidade de corte, devido ao aumento a área de dissipação de calor.

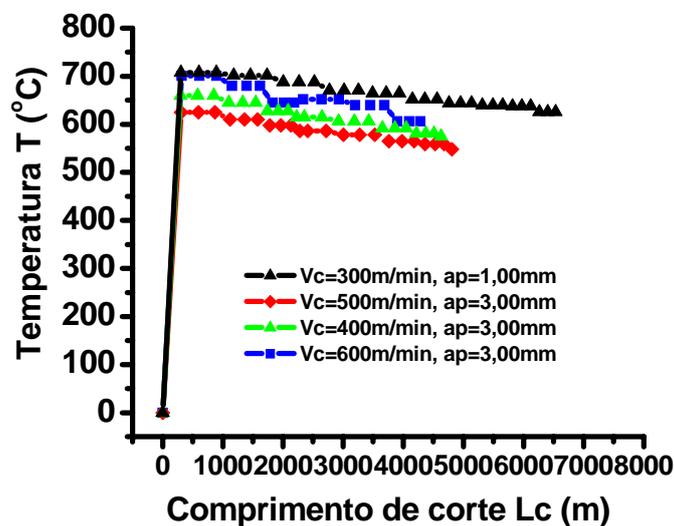
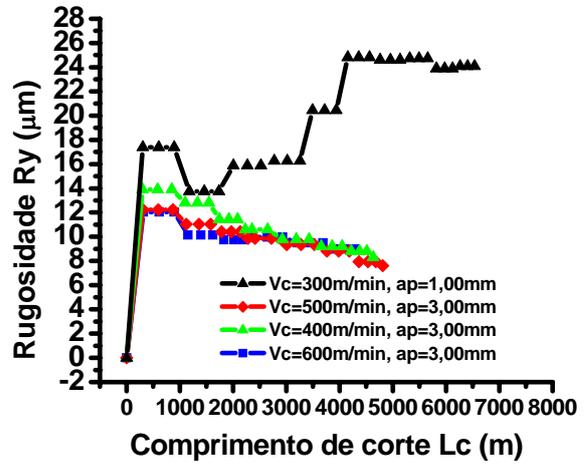
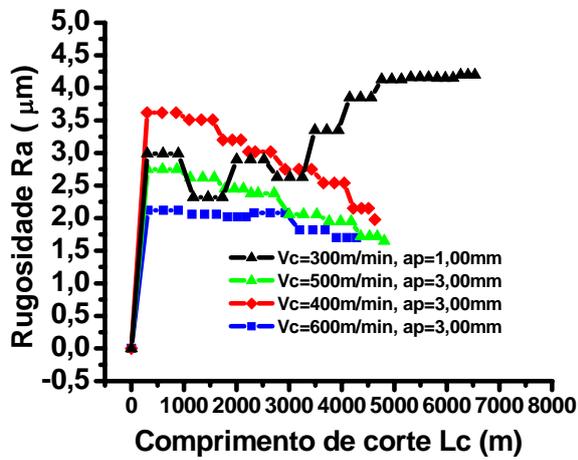


Figura 4 – Temperatura x Comprimento de corte

Nas Figuras 5a e 5b, são mostrados os resultados de rugosidade em função do comprimento de corte. Nessas figuras podemos observar que não há uma relação direta do desgaste da ferramenta com a rugosidade, sendo que para  $V_c=300\text{ m/min}$  e  $V_c=600\text{ m/min}$  os valores de desgastes foram iguais enquanto que os valores de rugosidades são inversamente proporcionais. Para as condições onde se utilizou a profundidade de usinagem de 3,00 mm, os valores de rugosidades se apresentam similares, evidenciando que os valores de rugosidades estão relacionados com a profundidade de usinagem. Uma segunda observação é possível fazer, pois com o aumento da velocidade de corte a

rugosidade da superfície da peça, tende a reduzir após certo período de tempo, resultado que está relacionado com os parâmetros utilizados, pois com o aumento da velocidade de corte, e profundidade de usinagem de 3,00 mm, as vibrações do sistema são reduzidas, permitindo melhor acomodação da ferramenta na peça, que é auxiliada pelo amortecimento da grafita contida no ferro fundido cinzento.



(a) (b)  
Figuras 5 – Rugosidades  $R_a$  (a) e  $R_y$  (b) x Comprimento de corte

Na Figura 6, observa-se que a velocidade de corte afeta a força de corte por vários mecanismos. As condições utilizadas nesse trabalho tiveram como ponto de partida resultados obtidos em pesquisas anteriores, onde utilizando velocidade de corte de 180, 240, 300, 360 m/min, Lanna<sup>(10)</sup>, observou que a força de corte reduz a partir da velocidade de corte de 300 m/min, sendo também observado que para vários avanços utilizados, o que apresentou uma tendência suave para as três componentes de forças foi  $f=0,32$  mm/rot, condições que foi reproduzida e utilizada nesse trabalho.

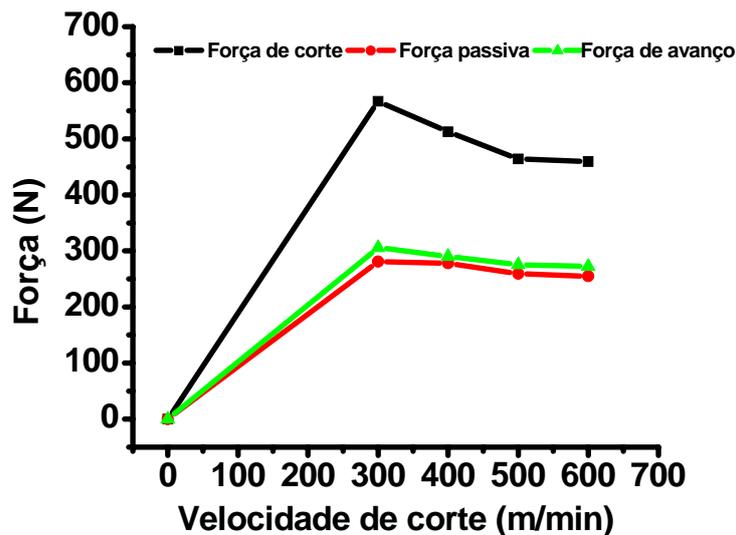


Figura 6 – Força de corte x Velocidade de corte

Na Figura 6 é possível observar uma redução das forças para aumento das velocidades de corte e que essas reduções influenciaram na vida da ferramenta, sendo observado que a redução da força de corte se deu na velocidade de corte de 500 m/min e  $a_p=3,00$  mm. Esses resultados são devido a

vários mecanismos que levaram ao amolecimento do material da peça na zona de corte, causado principalmente pela temperatura localizada na interface ferramenta/peça, devido ao  $a_p=3,00$  mm e  $f=0,32$  mm/rot, que provoca uma mudança favorável da interação cavaco/ferramenta. Geralmente as forças de corte diminuem com o aumento da velocidade de corte, sendo importante observar que para todos os materiais existe um limite para o aumento da velocidade de corte. Portanto os resultados obtidos nesse trabalho estão de acordo com a literatura, Komanduri<sup>(13)</sup>, Shaw<sup>(14)</sup>, Jawahir<sup>(15)</sup>, Davies<sup>(16)</sup> e Dutta<sup>(17)</sup>.

Analisando as Figuras 7a, 7b, 7c e 7d, é possível observar diferenças geométricas nas superfícies das ferramentas de corte, com destaque para predominância do desgaste de cratera para todas as condições com maior ou menor intensidade e posterior desgaste de flanco. De acordo com a literatura, os fatores que influenciam o desgaste de cratera, são a temperatura e afinidade química entre os materiais da ferramenta e peça. Analisando as Figuras 7a, 7b e 7c, pode-se concluir que houve predominância dos mecanismos de desgaste triboquímico, ocasionado pela temperatura e afinidade química entre o material da ferramenta e o material da peça. Nessas figuras é possível relacionar os parâmetros de corte com o desgaste de cratera, mas não é possível relacionar esse desgaste com o comprimento de corte.

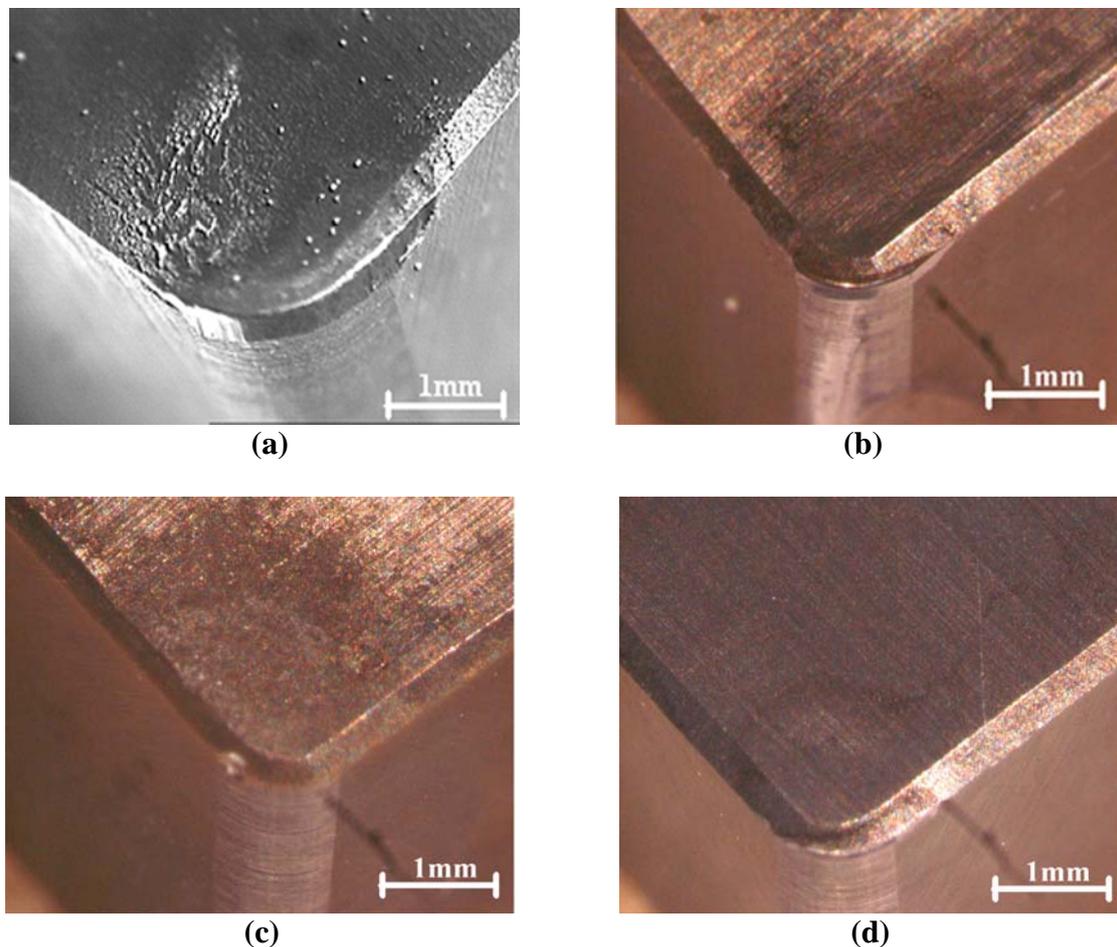


Figura 7 – Fotografia das ferramentas usadas nos ensaios: (a), (b), (c) e (d)

Esses resultados confirmam que no desgaste de cratera existe uma grande variedade de mecanismos físicos e químicos interagindo na interface ferramenta/peça/cavaco, que leva ao desgaste de cratera durante a usinagem do ferro fundido cinzento com ferramentas a base de  $Si_3N_4$ . Na figura 7b é possível observar que com o dobro da velocidade de corte utilizada na figura 7a, o desgaste de cratera foi menos intenso, enquanto que na figura 7c, houve uma tendência de aumento do desgaste de cratera, para uma velocidade de corte menor do que a figura 7b. De maneira geral pode se concluir que o desgaste de cratera variou com os parâmetros de usinagem utilizado, sendo surpreendente o resultado da condição  $V_c=500$  m/min e  $a_p=3,00$  mm, figura 7d, onde houve

pequena incidência do desgaste de cratera. Esses resultados diferem dos encontrados em literaturas, que relatam que quanto maior a velocidade de corte, maior o desgaste de cratera, de acordo com Kumar<sup>(18)</sup>.

Analisando os desgastes de flanco ocorridos nas ferramentas, pode-se dizer que foram pequenos, sendo observado desgaste de flanco máximo  $V_b=0,40$  mm, para as  $V_c=300$  m/min,  $a_p=1,00$  mm e  $V_c=600$  m/min e  $a_p=3,00$  mm, podendo dizer que o desgaste de flanco seria intenso se fosse utilizado o mesmo comprimento de corte da condição  $V_c=300$  m/min,  $a_p=1,00$  mm. Para as condições que utilizou  $V_c=500$  m/min, ocorreu o menor desgaste de flanco, comparado às demais condições. Portanto acredita-se que de todas as condições utilizadas nesse trabalho que ira proporcionar maior tempo de vida será a condição  $V_c=500$  m/min e  $a_p=3,00$  mm.

## 5. CONCLUSÃO

O processo de desenvolvimento de ferramentas cerâmicas utilizado nesse trabalho permitiu a obtenção de ferramentas de corte com importantes propriedades físicas e mecânicas, os quais permitiram a obtenção de resultados promissores e superiores aos relatados em literatura, com desenvolvimento e aplicação de ferramentas cerâmicas, provando que as ferramentas de nitreto de silício produzidas apresentam potencial para ser utilizadas pelas indústrias de manufatura brasileira, assegurando redução de custo e melhoria no acabamento superficial.

## 6. REFERÊNCIAS

1. Souza, J.V.C.; Crnkovic, S.J.; Kelly, C. A.; Moreira, M.R.V. e Ribeiro, M.V. Turning of the Ti-6Al-4V alloy without cutting fluid using silicon nitride cutting tools, Anais UNINDU 2005, Brasil.
2. Kumar, A.S., Durai A.R. and Sornakumar, T., Yttrium ceramics: cutting tool application, Mater. Lett. 58 (2004), pp. 1808–1810.
3. Senthil Kumar, A., Raja Dura, A. and Sornakumar, T., Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels, Tribology International, V. 39, (2006), PP. 191-197.
4. Smuk, B., Szutkowska, M. and Walter, J., Alumina ceramics with partially stabilized zirconia for cutting tools, J. Mater. Process. Technol. 133 (2003), pp. 195–198.
5. Sornakumar T., Advanced ceramic–ceramic composite tool materials for metal cutting applications. Key Eng. Mater. 114 (1996), pp. 173–188.
6. Lanna, M.A., Abrão, A.M., Silva, C.R.M., Ávila, R.F., Souza, J.V.C., Influência dos parâmetros de corte na usinagem de carbono-carbono com ferramentas cerâmicas, Anais 48° CBC, 2004.
7. Fallbohmer, P., Rodriguez, C.A., Ozel, T. and Altan, T., High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mould manufacturing, J Mater Process Technol 98 (2000), pp. 104–115.
8. Xiao, S.G., Advanced Tool Materials, Chongqing University Press, 1992 (in Chinese).
9. Vleugels, J. and Van Der Biest, O., Chemical wear mechanisms of innovative ceramic cutting tools in the machining of steel, Wear V. 225-229, PP. 285-294.
10. Lanna, M.A., Abrão, A.M., Silva, C.R.M., Ávila, R.F. e Souza, J.V.C., Torneamento de ferro fundido cinzento com ferramentas cerâmicas à base de nitreto de silício produzidas por sinterização normal, Anais 48° CBC, 2004.
11. Shin, I.H. and Kim, D.J., Growth of elongated grains in  $\alpha$ -SiAlON ceramics. Mater. Lett. 47 (2001), pp. 329–333.
12. Santos C., Strecker, K., Ribeiro, S., Souza, J.V.C., Silva, O.M.M., Silva, C.R.M.,  $\alpha$ -SiAlON Ceramics with elongated grain morphology using an alternative sintering additive, Materials Letters, 58 (2004) 1792-1796.
13. Komanduri, R., Flom, D.G. and Lee, M., Highlights of the DARPA advanced machining research program, Trans. ASME, J. Eng. Ind. 107 (1985), pp. 325–335.
14. Shaw, M.C., Tool life. In: E.D. Whitney, Editor, Ceramic Cutting Tools—Materials, Development and Performance, Noyes Publ., NJ, USA (1994).

15. Jawahir, I.S., Ghosh, R., Fang, X.D. and Li, P.X., An investigation of the effects of chip flow on tool-wear in machining with complex grooved tools, *Wear* 184 (1995), pp. 145–154.
16. Davies, M.A., Burns, T.J. and Evans, C.J., On dynamics of chip formation in machining hard metals, *Ann. CIRP* 46 (1997), pp. 25–30.
17. Dutta, A.K., Chattopadhyaya, A.B. and Ray, K.K., Progressive flank wear and machining performance of silver toughened alumina cutting tool inserts, *Wear*, V. 261,( 2006), pp. 885-895.
18. Senthil Kumar, A., Raja Durai, A. and Sornakumar, T., The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, V. 173, 2006, p.151-156.

## **NEW ADVANCES IN MACHINING ON GRAY CAST IRON WITH CERAMICS CUTTING TOOLS DEVELOPED WITH NATIONAL TECHNOLOGY**

**José Vitor Cândido de Souza**

LAS-INPE – São José dos Campos (SP)

[vitor@las.inpe.br](mailto: ritor@las.inpe.br)

**Marcos Valério Ribeiro**

Departamento de Materiais e Tecnologia – UNESP – Guaratinguetá (SP)

[mvalerio@feg.unesp.br](mailto:mvalerio@feg.unesp.br)

**Cláudio Augusto Kelly**

Departamento de Engenharia de Materiais – EEL-USP – Lorena (SP)

[cakelly73@yahoo.com.br](mailto:cakelly73@yahoo.com.br)

**Olivério Moreira Macedo e Silva**

CTA-IAE-AMR – São José dos Campos (SP)

[silvaoliva@bol.com.br](mailto:silvaoliva@bol.com.br)

**Abstract.** *The machining is one of the most important manufacture processes in the world, presenting paper important in the wealth generation. The improvement necessity in the performance technological in machining operations, like: cutting tools performance, cut forces decrease, surface finish of the work piece, are recognized factors as reducing economic in machining operations. The improvement technological in processes machining has been object of research important, resulting in a new generation of high performance ceramic cutting tools exhibiting improved properties resistance, dry machining conditions and others. In recent years, one of most important developments in machining has been the new ceramic tools, have now enabled to be used in the machining of various types of materials. These cutting tools when used in various types of materials such as, cast iron, hard steel and refractory nickel based alloys at high performance. In this paper the objective has been give to sequence at tests viability techniques of the  $Si_3N_4$  based ceramic cutting tool, developed in laboratory, using as additive  $Y_2O_3-AlN-Al_2O_3$ , to formation of solid solution to improve the properties. Two compositions had been developed using varied amounts of additives, the after the characterizations the composition of better resulted were transformed into cutting tools in conforming to ISO specification ISO 1832 and subsequent used on turning gray cast iron, using cutting speeds of 300, 400, 500, 600m/min, feed of 0,32mm/rev and varying cutting deptht. The results had showed to short flank wear, cutting force decreases and roughness.*

**Keywords:** *New cutting tools, machining, gray cast iron, sintering,  $Si_3N_4$ .*