

## PRODUÇÃO DE NOVAS FERRAMENTAS CERÂMICAS DE ALTO POTENCIAL

**J. V. C de SOUZA\*, S. J. CRNKOVIC, M. V. RIBEIRO**

FEG-UNESP, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, cep 12516-410, Guaratinguetá-SP

\*e-mail: [candido@feg.unesp.br](mailto:candido@feg.unesp.br)

**C. A. KELLY\*\* ; C. SANTOS, M. R. V. MOREIRA**

DEMAR-FAENQUIL, Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n, cep 12600-000, Lorena-SP

\*\*e-mail: [claudio@ppgem.faenquil.br](mailto:claudio@ppgem.faenquil.br)

**O. M. M. SILVA\*\*\***

CTA-IAE-AMR, Pça. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50, cep. 12228-904, S.J.Campos –SP

\*\*\*e-mail: [silvaoliva@bol.com.br](mailto:silvaoliva@bol.com.br)

### **RESUMO**

*Este trabalho foi proposto com objetivo de produzir e utilizar ferramentas de corte a base de nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ) na usinagem do ferro fundido cinzento. Para tanto, uma mistura de pó constituída de 80,50 %  $\alpha$ - $Si_3N_4$ , 9,50 % AlN, 7,50 %  $Y_2O_3$  e 2,50 %  $Al_2O_3$ , foi homogeneizada em meio álcool etílico, secas em evaporador rotativo e estufa, respectivamente. Em seguida, prensadas uniaxialmente e isostaticamente a frio nas dimensões de 16,36x16,36x7,50 mm. As sinterizações foram realizadas num forno com elemento resistivo de grafite à 1900°C durante 1 h sob atmosfera de nitrogênio. Após sinterização, as amostras apresentaram densidade relativa superior à 98 % D.T., perda de massa inferior à 3 %, tenacidade a fratura e microdureza superiores a 5,5 MPa.m<sup>1/2</sup> e 20 GPa, respectivamente. Antes de serem utilizadas como ferramentas de corte, as amostras foram retificadas em rebolo diamantado nas dimensões de 13x13x4,8 mm, com chanfro negativo de 20° e espessura do chanfro igual a 0,08 mm. Os testes de usinagem foram realizados sem fluido de corte, utilizando diferentes condições. Após os testes de usinagem, as ferramentas de  $Si_3N_4$  apresentaram resultados satisfatórios quanto a usinabilidade do ferro fundido cinzento nas diferentes condições analisadas.*

**Palavras chave:** ferro fundido cinzento, usinagem, ferramenta de corte, microestrutura e propriedades mecânicas.

### **1. INTRODUÇÃO**

O crescente desenvolvimento de materiais cerâmico propicia os mesmos a serem utilizados em condições severas, que exigem do material boa resistência ao desgaste, impacto e compressão a temperaturas elevadas, entre outras propriedades. Tais condições são normalmente encontradas nos processos industriais, em especial na usinagem dos materiais de engenharia, como as ligas de titânio,

níquel, ferro fundido cinzento e vermicular, entre outros. No entanto, dentre os materiais cerâmicos, destaque para o nitreto de silício, o qual apresenta excelentes propriedades físicas, químicas e termomecânicas, tornando-o um material promissor às exigências citadas anteriormente<sup>(1)</sup>.

Devido ao seu forte caráter covalente e baixo coeficiente de auto-difusão, cerâmicas densas de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  são difíceis de serem obtidas pelo processo de sinterização via fase sólida, havendo a necessidade de sintetizá-las via fase líquida, pela adição de pequenas quantidades de aditivos de sinterização, que ativam os mecanismos difusionais, aumentando a densificação e conseqüentemente contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas<sup>(1)</sup>. Os principais aditivos utilizados na sinterização via fase líquida do  $\text{Si}_3\text{N}_4$  são:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (óxido misto de ítrio e terras raras) ou misturas destes<sup>(2,3)</sup>.

Quando da utilização de uma fase líquida rica em Al, Y e O durante a sinterização do  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , tem-se a formação de uma solução sólida denominada SiAlONs, os quais melhoram a resistência à oxidação, dureza e fluência das cerâmicas de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  a altas temperaturas. Os SiAlONs apresentam duas fases cristalinas,  $\alpha$  e  $\beta$ , resultantes das fases  $\alpha$  e  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ , pela substituição do Si e N por Al e O, e ocupação dos vazios intersticiais por Y<sup>(2,3)</sup>.

Decorrente das suas excelentes propriedades, as ferramentas de corte à base de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  podem substituir as ferramentas à base de ligas metálicas ou de metal duro, diminuindo o custo operacional com aumento do tempo de vida útil; e outro fato importante, sem a utilização de fluido de corte durante o processo de usinagem, diminuindo desta maneira o impacto ambiental<sup>(4)</sup>. Essa ferramenta vem sendo bastante difundida na usinagem do ferro fundido cinzento e vermicular, liga à base de níquel e recentemente na usinagem do Ti-6Al-4V (utilizado na indústria aeroespacial).

O ferro fundido cinzento é um material de fácil fusão e moldagem, boa usinabilidade, resistência mecânica ao desgaste e capacidade de amortecimento, entre outras<sup>(5)</sup>. Propriedades que propiciam o mesmo a ser utilizado na indústria automobilística. Nesta liga normalmente o C se encontra na forma de carbonetos (Cementita) ou como C livre (grafita), dependendo da quantidade de outros elementos de liga presentes. Quando por exemplo, o teor de silício (Si) é elevado, o ferro fundido apresenta muito C livre e quase nenhuma cementita, pois o Si é um poderoso grafitizante, temos, no entanto o ferro fundido cinzento. Devido às essas variações de composição, os resultados de usinagem dos ferros fundidos também sofrem alterações, em função da microestrutura resultante, a qual está diretamente relacionada aos elementos presentes. Os elementos que formam carbonetos (cromo, cobalto, manganês, molibdênio e vanádio) prejudicam a usinabilidade, enquanto que os grafitizantes (silício, níquel, alumínio e cobre) auxiliam na usinabilidade<sup>(6)</sup>.

Esse trabalho foi desenvolvido com objetivo de obter cerâmicas densas de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  por sinterização via fase líquida de excelentes propriedades físicas e mecânicas, visando a aplicações tribológicas, como ferramenta de corte, na usinagem do ferro fundido cinzento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

As matérias primas utilizadas foram:  $\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  de alta pureza (H.C.Starck),  $\text{AlN}$  e  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (Fine grade – H. C. Starck),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (AS 250K – BaikaloX) e nitrogênio tipo B50, da Air liquid Bbrasil S/A.

### 2.2. Métodos

As composições e a densidade a verde da mistura de pó preparada para o desenvolvimento deste trabalho, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição e densidade relativa a verde da mistura de pó utilizada.

Código das amostras	Composição (% em peso)				Densidade relativa a verde (% D.T.)
	$\alpha$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	AlN	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
SNAYA	80,50	9,50	7,50	2,50	61,02 ± 0,20

A mistura de pós foi homogeneizada via úmida, em moinho planetária por 2,5h, a 1000 rpm, em meio álcool etílico. Em seguida a suspensão foi seca em filtro a vácuo e em estufa a 100°C. Posteriormente, os pós foram peneirados e compactados uniaxialmente (100 MPa), em matriz de aço inoxidável com dupla ação dos pistões, seguida de prensagem isostática a frio a 300 MPa. Após compactação as amostras em forma de pastilhas apresentavam dimensões de 16,36x16,36x7,5mm.

Anterior a sinterização, as amostras, em um total de 12, foram envolvidas em leito de pó constituído de 70% Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> + 30 % BN e acondicionadas em cadinho de grafite. As sinterizações foram realizadas à 1900°C durante 1h sob atmosfera de nitrogênio num forno com elemento resistivo de grafite (ASTRO da Thermal Technology, tipo 1000-4560-FP-20). Para tanto, uma taxa de aquecimento de 15°C/min foi utilizada.

As massas específicas das amostras sinterizadas foram determinadas pelo método de Arquimedes, segundo norma ASTM-C744-74. A perda de massa foi determinada por meio das medições das massas antes e após sinterização. Para caracterização microestrutural e mecânica, as amostras foram lixadas e polidas com pasta de diamante até granulometria de 1µm. O polimento das amostras foi realizado em politriz automática tipo IGAN WURTZ, mod. PHOENIX 4000. As observações microestruturais foram realizadas após ataque químico das superfícies, utilizando KOH:NaOH (na proporção 1:1) em temperatura de 500°C, por 10 minutos. Uma análise aproximada do percentual de transformação  $\alpha \rightarrow \beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> das amostras sinterizadas foram efetuadas por meio da comparação das intensidades relativas dos picos nos planos 210 (hkl), considerando as reflexões mais intensas (100%) das respectivas fases, utilizando-se a relação  $I_{\beta}/(I_{\beta}+I_{\alpha})$ , segundo procedimento recomendado por Gazzara e Messier<sup>(7)</sup>.

Para realização dos ensaios de microdureza foram utilizadas um número mínimo de 6 amostras, e em cada uma um total de 20 indentações. Esses ensaios foram realizados em microdurometro tipo MICROMET 2004 da BUEHLER, conforme norma ASTM-C1327-99. A tenacidade a fratura foi determinada pelo método da impressão Vickers (carga de 20N e tempo de indentação 30 seg), utilizando-se as informações extraídas dos ensaios de microdureza e equação de ANSTIS<sup>(8)</sup>.

Após caracterização, as amostras foram retificadas em rebolo de diamante nas dimensões de 13x13x4,8 mm, com chanfro negativo de 20° e espessura do chanfro igual a 0,08 mm, conforme norma ISO 1832 e relatos reportados em literatura<sup>(12, 13)</sup>. Uma das arestas da ferramenta cerâmica, e a ação da mesma sobre o corpo de prova têm sido mostrado na Figura 1.

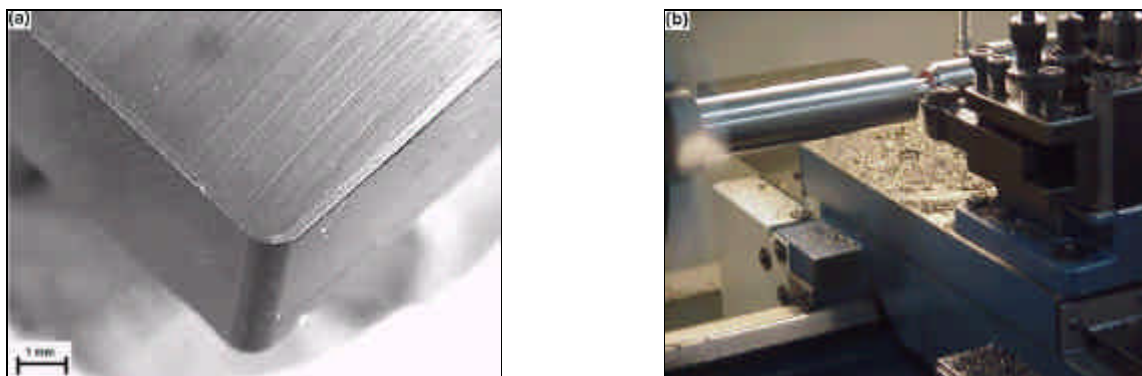


Figura 1. Visão geral de uma das arestas de corte da ferramenta cerâmica (a), e ação da mesma no processo de usinagem do ferro fundido cinzento (b).

Algumas propriedades e composição do ferro fundido cinzento usado para o desenvolvimento deste trabalho são listados na Tabela 2. Uma barra de ferro fundido cinzento na forma cilíndrica de 300 mm de comprimento e diâmetro de 105 mm foi utilizada.

Tabela 2. Propriedades e composição do ferro fundido cinzento utilizado neste trabalho.

<b>Propriedades</b>						
Parâmetros de fabricação		Forma da grafita	Teor de perlita (%)	Dureza (HB)	Classe	
Padrão FC-25, 8h		100 % lamelar	100	223	250	
<b>Composição química (%)</b>						
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu
3,4-3,6	2,3-2,5	0,50-0,60	0,065 (max)	0,5-0,15	--	0,7-0,9

Os testes de usinagem do ferro fundido cinzento foram realizados sem fluido de corte num torno CNC (Romi, mod. Centur 30D). Para medir a temperatura da interface peça-ferramenta foi utilizado um pirômetro de radiação infravermelho (mod. Cyclops-52 – Minolta-Land), a uma distância mínima de 300 mm da ponta da ferramenta. Os dados utilizados nos ensaios de usinagem estão apresentados na Tabela 3. As análises de desgaste da ferramenta foram determinados por Ra, Ry e desgaste de flanco máximo (VBmax), respectivamente. As medidas de rugosidade foram realizadas com a peça ainda presa a máquina através do rugosímetro Surftest SJ-201 da Mitutoyo (portátil) acoplado a um suporte de base magnética fixado no carro porta-ferramenta do torno CNC. Foram executadas três medições defasadas em 120° no sentido axial, após um certo número de passes que a ferramenta executava na peça. Para realização das medidas de rugosidade foram utilizados perfil periódico e cutoff de 2,5 mm. Portanto, anterior as medições de rugosidade, foi executada a calibração do aparelho conforme a recomendação do fabricante (Nova JIS – JIS B0601-1994). Como critério de fim de vida da ferramenta foi utilizado um VBmax de 0,6 mm e variação brusca de Ry. Para analisar as superfícies das ferramentas de corte após ensaios de usinagem, foi utilizado microscópio eletrônico de varredura (LEO-1450VP).

Tabela 3. Condições e parâmetros de corte utilizados nos ensaios de usinagem.

Condições de usinagem	Parâmetros de corte utilizados			
	Vc (m/min)	f (mm/rot)	ap (mm)	Lc (m)
Aresta A	300	0,32	1	1629
Aresta B				3333
Aresta C				5572
Aresta D	400		3	1362

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Densidade relativa e perda de massa

Os resultados de densidade relativa e perda de massa das amostras sinterizadas são mostrados na Tabela 4. Analisando os resultados contidos nesta figura, nota-se um material com alta densificação e baixa perda de massa, indicando a boa eficiência do sistema de aditivo utilizado quanto à ativação dos mecanismos de sinterização por fase líquida, como rearranjo de partículas e solução reprecipitação. Esses resultados estão de acordo com os encontrados na literatura <sup>(9)</sup>.

Tabela 4. Densidade relativa a verde das amostras sinterizadas.

Código das amostras	Propriedades Físicas	
	Densidade Relativa (% D.T.)	Perda de massa (%)
SNAYA	98,46 ± 0,16	2,66 ± 0,21

### 3.2. Análise de fases das amostras sinterizadas

As estruturas cristalinas das fases presentes e os valores aproximados das quantidades de fase  $\alpha$ -SiAlON e  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> são mostrados na Tabela 5. Analisando os resultados contidos nesta tabela, observa-se uma maior quantidade da fase  $\alpha$ -SiAlON, quando comparado à  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, mostrando a eficácia do sistema de aditivo quanto a estabilização da fase  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> e transformação à  $\alpha$ -SiAlON. Comportamento similar também tem sido observado no trabalho desenvolvido por Lanna e co-autores<sup>(10)</sup>. Os resultados de parâmetro de rede da fase  $\alpha$ -SiAlON são ligeiramente superiores quando comparados aos da fase  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, podendo resultar em grãos com alta razão de aspecto (comprimento/diâmetro).

Tabela 5. Percentual aproximado de fases  $\alpha$ -SiAlON e  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, para a mistura utilizada neste trabalho.

Composição	Fases cristalinas		Relação $\alpha$ -SiAlON: $\beta$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (%)
SNAYA	$\alpha$ -SiAlON Estrutura: Hexagonal Parâmetros de rede: a=7,8412 ± 0,0002 c=5,7105 ± 0,0002	$\beta$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> Estrutura: Hexagonal Parâmetros de rede: a=7,7554 ± 0,0003 c=5,6220 ± 0,0001	96:6

### 3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

A fotomicrografia da amostra sinterizada é apresentado na Figura 2. Uma microestrutura com tendência homogênea e morfologia de grãos alongados (característico da fase  $\alpha$ -SiAlON) tem sido notado nesta figura. Tal microestrutura também foi observada no trabalho desenvolvida por Santos e co-autores<sup>(3)</sup>.

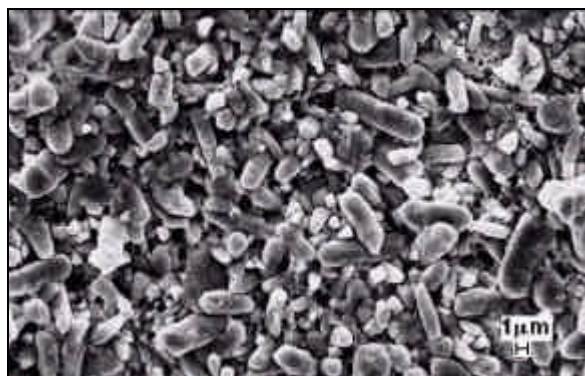


Figura 2. Fotomicrografia da ferramenta de corte sinterizada a 1900°C.

### 3.4. Dureza e Tenacidade a fratura

Os resultados de tenacidade à fratura e microdureza Vickers das amostras sinterizadas são apresentados na Tabela 6. Os altos valores de microdureza justifica-se pela presença da fase  $\alpha$ -SiAlON, que atribui um aumento desta propriedade às cerâmicas de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> quando da sua formação. Enquanto

que, a tenacidade à fratura é explicada pela presença de uma morfologia de grãos alongados, intensificando os mecanismos de tenacificação, como “crack bridging”, “crack deflection” entre outros<sup>(3,11)</sup>. Outro fato que também pode ser utilizado para justificar o aumento destas propriedades seria altos valores de densificação aliado à baixa perda de massa.

Tabela 6. Microdureza Vickers e tenacidade à fratura das amostras sinterizadas.

Código da amostra	Propriedades Mecânicas	
	Microdureza Vickers (GPa)	Tenacidade à fratura (MPa.m <sup>1/2</sup> )
SNAYA	20,28± 0,312	5,76± 0,224

### 3.5. Influência dos parâmetros de usinagem no desgaste da ferramenta e na superfície da peça

A influência do comprimento de corte no desgaste de flanco é mostrado na Figura 3. Analisando os resultados contidos na Figura 3a, nota-se que o VB permanece constante até um Lc próximo de 3333 m, acima deste ocorre um aumento do VB até um Lc igual a 4200 m. No entanto, para um Lc acima de 4200 m, o VB torna a ser constante novamente. Enquanto que, na Figura 3b o desgaste de flanco permanece estável com aumento da velocidade de corte (Vc) e da profundidade de corte (ap). Esse fato pode provavelmente ser explicado pelo alojamento de grafite (existente do ferro fundido cinzento) entre a cunha da aresta e a peça usinada próximo à 700°C, funcionando como lubrificante (fluido pastoso) e diminuindo desta forma o desgaste da ferramenta cerâmica.

Os resultados de desgaste de flanco encontrados nas diferentes condições analisadas foram inferiores ao recomendado pela norma ISSO 3685/93 (VB=0,6 mm) e também aos da literatura, a qual é pobre em informações científicas relativas a fabricação, caracterização e testes práticos de ferramentas de nitreto de silício na usinagem do ferro fundido cinzento. Sendo reportado com data mais recente num trabalho desenvolvido por Ekstrom e Nygren<sup>(14)</sup>, que utilizou diferentes condições de usinagem obtendo em todas elas valores de VB igual ou superior a 1,30 mm.

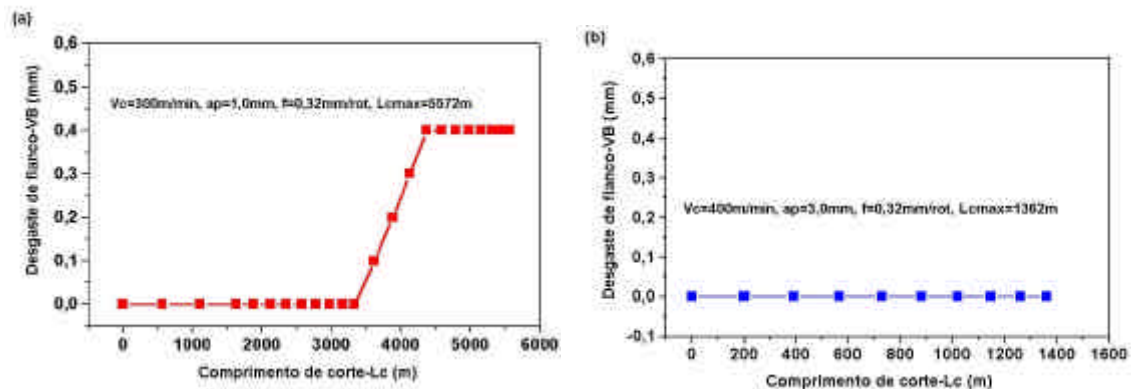


Figura 3. Influência do comprimento de corte no desgaste de flanco.

Na figura 4, é mostrada a influência da velocidade de corte nos resultados de rugosidades Ra e Ry do ferro fundido cinzento. Nesta figura nota-se a diminuição da rugosidade (Ra e Ry) com aumento do Lc, em função do desgaste da ferramenta e sua acomodação na peça, facilitando a remoção de material. Variações bruscas de rugosidades ao longo dos comprimentos também tem sido observado, fato que pode estar diretamente associado a morfologia do ferro fundido cinzento e aos parâmetros de usinagem abordados neste trabalho. Como por exemplo, para Vc=300 m/min e ap=1,0 mm, acredita-se para esta velocidade não ocorra de modo suficiente a remoção de micro-partículas que ficam alojados na aresta de corte ou a frente da mesma, prejudicando o acabamento superficial da peça. Esse



comportamento é característico da usinagem do ferro fundido cinzento. No entanto, para diminuir as variações bruscas de rugosidade, o aumento da velocidade e profundidade de corte tem sido utilizado, conforme mostradas Figuras 4c e 4d, contribuindo para uma melhor acomodação ferramenta-peça, diminuição das vibrações e provavelmente permitindo a transformação das micro-partículas oriundas da grafita em fluido de corte pastoso.

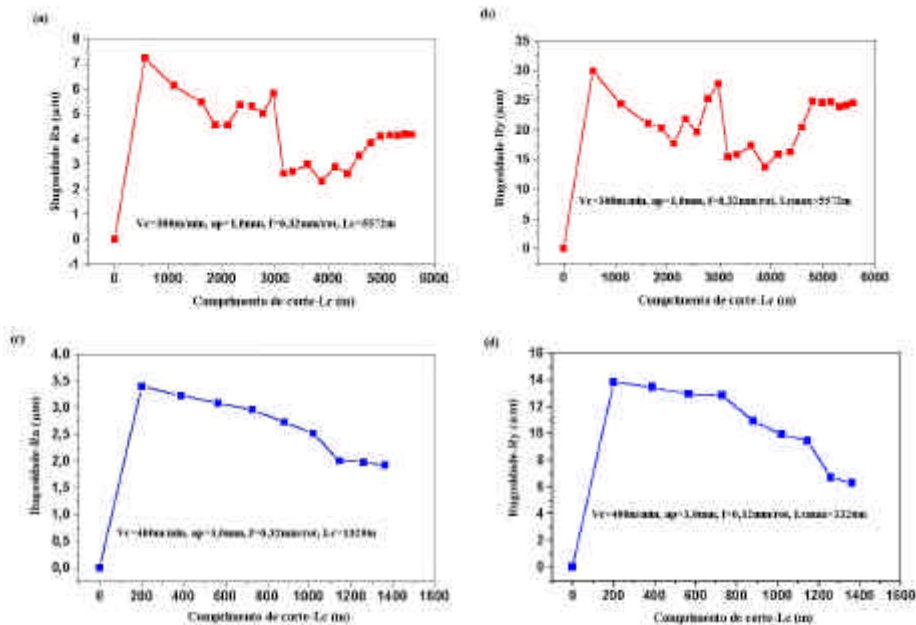


Figura 4. Influência das velocidades de corte nas rugosidades Ra e Ry do ferro fundido cinzento.

A variação da temperatura da interface peça-ferramenta em função do tempo de corte é mostrado na Figura 5. Analisando os resultados contidos nesta figura, nota-se um aumento da temperatura até próximo de 700°C, e diminuição gradativa da mesma após 700°C, nas diferentes condições de usinagem avaliadas. Na Figura 5b, tem sido observado que a temperatura não ultrapassou 700°C, fato diretamente relacionado a maior área de dissipação de calor, devido ao aumento da profundidade de corte.

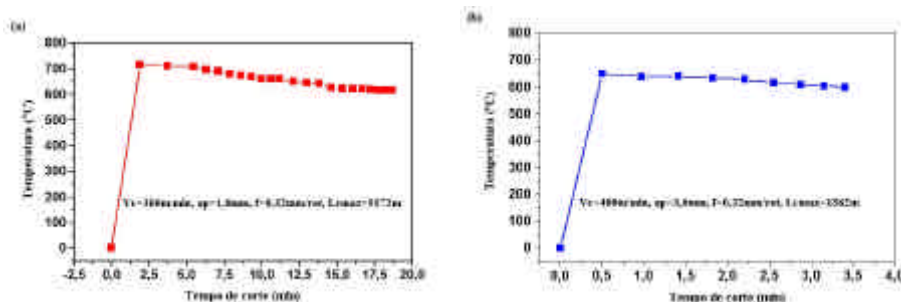


Figura 5. Influência dos parâmetros de usinagem na temperatura da interface peça-ferramenta.

Na Figura 6 é mostrado de modo ilustrativo, as formas dos cavacos obtidos durante usinagem do ferro fundido cinzento. Nessa figura é possível notar a presença de cavacos de tamanhos irregulares, devido aos parâmetros de ensaios utilizados e também a microestrutura das grafitas do ferro fundido cinzento (lamelas interconectadas e sem orientação) <sup>(6)</sup>.



Figura 6. Cavacos obtidos durante ensaios do ferro fundido cinzento.

As fotomicrografias das ferramentas de corte a base de nitreto de silício são mostrados na Figura 7. Em todas as condições analisadas foi possível notar a predominância de desgaste por abrasão, pois quando da formação do cavaco, parte deste se transforma em pó de grandes partículas, que se desloca junto à aresta de corte e a peça usinada, conduzindo ao processo de abrasão de três corpos e conseqüentemente diminuindo a vida útil da ferramenta. Portanto, tal mecanismo de desgaste da ferramenta pode conduzir a formação de outros, como: lascamento, cratera, adesão, trinca, conforme mostrada Figura 7c. Tais mecanismos podem estar relacionados ao tempo de corte e a vibração, oriunda da pequena profundidade de corte utilizada. Entretanto, a influência do tempo de corte também pode ser observado com mais detalhes nas condições A e B, (Figuras A e B), respectivamente, em que nenhum desgaste tem sido notado. Na condição D (Figura D), mesmo com aumento da velocidade de corte e profundidade de corte não é observado desgaste de flanco, fato provavelmente relacionado à acomodação entre ferramenta-peça, conforme discutido anteriormente.

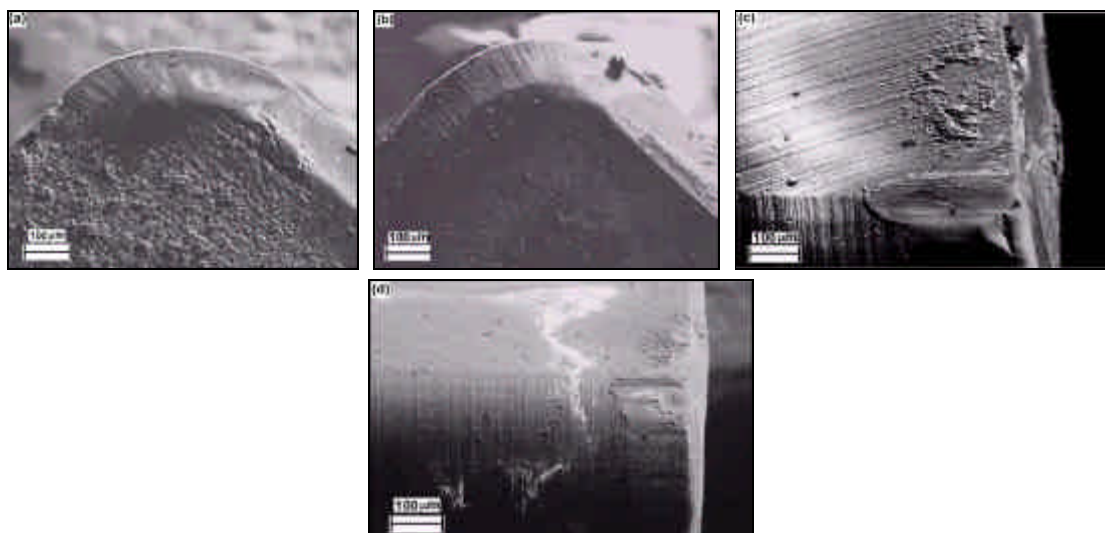


Figura 7. Fotomicrografias das ferramentas de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> utilizadas nas diferentes de usinagem do ferro fundido cinzento: (a) condição A, (b) condição B, (c) condição C e (d) condição D.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho ampliou o conhecimento dos autores no que diz respeito ao desenvolvimento, caracterização e testes práticos de ferramentas cerâmicas na usinagem do ferro fundido cinzento. Portanto podemos concluir que as ferramentas de nitreto de silício produzida em laboratório pelo processo de sinterização normal, forneceram excelentes propriedades físicas e mecânicas, se apresentando como ótima opção no torneamento do ferro fundido cinzento.



Apesar de obter valores de desgaste abaixo do  $VB_{\max}$  de 0,6 mm, os valores de rugosidade obtidos foram elevados, com relação aos tipos de desgaste, conclui-se que houve predominância do desgaste por abrasão e que esse levou a outros mecanismos de desgaste apresentando na aresta C, desgaste de flanco, cratera, lascamento e adesão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às Instituições que deram suporte técnico e financeiro a esse trabalho: FAPESP, CAPES, FAENQUIL, CTA-IAE/AMR, UNESP-FEG.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Dressler, W., Riedel, R., Progress in silicon-based non-oxide structural ceramics. International of Refractory Metals & Hard Materials, v. 15, p. 13 – 47, 1997
2. Rosenflanz, A. , Chen, I. W., Kinetics of phase transformations in SiAlON ceramics: II. Reaction Paths, Journal of the European Ceramic Society, v. 19, p. 2337 – 2348, 1999.
3. Santos, C., Souza, J. V. C., Strecker, K., Ribeiro, S., Silva, O. M. M., Silva, C. R. M., Alpha-SiAlON ceramics with elongated grain morphology using a active sintering additive. Materials Letters, v. 58, p. 1792 – 1796, 2004.
4. Law, I. M., Li, X. S., Advanced Ceramic Tools for Machining Application-II, Key Engineering Materials, v. 14, 1996.
5. Xavier, F. A., Aspectos tecnológicos do torneamento do ferro fundido vermicular com ferramentas de metal-duro, cerâmicas e CBN – Dissertação de mestrado – Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Fevereiro de 2003. 144p.
6. Dawson, S. Operational Properties of Compacted Graphite Iron: Feedback from ongoing test programmes. SinterCast S.A, Switzerland, Fev. 1994.
7. Gazarra, C. D. and Messier, D. R., Determination of phase Content of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> by X-Ray Diffraction Analysis, Ceram. Bulletin, 56 [9] (1977).
8. Anstis, G. R., Chantikul, P., Lawn, B. R. Marshall, D. B. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I direct crack measurements. J. of American Ceramic Society. V. 64 n. 9 p. 533-538, 1981.
9. Santos, C., Melo, F. C. L., Silva, O. M. M., Preparação de Amostras de Cerâmicas para observação microestrutural In: 48 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2004, Curitiba-PR. Anais do 48 CBC. , 2004.
10. Lanna, M.A., Silva, C.R.M., Souza, J.V.C., Properties of Silicon Nitride Sintered at Normal Pressure In: XIX Congresso da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise Caxambu-MG, 2003, Anais do XIX CSBMM.
11. Silva, R. R. F. Cinética de sinterização e desgaste de pastilhas de corte do sistema Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-CeO<sub>2</sub>-AlN. 1992. xxx f., Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 1992.
12. Silva, O.M.M., “Processamento e caracterização do nitreto de silício aditivado com carbonato de ítrio e concentrado de terras raras”, *Tese de Doutorado*, FEG–UNESP, 2000.169p.
13. Souza, J.V.C., Crnkovic, S. J. , Ribeiro, R. B., Santos, C., Kelly, C. A. , Silva, O.M.M., Lanna, M. A.; Fabricação de Ferramentas de Corte a Base de Materiais Cerâmicos para Aplicações em Usinagem de Ferro Fundido Vermicular In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2004, Porto Alegre-RS. Anais do XVI Cebecimat, 2004.
14. Ekstrom, T. and Nygren, M., Journal American Ceramic Society 75 [2] 1992 p76-259.

## HIGH POTENTIAL NEW CERAMIC TOOLS MANUFACTURING

**J. V. C de SOUZA\***, **S. J. CRNKOVIC**

FEG-UNESP, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, cep 12516-410, Guaratinguetá-SP

\*e-mail: [candido@feg.unesp.br](mailto:candido@feg.unesp.br)

**C. A. KELLY\*\*** ; **C. SANTOS**, **M. R. V. MOREIRA** e **M. V. RIBEIRO**

DEMAR-FAENQUIL, Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n, cep 12600-000, Lorena-SP

\*\*e-mail: [claudio@ppgem.faenquil.br](mailto:claudio@ppgem.faenquil.br)

**O. M. M. SILVA\*\*\***

CTA-IAE-AMR, Pça. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50, cep. 12228-904, S.J.Campos –SP

\*\*\*e-mail: [silvaoliva@bol.com.br](mailto:silvaoliva@bol.com.br)

### ABSTRACT

*This work was proposed with objective of to produze and to use silicon nitride cut tools in machining of the gray cast iron. Therefore, Therefore, for development of this work was prepared a powder mixture composed of 80.50 wt %  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, 9.50 wt % AlN,, 2.50 wt % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 7.50 wt % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which was homogenized in ethanol, dry in rotary evaporator and kiln, respectively. Then, uniaxially and cold isotatically pressed in 16.36x16.36x7.50 mm dimensions. The sintering were realized in an furnace with graphite resitive element at 1900°C for 1 hour under nitrogen atmosphere. After sintering, the samples showed relative density higher to 98 % of theroretical, weight loss lower to 3%, fracture toughness and hardness equal to 5.5 MPa.m<sup>1/2</sup> and 20 GPa, respectively. X-ray diffraction analisys and scanning microscopy electron (SEM) showed  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and  $\alpha$ -SiAlON phases. The microhardness and fracture toughness of the sintered samples were higher to 16.81 GPa and 5.89 MPa..m<sup>1/2</sup>, respectively. Before of be used as cut tools, samples were grinned in diamond wheel into 13x13x4.8 mm, with 20° negative bevel and thickness of the nevel equal to 0.08 mm. Machining tests were realized no cut fluid, using different conditions. After machining tests, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> cut tools showed suitable results with relationship to the machinability of the gray cast iron in different conditions analyzed.*

**Key words:** gray cast iron, machining, cutting tools, microstructure and mechanical properties.