

AVANÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE CERÂMICAS NO BRASIL: PROCESSAMENTO DE INSERTOS DE NITRETO DE SILÍCIO ⁽¹⁾

José Vítor Cândido de Souza ²

Claudinei dos Santos ³

Cláudio Augusto Kelly ⁴

Kurt Strecker ⁵

Olivério Moreira de Macedo e Silva ⁶

Miguel Ângelo Lanna ⁷

Resumo

O objetivo desse trabalho é apresentar os resultados referentes aos avanços obtidos no desenvolvimento de ferramentas de corte à base de materiais cerâmicos, no Brasil. São apresentadas diversas composições cerâmicas, com materiais à base de nitreto de silício (Si_3N_4), utilizando como aditivo de sinterização, misturas compostas de AlN , Al_2O_3 , Y_2O_3 ou CeO_2 . As diferentes misturas foram moídas, compactadas e sinterizadas em temperaturas variando de 1700 a 1900°C. As amostras sinterizadas foram caracterizadas quanto a densificação, dureza, tenacidade à fratura, fases presentes e microestrutura. Materiais cerâmicos de elevada dureza e boa tenacidade à fratura foram desenvolvidos. Os resultados de tenacidade são atribuídos ao controle microestrutural efetivo durante a sinterização, que atribui ao material, características tenacificantes. Os baixos níveis de porosidade apresentados nos materiais garantem uma maior confiabilidade dos produtos obtidos, diminuindo a possibilidade dessas ferramentas falharem em serviço. As amostras foram retificadas, conforme norma ISO 1832, e submetidas a ensaios de usinagem das ligas metálicas (ferro fundido cinzento e vermicular, e liga Ti-6Al-4V). Os testes de usinagem revelaram que essas ferramentas podem substituir, com vantagens, outras ferramentas de corte, com redução do nível de desgaste das arestas de corte após a usinagem.

Palavras-chave: Ferramentas de corte; Novos produtos; Cerâmicas; Propriedades mecânicas.

Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais

¹ -60^o Congresso Anual da ABM – Internacional – Belo Horizonte – Julho de 2005

² Aluno de Doutorado em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual de São Paulo - FEG-UNESP

³ Professor do Departamento de Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia Química de Lorena – DEMAR-FAENQUIL

⁴ Aluno de Doutorado do Departamento de Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia Química de Lorena – DEMAR-FAENQUIL

⁵ Professor do Departamento de Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia Química de Lorena – DEMAR-FAENQUIL

⁶ Professor do SENAI-Taubaté, Pesquisador da Divisão de Materiais do Centro Técnico Aeroespacial – CTA-IAE/AMR

⁷ Aluno de Doutorado do Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, cerâmicas à base de nitreto de silício (Si_3N_4) tem sido apontadas como principal material cerâmico não-óxido para aplicações estruturais. Entretanto, no que diz respeito à produção e aplicação desta como ferramentas de corte, a literatura disponível é bastante restrita. A tecnologia de produção desses materiais é dominada por um pequeno grupo de empresas internacionais (Iscar, Yashica e etc) tornando difícil o acesso a elas. Deste modo, se faz necessário que o país desenvolva seus próprios métodos de produção e avalie a aplicabilidade desses produtos na usinagem de ligas metálicas. Atualmente o Brasil importa integralmente esses materiais, para uso em processos de usinagem, aumentando os custos de manufaturas das peças.

As ferramentas de materiais cerâmicos tiveram como base de seu surgimento a feira de Leipzig, em 1938, onde foram realizadas as primeiras demonstrações [1]. No entanto, somente em 1956 na feira de Chicago [2], que tais materiais foram apresentadas com sucesso, e na década de 80 começaram a ser utilizadas em quantidades não desprezíveis [3].

A utilização de cerâmicas de Si_3N_4 e SiAlONs na usinagem vem sendo relatada a partir da década de 80, principalmente na usinagem de ferro fundido. No Brasil, os estudos com ferramentas cerâmicas à base de Si_3N_4 se intensificaram nos anos 90, destacando-se as teses de Doutorado de Silva [4], e Baldacim [5].

Mesmo tendo demonstrado seu potencial, ainda existem muitas restrições quanto à utilização dos materiais cerâmicos em processos de usinagem, devido principalmente à baixa tenacidade a fratura dos mesmos. O aumento desta propriedade nesses materiais é possível com a diminuição do tamanho de micro-defeitos (capazes de ocasionar falhas catastróficas em serviço) e, ainda, à diminuição do grau de dispersão de valores de resistência mecânica. Isso afeta diretamente a confiabilidade dos materiais sujeitos a intensas solicitações mecânicas como no processo de usinagem, pois a fragilidade é uma característica limitante dos materiais cerâmicos [8]. Entretanto, a possível aplicação desses materiais em usinagem visa diminuição de processos posteriores, como retifica e outros, eliminando etapas, diminuindo tempo e custos de fabricação de peças [9]. Ganhos de produtividade nessa área, através de processos de usinagem com ferramentas cerâmicas certamente causarão significativo impacto econômico, aspecto já apontado em outros trabalhos [10]. Convencidas disso, algumas indústrias na Europa, Japão e Estados Unidos já produzem suas próprias ferramentas de corte e testam em seus materiais viabilizando, a aplicação desses no mercado interno e externo [10].

A obtenção de cerâmicas por sinterização via fase líquida (onde se utilizam aditivos de sinterização) tem produzido avanços significativos, devido à maior confiabilidade dos materiais produzidos, com a redução dos níveis de porosidade e aumento da dureza e tenacidade à fratura [12,13]. Os principais aditivos utilizados na sinterização dessas cerâmicas são: AlN , Al_2O_3 , Y_2O_3 , SiO_2 , Ce_2O_3 (óxido de ítrio e terras raras) ou misturas destes [14,15].

Os $\tilde{\alpha}$ -SiAlONs (ou α') são materiais cerâmicos produzidos a partir da formação de solução sólida de átomos de Al e O na estrutura do $\tilde{\alpha}$ - Si_3N_4 . Para formação deste material, é necessária a utilização de aditivos de sinterização ricos em Al e O, além de átomos, tais como Y ou terras raras, que ocupem posições intersticiais na estrutura do $\tilde{\alpha}$ - Si_3N_4 , promovendo sua estabilização em temperaturas elevadas [6,7]. Desta forma, ocorrem substituições de átomos de Si e N por átomos

de Al e O, respectivamente, gerando um material de dureza superior ao β - Si_3N_4 , e com maior resistência à fluência e à oxidação, já que parte da fase líquida transiente formada durante o aquecimento, é consumida para a formação de solução sólida. As propriedades pertinentes a essas cerâmicas resultam de seu forte caráter covalente conferindo-lhes baixa densidade, baixo coeficiente de expansão térmica, elevada resistência ao desgaste, à oxidação e à fluência [11].

Nesse trabalho, são apresentados os mais recentes resultados da produção de ferramentas cerâmicas à base de Si_3N_4 com diferentes composições e tipos de aditivo, além de suas principais propriedades e alguns resultados preliminares, em testes de usinagem de ferro fundido cinzento, ferro fundido vermicular e liga de Ti-6Al-4V.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias primas utilizadas nesse trabalho foram: α - Si_3N_4 , β -SiC de alta pureza (H.C.Starck), AlN, CeO_2 e Y_2O_3 (Fine grade – H. C. Starck) e Al_2O_3 (AS 250K – Baikalox). As composições estudadas nesse trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composições estudadas nesse Trabalho.

Composição	Si_3N_4 (% peso)	AlN (% peso)	Al_2O_3 (% peso)	Y_2O_3 (% peso)	CeO_2 (% peso)	β -SiC (% vol.)
1	75,15	13,25	--	8,60	--	--
2	83,10	7,40	9,50	--	--	--
3	78,8	12,5	2,8	5,9	--	--
4	80,5	9,5	2,5	7,5	--	--
5	84,7	6,25	3,8	5,25	--	--
6	84,7	6,25	3,8	5,25	--	--
7	75,3	13,52	--	11,18	--	--
8	75,3	13,52	--	11,18	--	5
9	75,3	13,52	--	11,18	--	10
10	75,3	13,52	--	11,18	--	15
11	82,26	10,63	--	6,51	--	--
12	78,3	14,4	1,00	3,15	3,15	--
13	82,86	10,63	--	6,51	--	--

As diferentes misturas de pós foram moídas e homogeneizadas via úmida (álcool etílico), em moinho planetário por 2h. Em seguida, as suspensões foram secadas em filtro a vácuo e estufa a 100°C , respectivamente. 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, gerando amostras em forma de pastilhas que apresentavam dimensões próximas a $17 \times 17 \times 8 \text{mm}^3$. Lotes de 12 amostras por composição foram sinterizados em diversas condições e sob dois tipos de processos de sinterização diferentes, conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2. Condições de sinterização utilizadas nesse trabalho.

Composição	Processo	Condições de sinterização
1 a 4	Sinterização normal	1900°C – 1h, tx. aquecimento $15^\circ\text{C}/\text{min}$
5	Prensagem à quente	1700°C – 30 min, 20 MPa, tx. Aquecim. $15^\circ\text{C}/\text{min}$
6	Prensagem à quente	1800°C – 30 min, 20 MPa, tx. Aquecim. $15^\circ\text{C}/\text{min}$
7 a 13	Sinterização normal	1750°C – 30min, tx. Aquecim. $25^\circ\text{C}/\text{min}$, 1750 - 1850°C – 30min, tx. Aquecim. $15^\circ\text{C}/\text{min}$

As massas específicas das amostras sinterizadas foram determinadas pelo método de Arquimedes, segundo norma ASTM-C20-87. 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 $1\mu\text{m}$. 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 5 minutos, em média. Uma análise aproximada do percentual de transformação $\alpha \rightarrow \beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ das amostras sinterizadas foi efetuada 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 [16].

Para realização dos ensaios de microdureza foram utilizadas no mínimo, 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 à 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 Antis [17].

Após caracterização, as amostras foram retificadas em rebolo adiamantado, nas dimensões de $13 \times 13 \times 6,0$ mm, com chanfro negativo de 20° e espessura do chanfro igual a 0,08 mm, conforme norma ISO 1832. A visão geral da ferramenta cerâmica e de uma de suas arestas, juntamente com a ação da mesma sobre uma liga metálica, são mostrados na Figura 1.

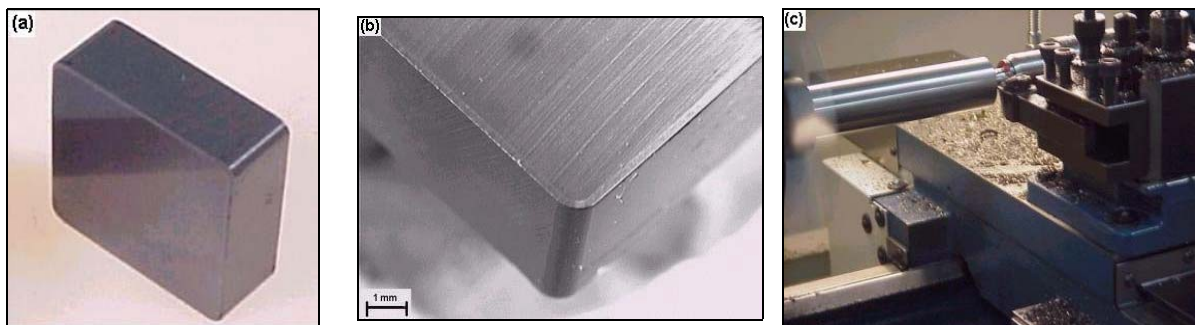


Figura 1. Visão geral: (a) da ferramenta cerâmica; (b) uma de suas arestas e (c) ação da mesma no processo de usinagem do ferro fundido cinzento.

Os testes de usinagem foram realizados, sem presença de fluido de corte, utilizando torno CNC (Romi, mod. Centur 30D). Para medir as temperaturas da interface peça-ferramenta foi utilizado um pirômetro de radiação infravermelho, a uma distância de 300 mm da ponta da ferramenta. Os desgastes das ferramentas foram determinadas através do desgaste de flanco máximo (VBmax), e correlacionados pelas informações referentes às rugosidades (Ra e Ry). 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. 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 perfis periódicos e “cutoff” de 2,5 mm. Portanto, anterior as medições de rugosidade, foi executada a calibração do aparelho conforme a recomendação do fabricante (JIS B0601-1994).

Como critério de fim de vida da ferramenta foi utilizado um VBmax de 0,6 mm (Ferro fundido vermicular e cinzento) e VBmax acima de 0,6 mm, foi utilizado na

usinagem do Ti6Al4V, dependendo da capacidade de usinabilidade das amostras, sendo que esse material objeto de etapas posteriores (torneamento de acabamento). Após os ensaios de usinagem, foi utilizado microscópio eletrônico de varredura (LEO-1450VP), para quantificação precisa dos desgastes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das Ferramentas de Corte

Os resultados referentes às propriedades características das ferramentas de corte pós-sinterização (densidade relativa, perda de massa, dureza e tenacidade à fratura), são apresentados na Tabela 3. Microestruturas representativas são apresentadas na Figura 2.

Tabela 3. Principais propriedades das ferramentas de corte cerâmicas produzidas nesse trabalho.

Composição	Densidade Relativa (%)	Perda de massa (%)	Fases cristalinas	Dureza Vickers (GPa)	Tenacidade à Fratura K_{IC} (MPa.m ^{1/2})
1	98,14	2,1	α'	18,5	5,8
2	97,81	2,6	α' (77%), β	16,4	6,5
3	98,34	2,9	α'	20,3	5,7
4	98,46	2,6	α' (96%), β	20,2	5,8
5	97,68	--	α'	16,8	6,3
6	98,89	--	β	19,7	5,9
7	98,00	--	α'	18,5	6,5
8	99,16	--	α' , β -SiC	20,3	5,1
9	98,86	--	α' , β -SiC	20,9	5,2
10	98,61	--	α' , β -SiC	21,4	5,6
11	97,86	--	α' (91%), β	21,3	5,2
12	98,54	2,6	β	20,5	6,4
13	98,10	1,3	α'	21,0	5,3

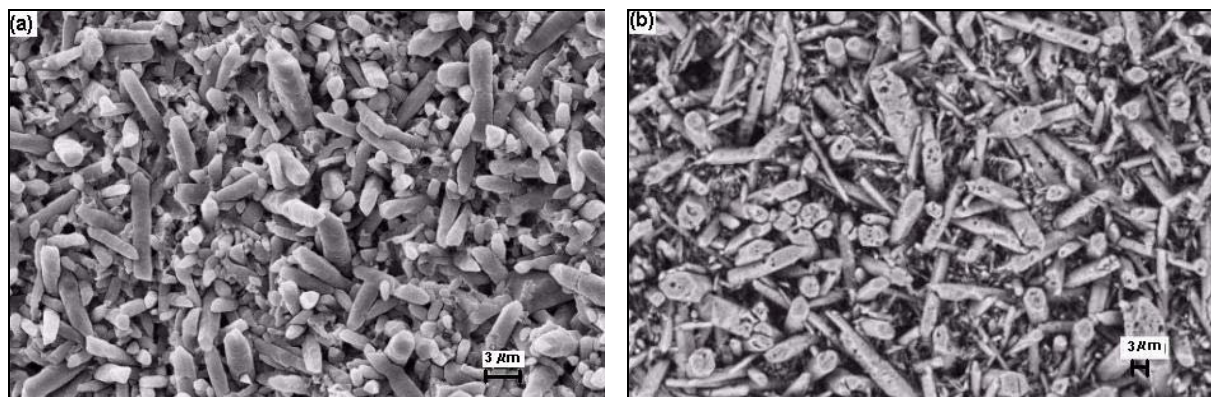


Figura 2. Microestruturas típicas de α -SiAlON (a); e β -Si₃N₄ (b).

Analisando a Tabela 3, verifica-se que as amostras consistindo basicamente de α -SiAlON apresentaram densidade relativa um pouco inferior às amostras constituídas de β -Si₃N₄. Esse fenômeno se dá pela incorporação de grande parte dos aditivos que formam a fase líquida, na estrutura do Si₃N₄, formando uma solução sólida, conforme apresentado na introdução desse artigo.

Pode-se considerar que cerâmicas com densidade relativa próxima a 98,5% sejam satisfatórias para aplicações nos processos de usinagem, pois o nível de porosidade (próximo a 1,5%) permite uma maior confiabilidade do material. Assim,

praticamente todas as composições geraram resultados positivos com relação a essa propriedade.

A formação de solução sólida substitucional em algumas cerâmicas, aumenta a dureza do material, quando comparado ao β - Si_3N_4 , já que há menor quantidade de fase intergranular, fase essa de menor dureza que a matriz de Si_3N_4 [5,13]. Os aspectos microestruturais de todas as amostras apresentaram, basicamente, grãos de Si_3N_4 bem alongados, com elevada razão de aspecto, e grãos de $-\alpha\text{SiAlON}$ um pouco menos alongados. Como as características microestruturais são fator predominante para as características tenacificantes do material, podemos considerar que materiais ricos em fase α - SiAlON (denominadas α'), possuem uma boa tenacidade à fratura e elevada dureza. Como a literatura reporta excelentes propriedades de resistência à oxidação e à fluência [18,19], os consideramos como os principais candidatos a aplicações como ferramentas de corte.

3.2 Testes de Usinagem

Os parâmetros utilizados nos processos de usinagem das diferentes ligas metálicas, os máximos comprimentos de corte e a temperatura da interface peça-ferramenta são mostrados na Tabela 4. Tais parâmetros foram baseados em trabalhos anteriores [9,10,20].

Tabela 4. Condições e parâmetros de corte utilizados nos ensaios de usinagem.

Composição	Material usinado	Condição	Parâmetros de corte utilizados				Temperatura da Interface peça-ferramenta (°C)
			Vc (m/min)	f (mm/rot)	ap (mm)	Lcmax (m)	
4	Ferro fundido cinzento	A	300	0,32	1,0	1629	*
		B				3333	
		C				5572	
		D	400	3,0	1362	700	
11	Ferro fundido vermicular	A	200	0,2	0,5	1658	770
		B	350			1076	780
		C	500			1052	892
		D	200		1,0	1446	838
12	Ferro fundido cinzento	A	180	0,12	1,0	7500	*
		B	240				
		C	300				
		D	360				
		E	300	0,23			
		F		0,32			
		G		0,40			
		H		0,50			
13	Ti-6Al-4V	A	85	0,05	0,5	482	1023
		B	120			466	1200
		C	150			456	1100

* Temperatura da interface peça-ferramenta não determinada.

A associação das profundidades de corte com os parâmetros de avanço utilizados nos ensaios leva a ressaltar a eficiência da ferramenta cerâmica. Alguns resultados de VB (desgaste de flanco) são apresentados na Figura 3 e Tabela 5. Analisando os gráficos *desgaste de flanco x comprimento de corte*, pode-se observar que a ferramenta obteve alta performance, na usinagem de ferro fundido (Figura 3), com comprimentos de corte variados, mas abaixo do VB de 0,6 mm, que é o VB máximo estabelecido pela norma ISO3685/93. Em relação ao ferro fundido cinzento, Figura 3b, o aumento da velocidade e profundidade de corte levou a uma melhor performance, devido a maior acomodação da ferramenta na peça,

diminuindo a vibração, concentrando energia em forma de calor (próximo a 700°C , ver Tabela 4), que no caso do ferro fundido cinzento, dissolve as grafitas, transformando-as em fluido pastoso. Essas informações são estudadas em mais detalhes em trabalhos anteriores [22].

Durante usinagem do ferro fundido vermicular (Figura 3c), o aumento do desgaste de flanco com aumento da velocidade de corte foi observado, pois para menores velocidades de corte, o desgaste de flanco ocorre de maneira suave. Enquanto que, maiores velocidades de corte, o desgaste de flanco ocorre de maneira intensa (agressiva), devido fato de que durante o processo de usinagem, a ferramenta fica sujeita a esforços cíclicos e variações bruscas de temperatura (conforme observado Tabela 4), aumentando a degradação termo-mecânica da ferramenta.

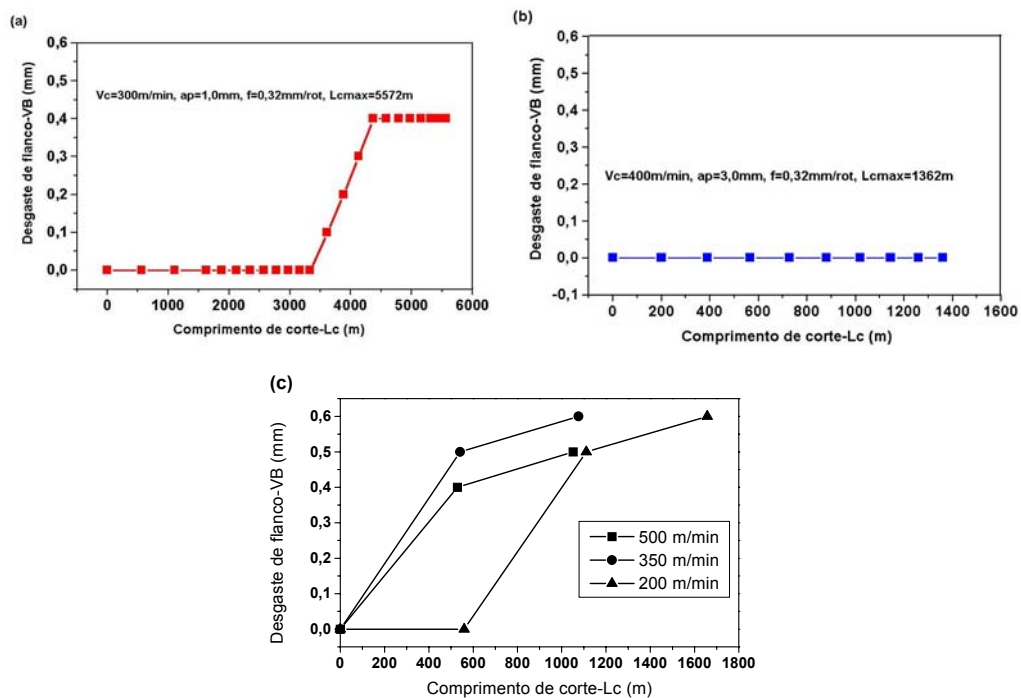


Figura 3. Influência do comprimento de corte no desgaste de flanco de ferramentas cerâmicas a base de Si_3N_4 durante usinagem de diferentes materiais: (a) e (b) – ferro fundido cinzento e (c) – ferro fundido vermicular.

Nas ligas de titânio (Tabela 5), o desgaste de flanco foi superior ao especificado pela norma ISO 1832, com VB variando de 4 a 5,5 mm, mesmo com comprimentos de corte da ordem de 500 m. Porém, essa liga é extremamente difícil de ser usinada, devido provavelmente a temperatura alcançada na interface peça-ferramenta (ver Tabela 4), que proporciona a ativação dos mecanismos difusionais e reações químicas, aumentando a degradação da ferramenta de corte e dificultando a usinagem deste material. Entretanto, podemos ressaltar que os valores de comprimento de corte obtidos na usinagem dessa liga são superiores aos encontrados na literatura [20]. De uma maneira geral, as ferramentas cerâmicas apresentaram uma boa performance principalmente durante usinagem do ferro fundido cinzento, com resultados superiores aos encontrados na literatura [21].

Tabela 5. Resultados de desgaste de flanco das ferramentas a base de Si3N4 obtidos durante usinagem da liga Ti-6Al-4V.

Condição	VB (mm)	Lcmax (m)
A	5,5	482
B	4,0	466
C		456

A influência dos parâmetros de usinagem nas rugosidades (Ra e Ry) das diferentes ligas metálicas é apresentado na Figura 4. Analisando os resultados contidos na Figura 4 (a-d), 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 à morfologia do ferro fundido cinzento e aos parâmetros de usinagem abordados neste trabalho. Como por exemplo, para $V_c=300$ m/min e $a_p=1,0$ mm, acredita-se para esta velocidade não ocorra de modo suficiente à remoção de micro-partículas que ficam alojados na aresta de corte ou à 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 4 (e, f) 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.

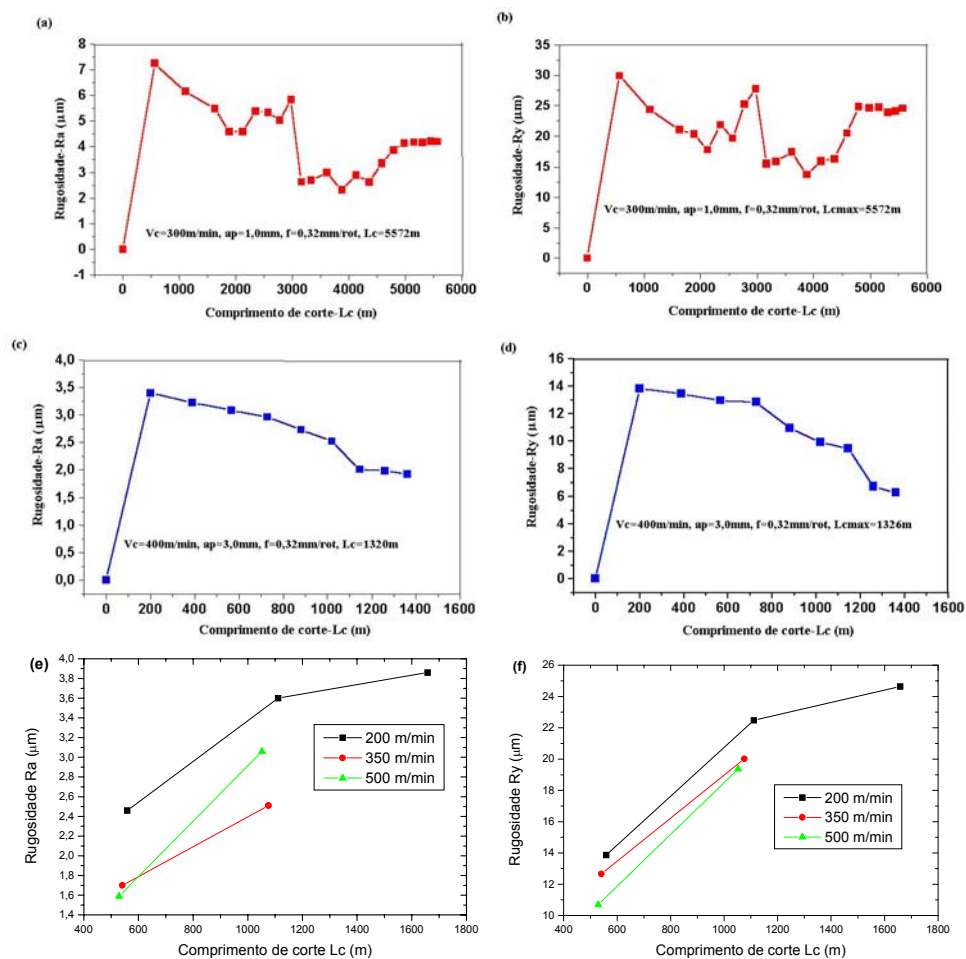


Figura 4. Influência dos parâmetros de usinagem nas rugosidades Ra e Ry das diferentes ligas metálicas: (a-d) – ferro fundido cinzento; (e, f) – ferro fundido vermicular.

Enquanto que, no ferro fundido vermicular (Figuras 4e e 4f), o aumento da velocidade de corte contribui para a diminuição nos valores de rugosidades Ra e Ry. A diminuição nos valores de rugosidades Ra e Ry, devido ao aumento da velocidade de corte são explicadas devido à intensificação de esforços cíclicos e variações bruscas de temperatura, os quais facilitam a remoção de material devido ao aumento do atrito entre a peça a ser usinada e a ferramenta de corte, melhorando desta maneira o acabamento superficial.

As medidas de rugosidades (Ra e Ry) não foram realizados na liga Ti-6Al-4V, devido aos altos valores de desgaste de flanco sofridos pela ferramenta, o qual comprometeu o acabamento superficial da peça usinada.

Os aspectos microestruturais das ferramentas após os testes de usinagem demonstraram comportamento individual para cada condição utilizada nos testes. Sua avaliação permitiu determinar os principais tipos de desgaste predominantes em cada materiais.

Nas composições 4 e 12 (usinagem de ferro fundido cinzento), os mecanismos predominantes de desgaste foram *desgaste de flanco* e *cratera*, conforme Figura 5 a e 5b. Os mesmos tipos de desgastes também foram observados na usinagem do ferro fundido vermicular, composição 11 (Figura 5c). Na composição 13 (liga Ti-6Al-4V), várias reações químicas possivelmente ocorreram. As altas temperaturas às quais as ferramentas e a liga estiveram submetidas durante os testes, contribuíram para a ativação dos mecanismos de desgaste por difusão, adesão, além de desgaste de flanco e lascamento, conforme mostrado Figura 5d.

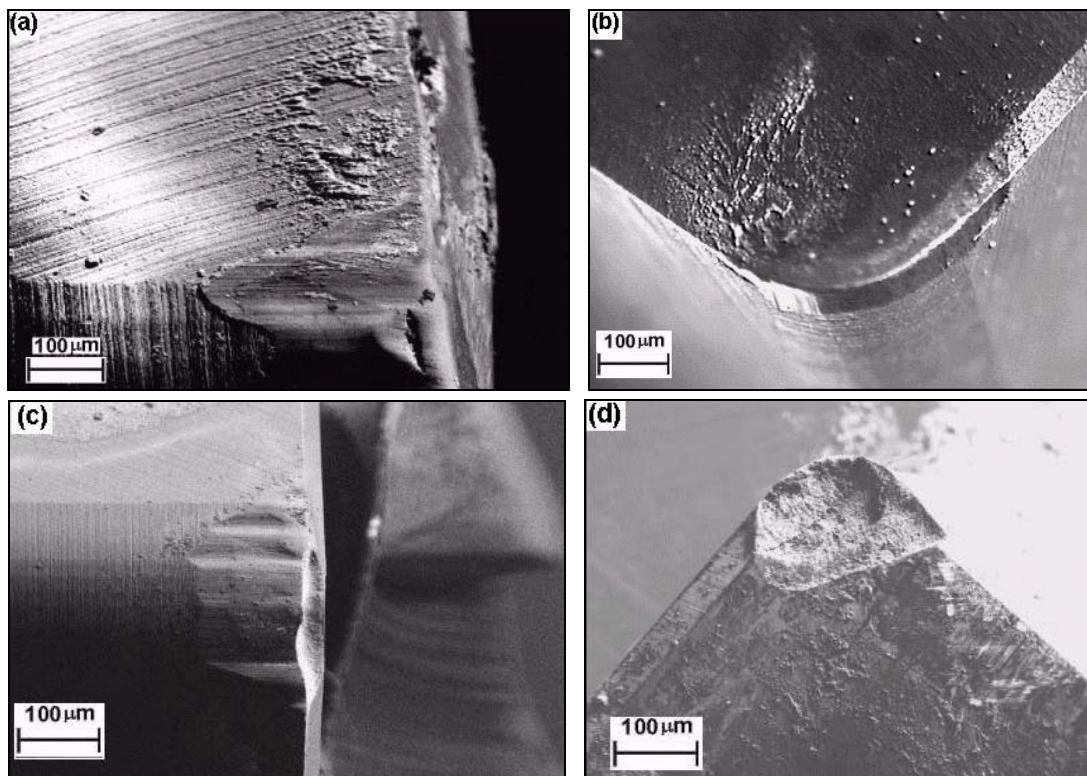


Figura 5. Fotomicrografias das ferramentas a base de Si_3N_4 utilizadas na usinagem das diferentes ligas metálicas: (a) Ferro fundido cinzento ($V_c=300$ m/min, $f=0,32$ mm/rot, $a_p=1,00$ mm, $L_c=5572$ m); (b) Ferro fundido cinzento ($V_c=300$ m/min, $f=0,32$ mm/rot, $a_p=1,00$ mm, $L_c=7500$ m); (c) Ferro fundido vermicular ($V_c=500$ m/min, $f=0,2$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm, $L_c=1052$ m); (d) Ti-6Al-4V ($V_c=150$ m/min, $f=0,05$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm, $L_c=456$ m).

4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho, foram apresentados os últimos avanços no desenvolvimento e aplicação de ferramentas de corte à base de Si_3N_4 no Brasil. Os estudos referentes à fabricação de soluções sólidas de Si_3N_4 visam contribuir para as melhorias nas propriedades desses materiais, devido à incorporação de parte da fase líquida em solução sólida na matriz de Si_3N_4 . Com menor quantidade de fase líquida (intergranular), há melhorias nas propriedades em temperaturas elevadas, como resistência à oxidação, ao desgaste e à fluência, beneficiando esse material para aplicações como ferramentas de corte.

Ferramentas de corte de elevada dureza e boa tenacidade à fratura foram confeccionadas e os testes revelaram vantagens na usinagem de ferro fundido. Testes preliminares realizados em ligas à base de Ti, demonstraram que, apesar da dificuldade inerente das características desse material, há possibilidade de aplicação limitada, porém, com vantagens em relação aos outros materiais utilizados como ferramentas de corte.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BOEHS L., GIRONDI, A. E. C., MACHADO A. R., Materiais para Ferramentas: as novas gerações e suas aplicações, Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1987, 1039.
- 2 BOEHS, L., A Cerâmica aplicada na usinagem de ferro fundido, Anais do 7º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 1986, 151.
- 3 SILVA, O.M.M. Desenvolvimento e caracterização de ferramentas de corte nacionais de nitreto de silício. São José dos Campos, 1996 Tese [Mestrado em ciências] – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- 4 O.M.M. SILVA, “Processamento e caracterização do nitreto de silício aditivado com carbonato de ítrio e concentrado de terras raras”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Unesp, 2000.169p
- 5 BALDACIM, S. A . Tese de doutorado, 198p. 2000 IPEN-USP, São Paulo
- 6 JACK, K.H. J. Mater. Sci. 11 [1976], p.1135-1158.
- 7 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 an additive sintering additive. Materials Letters, v. 58, p. 1792 – 1796, 2004
- 8 DUTTA, S., “Microstructure and property of characterization of sintered Si_3N_4 , SiC and Sialon”, J. Am. Ceram. Soc., 68[5], 1982, 2.
- 9 XAVIER, F. A., et al. Estudo da viabilidade técnica para utilização de inserto de metal – duro no torneamento do ferro fundido vermicular. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003.
- 10 LANNA, M. A., et al. Otimização de custos de produção de ferramentas utilizando sinterização normal. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmicas, 2004.

- 11 DRESSLER, W., RIEDEL, R. Progress in Silicon-Based Non-Oxide Structural Ceramics. International Journal of Refractory & Hards Materials, v. 15, p. 13-47, n. 1-3, 1997.
- 12 RICHERSON, D.W., Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design. Marcel Dekker, Inc., 1992. 162 – 203 p, 680 – 728 p.
- 13 SANTOS, C., Dissertação de mestrado em Engenharia de Materiais – FAENQUIL-DEMAR, Lorena-SP, 2001, 97 p.
- 14 KIM, Y., et al., J. Mater. Sci. Lett., 20, 2001, 2217.
- 15 STRECKER, K., GONZAGA, R., RIBEIRO, S., HOFFMANN, M. J., Mat. Lett., v. 45, p. 39, 2000.
- 16 GAZARRA, C.P. e MESSIER, D.R., Ceram. Bull., 56(9), 1977, 777-79.
- 17 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.
- 18 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.
- 19 CHEN, W.-W. et al, Effect of processing on the morphology of alpha-sialon grains. Materials Letters, v. 46, p. 343 – 348, 2000.
- 20 EZUGWU, E. O., BONNEY, J.; YAMANE, Y. “An overview of the machinability of aeroengine alloys”. Journal of materials processing technology, n° 134, (2003) p 233 - 253.
- 21 EKSTROM, T. AND NYGREN, M., Journal American Ceramic Society 75 [2] 1992 p76-259.
- 22 SOUZA, J. V.C., Kelly, C. A., MOREIRA, M. R. V., RIBEIRO, M. V., LANNA, M. A., SILVA O. M. M. β -Si₃N₄ cutting tools obtaining for machining of the gray cast iron , in International Meeting of AMST 2005, Itália, *no prelo*.

ADVANCES IN DEVELOPMENT OF CERAMIC CUTTING TOOLS IN BRAZIL: PROCESSING OF Si_3N_4 -BASED CUTTING TOOLS

José Vítor Cândido de Souza

Claudinei dos Santos

Cláudio Augusto Kelly

Kurt Strecker

Olivério Moreira de Macedo e Silva

Miguel Ângelo Lanna

Abstract

The objective of this work is to present results regarding the advances made in the development of ceramic based cutting tools in Brazil. Several silicon nitride (Si_3N_4) based materials, produced with different additives, AlN , Al_2O_3 , Y_2O_3 and CeO_2 , are described. The different mixtures were milled, compacted and sintered in temperatures varying of 1700 to 1900°C. Sintered samples were characterized in terms of relative density, hardness, fracture toughness, present phases and microstructure. Ceramics materials of high hardness and fracture toughness were developed. The good fracture toughness is attributed to the intergranular phases, resistant against crack propagation, and an efficient control of the microstructure. The low porosity of the materials guarantees an increased reliability of the cutting tools, reducing the failure probability in service. Therefore, before to the machining tests of metallic alloys (gray cast iron, compacted cast iron and Ti-6Al-4V), samples were grinded, conform ISO 1832 standard. The machining tests revealed that these Si_3N_4 based cutting tools are viable substitutes for other cutting tool materials.

Key-words: Cutting tools; Ceramics; Mechanical properties.