

ESTUDO DA INTERAÇÃO QUÍMICA DE COMPÓSITOS CERÂMICOS E O FERRO FUNDIDO CINZENTO

V. Trombini., K.P.S. Tonello, J.C. Bressiani, A.H.A. Bressiani
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CCTM, Av. Lineu
Prestes 2242 - Cidade Universitária - CEP: 05508-000
São Paulo – SP
e-mail:vthernandes@ipen.br

RESUMO

A busca por maior produtividade nos processos de usinagem baseia-se principalmente na redução dos tempos de corte. Para redução desses tempos uma das possibilidades é o aumento das velocidades de avanço e de corte, tornando muitas vezes necessária a utilização de ferramentas de corte cerâmicas, as quais apresentam maior resistência ao desgaste quando comparadas com ferramentas de metal duro. O avanço nas pesquisas relacionadas às interações químicas dos materiais cerâmicos com o meio usinado mostrou que essas tem um papel crítico na determinação do desgaste, pois durante o processo de usinagem elevadas temperaturas são atingidas na ponta da ferramenta o que pode acelerar o processo de desgaste. A ocorrência de reações triboquímicas em vários contatos cerâmicos é evidente e pode ser extremamente prejudicial. Para a realização do estudo das interações químicas entre os pares, os ensaios são realizados em condições estáticas e ambientes bem definidos. Neste trabalho foram realizados ensaios de difusão para a análise da interação entre os nanocompósitos de alumina/ZrO₂ e de alumina/SiC, com o ferro fundido cinzento. Visando simular as elevadas temperaturas alcançadas na ponta da ferramenta durante a usinagem, foram realizados tratamentos térmicos a 1100°C durante 5h. Os testes mostraram que não ocorre interação significativa na interface metal/cerâmica, indicando que esses compósitos são quimicamente estáveis nas condições testadas.

Palavras chave: Ferramenta de corte, interação química, nanocompósito, alumina, ZrO₂, SiC.

INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas cerâmicas no torneamento, um processo convencional de usinagem, pode levar a uma maior produtividade. Os materiais cerâmicos mais comumente utilizados na fabricação de ferramentas de corte são, alumina, alumina-zircônia, alumina-TiC (TiN), alumina-carbeto de silício (whiskers), nitreto de silício, e SiAlON (material refratário formado por silício, alumínio, oxigênio e nitrogênio) ⁽⁴⁻⁸⁾. Apesar dos grandes avanços na obtenção de materiais cerâmicos para a fabricação

de ferramentas de corte terem ampliado a utilização dessas ferramentas, ainda hoje as baixas resistências mecânica e ao choque térmico, e o alto custo de fabricação, limitam o seu uso.

Durante a usinagem, a ferramenta é submetida a desgastes que dependem da forma da solicitação, e duração da sua utilização. O que torna muito importante o desenvolvimento de ferramentas cerâmicas com geometria definida, e boas propriedades químicas, térmicas e mecânicas⁽⁵⁾.

Estudos⁽⁶⁻⁹⁾ mostraram que as interações dos materiais cerâmicos com o material usinado tem um papel crítico na determinação do desgaste. A ocorrência de reações triboquímicas em vários contatos cerâmicos, e suas conseqüências no comportamento do desgaste são evidentes, porém as explicações para as razões físicas ou químicas no processo de reação muitas vezes são contraditórias. Em alguns casos as reações triboquímicas são atribuídas às altas temperaturas atingidas no contato entre a ferramenta e a peça usinada e em outros a efeitos mecânicos, tais como, pressão, deformação plástica, formação de tensão de cisalhamento, etc. Entretanto não existe uma boa compreensão do processo de desgaste triboquímico, principalmente porque as reações triboquímicas ocorrem em situações dinâmicas complexas, com vários fatores químicos, físicos e mecânicos atuando simultaneamente; devido aos diversos fatores influenciam os resultados há uma grande dificuldade de na análise dos efeitos triboquímicos. Para a obtenção de resultados mais claros, esses fatores podem ser isolados e estudados sistematicamente. O melhor caminho para estudar os mecanismos de desgaste químico em larga escala sem a interferência de mecanismos mecânicos é o estudo das interações químicas sob condições estáticas em ambientes bem definidos⁽¹⁰⁻¹¹⁾.

Materiais cerâmicos podem ser utilizados com sucesso na produção de ferramentas de corte, desde que apresentem boa estabilidade química em relação ao material a ser trabalhado. Assim nesse trabalho foram realizados testes estáticos para o estudo da estabilidade química de nanocompósitos cerâmicos com o ferro fundido cinzento material tradicionalmente usado na fabricação de blocos de motores a diesel⁽¹¹⁻¹³⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos nanocompósitos foram utilizadas como matérias primas pós comerciais de Al_2O_3 submicrométrica AKP-53 (Sumitomo), SiC nanométrico (Nanophase) e zircônia monoclinica nanométrica (Nanostructured & Amorphous

Materials Inc). Para a obtenção dos pós de Al_2O_3 -5%vol de SiC e Al_2O_3 - 5%vol de ZrO_2 , foram inicialmente preparadas suspensões de SiC e ZrO_2 por meio de moagem tradicional em moinho de bolas, utilizando-se 0,5% de defloculante PABA em meio alcoólico e relação de bolas/pó de 5:1 em massa. Estas suspensões foram então misturadas à Al_2O_3 em solução alcoólica por meio de moinho de bolas durante 24hs contendo como aditivos 0,2% de PABA e 0,5% de ácido oléico. Após secagem da mistura em evaporador rotativo a 70°C , foram conformados corpos de prova quadrados (15X15x5mm), por prensagem uniaxial 50MPa, seguida de prensagem isostática 200 MPa

Os corpos de prova de Al_2O_3 -5%vol ZrO_2 foram sinterizados em atmosfera oxidante, a 1460°C por 2h (sendo utilizado, patamar intermediário de 1050°C por 2 h ⁽¹⁴⁾). As amostras contendo 5%vol de SiC foram prensadas a quente com sob atmosfera controlada de argônio a 1750°C e pressão de 20MPa por 30min.

Para a avaliação dos mecanismos de desgaste triboquímicos, foram realizados ensaios em condições de conjuntos formados por cerâmica/metal/cerâmica, os quais tiveram as superfícies de contato polidas tendo sido montados em uma matriz de grafite, inserida em uma prensa a quente. Os ensaios foram realizados sob pressão de 7,5-8 MPa, taxa de aquecimento foi de $40^\circ\text{C}/\text{min}$ até temperatura de 1100°C com tempo de patamar de 5h e fluxo passante de Argônio. O longo tempo utilizado no ensaio estático foi escolhido para permitir uma análise mais precisa dos mecanismos de desgaste triboquímico ⁽¹⁰⁻¹³⁾.

Para realização de análise microestrutural e química, os conjuntos foram retirados da matriz de grafite, embutidos, seccionados transversalmente, desbastados e polidos para a análise da interação entre a ferramenta cerâmica e o metal a ser usinado. A detecção dos elementos presentes na interface ferramenta / ferro fundido foi realizada por EDS acoplado a MEV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos nanocompósitos e compósitos estudados.

Amostra	Densidade Aparente (%DT)	Dureza (GPa)	Tenacidade ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
Alumina 5%SiC nano	98,7	$18,0 \pm 0,7$	$4,2 \pm 0,4$
Alumina 5% ZrO_2 nano	97,2	$21,1 \pm 0,4$	$4,0 \pm 0,4$

A Tab. 1 apresenta os resultados de densidade aparente, dureza e tenacidade das amostras estudadas. Como pode ser observado, mesmo apresentando menor densificação a amostra contendo partículas nanométricas de zircônia apresentou maior dureza se comparada com a amostra contendo inclusões nanométricas de carbeto de silício. Essa diferença nos resultados de dureza pode ser atribuída à diferença de tamanho de grãos apresentada pelas mesmas, como pode ser observado na Fig. 1. Observa-se também que ambas as amostras apresentaram aumento no valor da tenacidade se comparada com a alumina sem inclusões⁽¹⁶⁾. Apesar da diferença significativa no tamanho de grãos os valores de tenacidade foram muito próximos e o podem estar associado ao tipo de fratura (transgranular) apresentado pelas amostras e pelas tensões residuais causadas pela presença das partículas nanométricas no interior da matriz⁽¹⁴⁾. Como pode ser observado na Tab. 1 os nanocompósitos estudados apresentaram excelentes propriedades mecânicas o que os torna fortes candidatos para a fabricação de ferramentas de corte. Assim antes de dar início aos ensaios de usinagem é muito importante que se conheça a estabilidade química desses nanocompósitos em contato com o material a ser usinado. Com o intuito de estudar o comportamento dos nanocompósitos de alumina/ ZrO_2 e alumina/SiC na usinagem de ferro fundido cinzento foram realizados testes estáticos para a avaliação da interação química em temperatura elevada entre a ferramenta de corte e a peça a ser usinada. A escolha dessa temperatura foi baseada na faixa de temperatura de corte estimada para a usinagem dos ferros fundidos com ferramentas cerâmicas⁽¹³⁾.

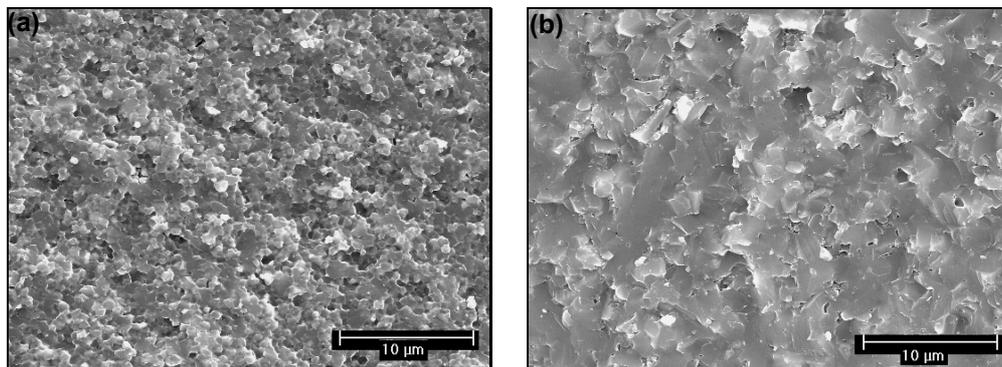


Figura 1. Micrografias das amostras de alumina contendo 5%vol de inclusões nanométricas de (a) ZrO_2 e (b) SiC, sinterizadas sem pressão a 1460 e prensada a quente a 1750°C respectivamente.

As Figs 2 (a) e (b) apresentam as micrografias das regiões de interface entre o ferro fundido cinzento e a ferramenta cerâmica dos nanocompósitos de alumina

5%vol de ZrO_2 e Alumina 5%vol de SiC, respectivamente, após 5h a $1100^\circ C$. Observando-se as micrografias nota-se que apesar da elevada temperatura utilizada no ensaio não ocorreu a formação de novas fases na interface entre a ferramenta cerâmica e o ferro fundido cinzento, indicando a não ocorrência de reação entre os pares. Outro fator que evidencia a não reação é a ausência de trincas resultante da separação das amostras durante o resfriamento. Essa separação ocorreu devido a diferença de coeficiente de expansão térmica entre os materiais em contato.

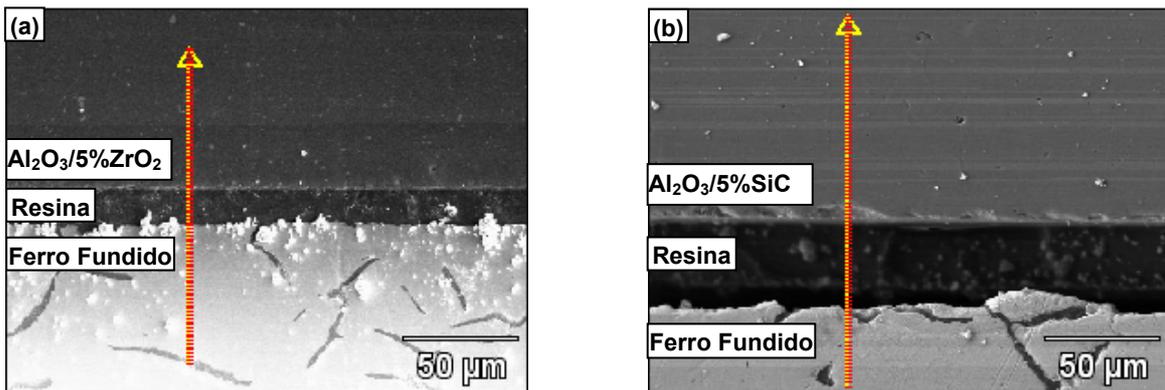


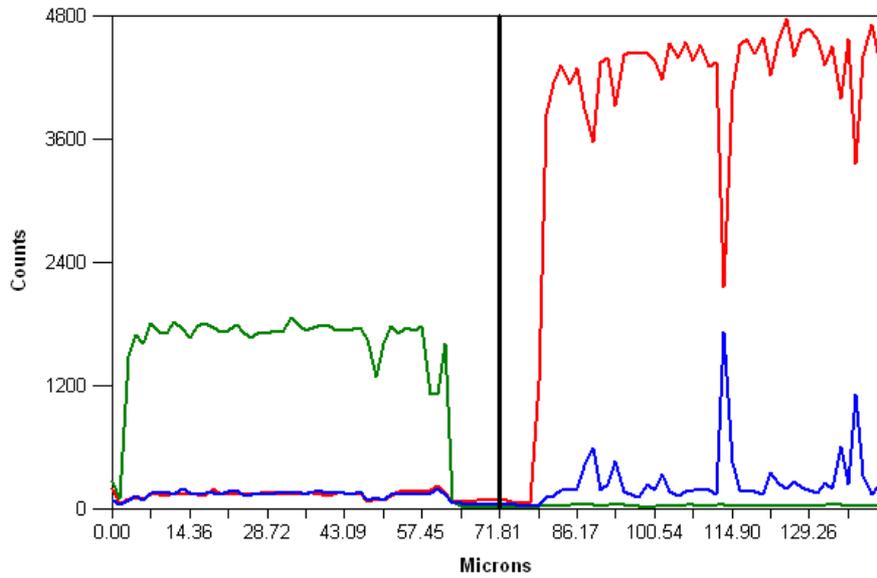
Figura 2. Micrografia da seção transversal dos pares de difusão de ferro fundido cinzento e (a) Alumina 5%vol ZrO_2 , (b) alumina 5%vol SiC.

Mesmo não ocorrendo a formação de novas fases na interface da ferramenta de corte/ferro fundido cinzento é possível que ocorra a transferência de material entre os pares, levando a uma pequena alteração química nos conjuntos estudados tornando esses materiais suscetíveis ao desgaste químico.

Apesar da alta estabilidade química da alumina a presença das inclusões nanométricas na matriz pode causar alteração na matriz, principalmente o carbeto de silício que é um material altamente solúvel no ferro puro⁽¹²⁾. A diferença no tamanho de grãos apresentada pelas amostras pode causar também alteração na interação química da ferramenta de corte quando em contato com o metal que será usinado, de acordo com a relação $D_{sup} > D_{cg} > D_{vol}$, materiais com grãos menores tendem a apresentar elevada taxa de difusão, enquanto que aqueles com grãos maiores tendem a apresentar menor taxa de difusão⁽¹⁷⁾.

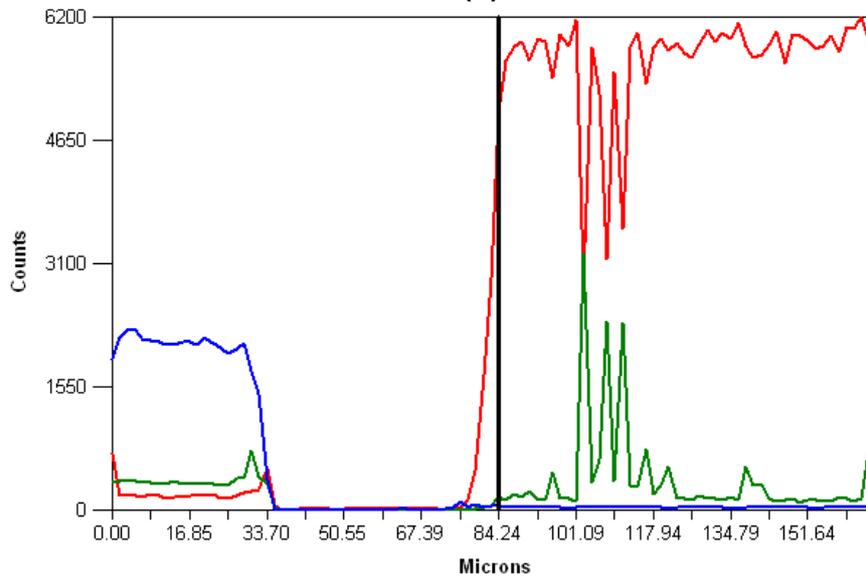
Assim para uma análise mais detalhada do processo de difusão entre os pares alumina/ ZrO_2 /Ferro fundido cinzento e alumina/SiC/Ferro fundido cinzento foi realizada uma varredura por EDS na região e sentido mostrados em destaque pela seta amarela Fig. 2(a) e (b). As Figs 3 (a) e (b) apresentam os gráficos de contagem obtidos por EDS, é possível observar que não ocorreu mudança na concentração

química dos pares. Esses resultados mostram que para esses nanocompósitos a diferença de tamanho de grãos, bem como a presença de diferentes inclusões nanométricas na matriz de alumina não afetou significativamente a taxa de difusão dos mesmos.



AlK: 84 FeK: 16 ZrL: 44

(a)



AlK: 5001 SiK: 165 FeK: 48

(b)

Figura 3. EDS dos pares de difusão dos pares de ferro fundido cinzento e (a) Alumina 5%vol ZrO₂, (b) alumina 5%vol SiC.

CONCLUSÕES

Os nanocompósitos estudados além de suas boas propriedades mecânicas apresentaram excelente estabilidade química em contato com o ferro fundido cinzento em elevada temperatura. Esses resultados mais uma vez mostram o grande potencial das ferramentas cerâmicas na usinagem do ferro fundido cinzento, minimizando os efeitos do desgaste por difusão dos materiais estudados.

AGRADECIMENTOS: CNPq, FAPESP, pelas bolsas concedidas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANDT, G. Ceramic Cutting Tools, State of Art and Development Trends. **Material Technology**. v. 14, p.17-24, 1999.
2. KOMANDURI, R., SAMANTA, S. K., **Ceramics, Metals Handbook, Machining**, ASM International, v.16 p.98-103, 1989.
3. D'ERRICO, G.E.; BUGLIOSI, S.; CALZAVARINI, R. AND CUPPINI, D. Wear of Advanced Ceramic for Tool Materials. **Wear**, v. 225-229, p. 267-272, 1999.
4. SCHNEIDER, J. **Manufacturing Eng.**, v.122, p.66-73, 1999.
5. XAVIER, F. A.; SCHRAMM, B. Materiais Cerâmicos de Corte. **Tendência**, p. 32-49, 2007.
6. WEINGAERTNER, W.L., SCHROEDER, R.B. Tecnologia da Usinagem com Ferramentas de Corte de Geometria Definida – Parte I. Tradução do livro “**Fertigungsverfahren – Drehen, Bohren, Fräsen**” de Wilfried König e Fritz Klocke, Florianópolis, 2002.
7. STEMMER, C.E. **Ferramentas de Corte I**. Editora da UFSC, 6ª Ed, Florianópolis, 2005.
8. ZUM-GARH, K., H., Microstructure and Wear of Materials. **Tribology Series**, v. 10, Elsevier, 1987.
9. NISHIYAMA, A., Application to cutting tool, **New Ceram.**, v. 4, p. 63-67, 1989.
10. HEIKINHEIMO, E., ISOMAKI, I., KODENTSOV, A. A. & VANLOO, F. J. J., Chemical Interaction between Fe and Silicon Nitride Ceramic. **J. Eur. Ceram. Soc.** v. 17, p. 25-32, 1997.
11. KALIN, M., VIZINTIN, J. Influence of mechanical pressure and temperature on the chemical interaction between steel and silicon nitride ceramics. **J. Mater. Res.**, v. 15, p. 1367-1375, 2000.
12. KALIN, M., VIZINTIN, J., VLEUGELS, J., VAN DER BEIST, O., Chemical reactivity of silicon nitride with steel and oxidized steel between 500 and 1200°C. **Mat. Sci. Eng. A**, v. A281, p. 28-36, 2000.
13. VAN DER BIEST, O.; VLEUGELS, J., Perspectives on the Development of ceramic composite for cutting tool application, **Key Eng. Mat.**,v. 206-213, p. 955-960, 2002.

14. CHINELATTO, A. S. A.; PALLONE, E. M. J. A. AND TOMASI R. Electron microscopy Analysis of the Initial Stage Sintering of Alumina. **Acta Microscopica**, Supplement A, p. 405-406, 2001.
15. STERNITZKE, M. Review: Structural ceramic nanocomposites. **J. Eur. Ceram. Soc.**, v. 17, p.1061-1082, 1997.
16. GUIMARÃES, F. A. T.; SILVA, K. L.; TROMBINI, V.; PIERRI, J. J.; RODRIGUES, J. A.; TOMASI, R.; PALLONE, E. M. J. A.. Correlation between microstructure and mechanical properties of Al₂O₃/ZrO₂ nanocomposites. **Ceramics International**, v. 35, p. 741-745, 2009.
17. Mishin, Y.; Herzig, C. Diffusion in Fine-Grained Materials: Theoretical Aspects and Experimental Possibilities. **NanoStruct. Materials**, v. 6 p. 859-862, 1995.

STUDY OF CHEMICAL INTERACTION OF CERAMIC COMPOSITES AND GREY CAST IRON

V. Trombini., K.P.S. Tonello, J.C. Bressiani, A.H.A. Bressiani
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CCTM, Av. Lineu
Prestes 2242 - Cidade Universitária - CEP: 05508-000
São Paulo – SP
e-mail:vthernandes@ipen.br

ABSTRACT

The quest for greater productivity in machining is mainly based on the cutoff times. For reducing these times one possibility is the increase in speeds advancement and cutting, making often required the use of ceramic cutting tools, which provide greater wear resistance when compared with hard metal tools. The advancement in research related to chemical interactions of ceramic materials and workpiece showed that these have a critical role in determining the wear, because during the machining process elevated temperatures are generated at the chip-tool, which can accelerate the wear process. Tribochemistry reactions occurring in various ceramic materials and contacts can be extremely damaging. For the study of chemical interactions between tool and workpiece pairs, tests are carried out under static conditions and well defined environments. This work has been diffusion tests for analysis of the interaction between the alumina/ZrO₂ nanocomposites and alumina/SiC, with grey cast iron. To simulate the high temperatures reached at the chip-tool during machining, heat treatment was carried out at 1100oC during 5h. The tests showed that no significant interaction occurs in metal/ceramics interface, indicating that these composites are chemically stable in the tested conditions.

KEY WORDS: Cutting tools, Chemistry interaction, nanocomposite, alumina, ZrO₂, SiC.