

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE CERÂMICA $Al_2O_3+Y_2O_3+NBC$ NA USINAGEM DE FERRO FUNDIDO VERMICULAR

Christian Doré (autor para correspondência)
GRUCON-UFSC e-mail Chrisdore_2@yahoo.com.br

João Henrique Bagetti (autor para correspondência)
GRUCON-UFSC e-mail joabagetti@yahoo.com.br

Lourival Boehs
GRUCON – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
E-mail: boehs@emc.ufsc.br

Wilson Luiz Guesser
TUPY Fundições Ltda. Engenharia Metalúrgica, e UDESC-Dept Engenharia Mecânica, Joinville-SC. E-mail: wguesser@tupy.com.br

Ana Helena de Almeida Bressiani
Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares-IPEN. E-mail: abressia@ipen.br

Resumo: Atualmente, a grande dificuldade na usinagem do vermicular (CGI) deve-se principalmente ao tipo de sua microestrutura, que oferece propriedades como: boa resistência mecânica, boa resistência à abrasão e a fadiga e boa condutividade térmica. Essas características permitem o uso desse material em diversas áreas, mas em contra partida diminuem consideravelmente o tempo de vida das ferramentas de corte. Assim as ferramentas de corte devem possuir características que forneçam condições apropriadas a usinagem do ferro fundido vermicular, em especial as cerâmicas que precisam aliar tenacidade com boa resistência ao desgaste. Esse trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de cerâmicas à base de óxido de alumínio, carboneto de nióbio e óxido de Ítria na usinagem de CGI. Os ensaios foram realizados em um torno convencional que forneceu rigidez necessária para a realização do trabalho. A avaliação do desempenho se dá através da análise do desgaste de flanco (VB) ocorrido nas ferramentas. Os resultados obtidos mostram que esse tipo de cerâmica pode ser utilizada na usinagem de CGI, quando comparadas ferramentas cerâmicas não óxidas com o $Si_3 N_4$.

Palavras-Chave: Óxido de Alumínio, Carboneto de Nióbio, Ferro Fundido Vermicular, Torneamento.

1 INTRODUÇÃO

Os ferros fundidos vermiculares vem ganhando aplicação crescente em blocos de motores, substituindo o alumínio e o ferro fundido cinzento, permitindo o projeto de motores mais leves e de menor nível de emissões. Entretanto, uma das dificuldades na produção destes blocos de motores reside na sua menor usinabilidade ^{1}. A grande dificuldade na usinagem do ferro fundido vermicular, comparativamente ao ferro fundido cinzento, está relacionada a dois fatores: a sua alta resistência mecânica, envolvendo grandes forças de corte, e a ausência de sulfeto de manganês em sua microestrutura, sempre presente no ferro fundido cinzento, e que deposita-se sobre a ferramenta de corte e garante ação lubrificante local ^{2}.

Assim as ferramentas de corte devem possuir características como: baixo coeficiente de atrito, baixa condutividade para fornecer proteção térmica, alta dureza e resistência ao desgaste de flanco, obtendo assim condições apropriadas a usinagem do ferro fundido vermicular ^{3;4}.

Hoje em dia as ferramentas de metal-duro e CBN são as que mais se destacam na usinagem do vermicular, seguidas pelas de cerâmica ^{5, 17}. O pouco uso da cerâmica se dá pela falta de resultados positivos na usinagem do vermicular, confirmado pelos poucos trabalhos encontrados na literatura sobre o assunto, abrindo caminhos para novas pesquisas e desenvolvimento de novos materiais com propriedades superiores para a usinagem de ferro fundido vermicular.

O objetivo do trabalho é avaliar novos materiais cerâmicos à base de óxido de alumínio, óxido de ítria e carboneto de nióbio, com e sem revestimento na usinagem de ferro fundido vermicular.

Uma importante contribuição se dá pelo fato das ferramentas cerâmicas utilizadas serem produzidas com tecnologia totalmente nacional pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e pela utilização do ferro fundido vermicular que é um material que está em ampla expansão tanto no mercado interno como no externo.

2 ESTADO DA ARTE

A grafita no ferro fundido vermicular aparece na forma de vermes ou de partículas de grafita vermicular, e daí o nome dado a esse material. As partículas são alongadas e orientadas aleatoriamente como no ferro cinzento, porém são mais curtas, mais grossas, e de bordas arredondadas. As partículas de grafita compacta estão conectadas os seus vizinhos mais próximos dentro da célula eutética. Essa morfologia da grafita, com as bordas arredondadas e as superfícies irregulares das partículas da grafita, resulta em maior adesão entre a grafita e a matriz metálica, dificultando assim a iniciação e o crescimento de trincas e fornecendo propriedades mecânicas superiores (Figura 2.1) ^{9}.

Portanto, devido a este tipo de microestrutura o ferro fundido vermicular apresenta as seguintes características: boa resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resistência a choques térmicos, amortecimento e condutividade térmica.

As diferenças entre os ferros fundidos vermicular, cinzento e nodular, referem-se principalmente ao tipo de morfologia da grafita, que confere propriedades físicas e mecânicas distintas a cada uma delas como mostrado na Figura 2.1 ^{5, 6, 7, 17}.

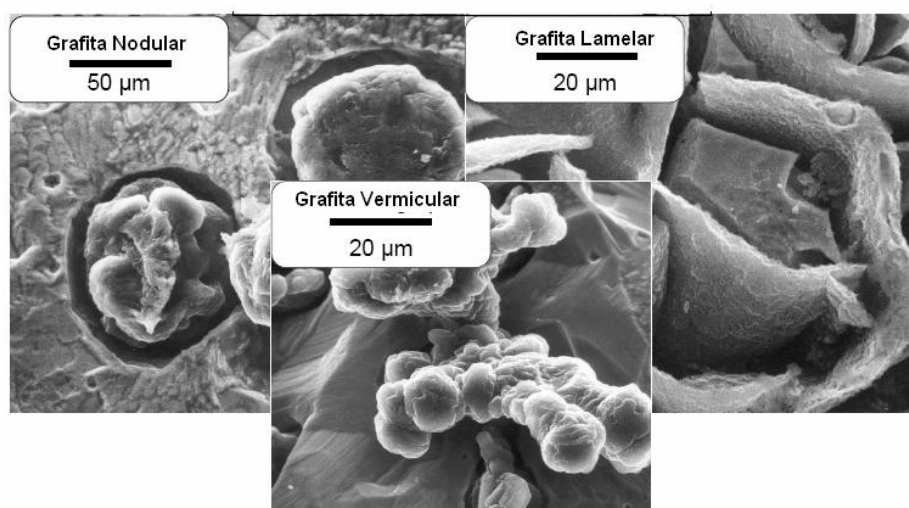


Figura 2.1 Morfologia típica da grafita nodular, vermicular e lamelar. Modificada ^{8}.

No caso do ferro fundido vermicular os cantos arredondados das partículas da grafita não agem como pontos de concentração de tensões e a grafita interconectada propicia uma taxa maior de transferência de calor e dissipação de vibrações do que o nodular. Na tabela 2.1 são comparadas as propriedades físicas e mecânicas do ferro fundido vermicular em relação cinzento e o nodular.

Tabela 2 Propriedades físicas e mecânicas do ferro fundido vermicular, cinzento e nodular ^{11, 12, 16}.

Propriedade	Cinzento	Vermicular	Nodular
Resistência à tração [MPa]	235	500	650
Módulo de elasticidade [GPa]	110	140	165
Resistência à fadiga [MPa]	100	205	265
Condutividade térmica [W/(mK)]	48	35	28
Dureza [HB]	200	225	270
Limite de escoamento 0,2%	160	380	425

2.1 Usinagem de Ferro Fundido com Cerâmicas Óxidas Mistas e Não Óxidas.

A cerâmica como material de corte apresenta qualidades como: alta dureza a quente permitindo altas velocidades de corte, elevada estabilidade química evitando oxidação e difusão, alta resistência à compressão e baixo coeficiente de atrito. Por outro lado características como a alta fragilidade e a baixa condutividade térmica sensível a variações bruscas de temperatura, limitam sua aplicação ^{3,4}. Na literatura poucos são os trabalhos que tratam da usinagem de ferro fundido vermicular, cinzento e nodular com ferramentas de cerâmica sendo alguns deles relatados a seguir.

Na usinagem de Cinzento Sokovic, et al ^{13}, realizou um experimento onde foi testado ferramentas de cerâmica oxidas de $Al_2O_3 + SiC(w)$ sem revestimento e com revestimentos mono e multicamadas obtidos pelos processos PVD e CVD. O material utilizado para o torneamento foi ferro fundido nodular, utilizando velocidade de corte (V_c) de 250 m/min, avanço (f) de 0,2 mm/rot e profundidade de corte (a_p) de 2,0 mm. A Figura 2.2 mostra alguns resultados obtidos por Sokovic para cerâmica com e sem revestimento, onde a ferramenta com revestimento de TiN atingiu o fim de vida (VB de 0,3 mm) com 16 min de usinagem, enquanto a cerâmica sem revestimento durou a metade do tempo.

Segundo Sokovic, et al ^{13}, os defeitos mais frequentes identificados durante os testes de usinagem foram desgaste abrasivo do flanco da ferramenta, desenvolvimento da cratera na face da ferramenta e rachaduras térmicas no flanco da ferramenta. A conclusão tirada é que os revestimentos tanto pelo processo PVD ou CVD, aumentam significativamente a vida da ferramenta, melhorando a qualidade da peça principalmente no acabamento.

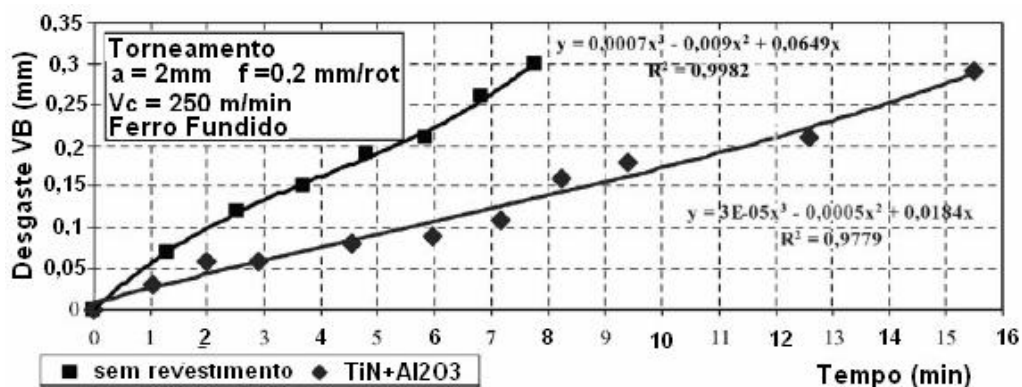


Figura 2.2 Resultados obtidos por Sokovic et al ^{13}.

Dobrzanski et al ^{14} também realizou ensaios com cerâmica em ferro fundido cinzento. A cerâmica era mista de óxido de alumínio com carboneto de titânio ($Al_2O_3 + TiC$) e recoberta com diversos tipos de revestimentos. As condições de usinagem utilizadas foram: v_c de 200 m/min, f de 0,15 mm/rot e a_p de 2 mm. O critério de fim de vida adotado para as ferramentas foi VB de 0,2 mm. A ferramenta sem o revestimento atingiu o VB máximo em 13,5 min, sendo esse o tempo padrão utilizado para a medição do desgaste das demais ferramentas (Figura 2.3). Neste tempo o menor

desgaste foi na ferramenta com camadas de TiN+MultTiAlSiN+TiN com VB de 0,12 e o maior desgaste foi na ferramenta com camadas de TiN+TiAlSiN+AlSiTiN com VB de 0,17 mm.

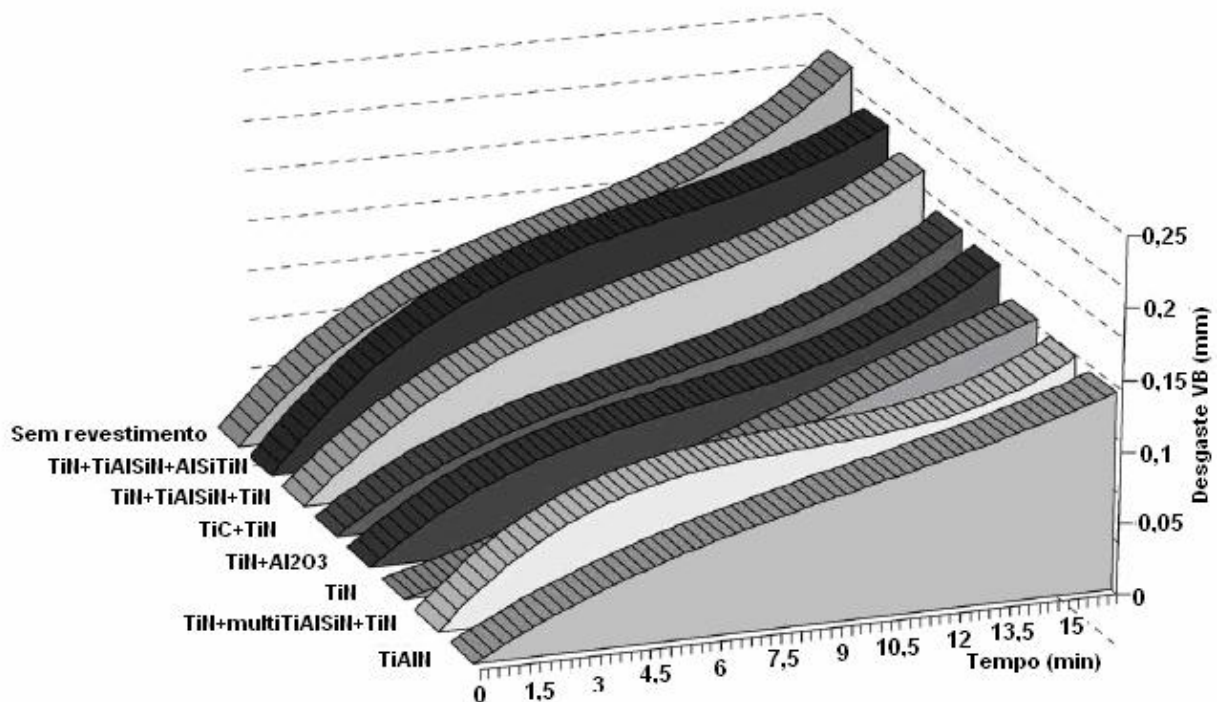


Figura 2.3 Resultados obtidos por Dobrzanski et al ^{14} no torneamento de cinzento. Modificada.

Segundo Dobrzanski et al ^{14} os revestimentos de PVD e de CVD aplicados em cerâmicas óxidas mistas aumentam significativamente a vida da ferramenta e melhorando a qualidade de superfície da peça, principalmente em operações de acabamento. Conseqüentemente, determinou-se que colocar os revestimentos resistentes ao desgaste em ferramentas de cerâmicas óxidas é viável, pois conferem boa resistência ao material da ferramenta, principalmente o revestimento de TiAlN.

Na usinagem de ferro fundido vermicular as cerâmicas ainda são pouco utilizadas, pois, apresentam resultados poucos positivos em comparação a CBN e metal-duro. As cerâmicas mais utilizadas são as de nitreto de silício (Si_3N_4) não sendo encontrados relatos na literatura do uso de cerâmicas óxidas mistas. Xavier ^{5, 17} em sua pesquisa utilizou para usinar ferro fundido vermicular uma cerâmica de nitreto de silício revestida com Al_2O_3 e TiC (denominada CR-B) e outra de mesmo substrato sem revestimento (denominada CR-A). As ferramentas foram ensaiadas em velocidades de corte de 200, 350 e 500 m/min com avanço de 0,2 mm/rot e profundidade de corte de 0,5 mm. O critério de fim de vida adotado foi VB de 0,3 mm e os resultados podem ser vistos na Figura 2.5.

Nas velocidades de 350 e 500 m/min é possível ver uma diferença pequena no tempo de corte para atingir o desgaste VB 0,3 mm entre as ferramentas CR-A e CR-B que pode ser atribuída ao revestimento da ferramenta CR-B. Na velocidade de 200 m/min a ferramenta CR-A não foi ensaiada. O desgaste predominante nas ferramentas foi à abrasão que somado a baixa condutividade térmica e tenacidade das cerâmicas foram à causa do desgaste excessivo no corte de ferro fundido vermicular. Fatores esses comparados ao metal-duro que teve uma vida média de 40 minutos de usinagem faz da cerâmica um material pouco viável a usinagem de vermicular. Outros pesquisadores como Leuze (2000), Reuter (2000) e Souza et al ^{15} obtiveram resultados semelhantes a Xavier na usinagem de Vermicular com cerâmicas de nitreto de silício. Cabe a realização de novos estudos para tornar as cerâmicas mais tenazes e melhorar seu desempenho na usinagem não só de ferro fundido vermicular, mas também do cinzento e nodular.

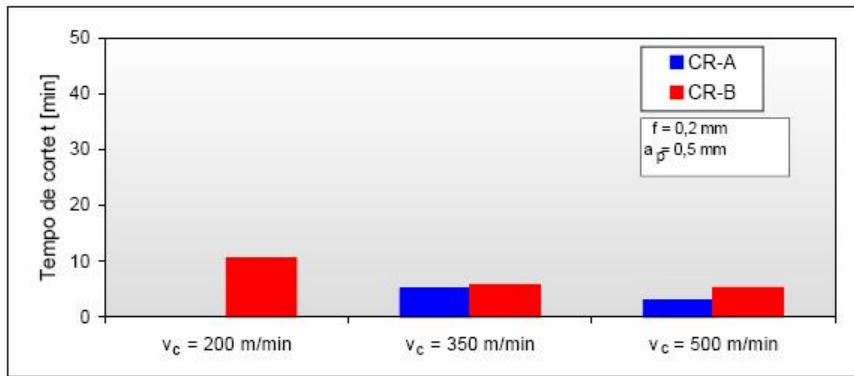


Figura 2.5 Resultados obtidos por Xavier ⁽⁵⁾ na usinagem de vermicular com cerâmicas não óxidas.

3 MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Para essa pesquisa optou-se pela realização dos experimentos através de ensaios de torneamento de longa duração. O torneamento foi escolhido por ser um dos processos mais utilizados e por apresentar condições práticas da indústria. Para realização dos ensaios tínhamos a opção de três ferramentas de cerâmica óxidas mistas fabricadas IPEN e com composições diferentes. Primeiramente foram realizados ensaios de usinagem em ferro fundido cinzento e vermicular para definir qual a melhor das ferramentas para daí sim realizar os ensaios em ferro fundido vermicular com a ferramenta revestida e sem revestimento. Os resultados dos ensaios para escolha da ferramenta estão retratados no capítulo seguinte.

Para realização dos ensaios foi utilizado um torno ROMI com rotação máxima de 2000 rpm. As ferramentas fabricadas pelo IPEN eram óxidas com as seguintes composições: Óxido de alumínio com carboneto de nióbio ($Al_2O_3 : NbC$), óxido de alumínio com óxido de ítria e carboneto de nióbio ($Al_2O_3 : 0,5 Y_2 O_3 : NbC$) e óxido de alumínio com óxido de yttria e carboneto de nióbio ($Al_2O_3 : 1 Y_2O_3 : NbC$) e possuem geometria ISO RGN 090300 (redondas) e designadas para este trabalho de CER-1, CER-2 e CER-3. Para a segunda etapa dos ensaios a ferramenta que teve os melhores resultados na usinagem de ferro fundido cinzento e vermicular foi revestida com TiAlN pela empresa Balzers do Brasil. O revestimento é denominado Balinit Futura Top e possui uma microdureza de 3300 HV.

Para a fixação das pastilhas de corte foi utilizado um suporte de ferramenta fornecido pela empresa Sandvik com o código CRSNR 2525M09. Antes da realização dos ensaios foi feita uma pré usinagem do corpo de prova sendo removida uma camada de aproximadamente 3 mm. Esse procedimento é importante, pois garante que falhas de fundição e efeitos de uma má solidificação da liga afetem a vida da ferramenta de corte durante a realização dos ensaios.

A realização dos ensaios ocorreu no Laboratório do USICON da Universidade Federal de Santa Catarina. Os parâmetros de corte utilizados para os ensaios e o critério de fim de vida das ferramentas foram definidos com base em trabalhos vistos na literatura, recomendações dos fabricantes e na experiência do pessoal do laboratório que trabalha com a máquina utilizada. Foi definido velocidade de corte de 200 m/min, avanço de 0,2 mm/rot e profundidade de corte de 0,5mm para o ferro fundido vermicular e para os ensaios com o ferro fundido cinzento foi definido velocidade de corte de 250 m/min, avanço de 0,2 mm/rot e profundidade de corte de 2 mm.

Como critério de fim de vida para as ferramentas de corte foi utilizado um desgaste de flanco com valor máximo de 0,3 mm. Para realizar a medição do desgaste utilizou-se um microscópio da marca Nikon, com resolução da mesa micrométrica de 0,001 mm. As fotos do desgaste nas ferramentas de corte foram feitas num microscópio óptico do LABMAT-UFSC.

Os corpos de prova foram fundidos com nodularização da grafita de 6% estando dentro dos padrões de qualidade internacionais (nodularidade inferior a 20%). A geometria escolhida foi à cilíndrica, pois facilita a fixação nas castanhas do torno, e um comprimento máximo de 205 mm, com um diâmetro de 145 mm, garantindo que não haja excessivas interrupções nos ensaios.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente foram realizados os ensaios com as três classes de ferramentas disponíveis em ferro fundido cinzento e vermicular com o intuito de identificar qual delas tinha o melhor desempenho na usinagem desses dois tipos de materiais. No ferro fundido cinzento não foi possível realizar o ensaio com a CER-3, devida a não disponibilidade de corpos de prova no momento do ensaio, já no ferro fundido vermicular todas as ferramentas foram ensaiadas e os resultados dos ensaios para os dois materiais estão na Figura 4.1.

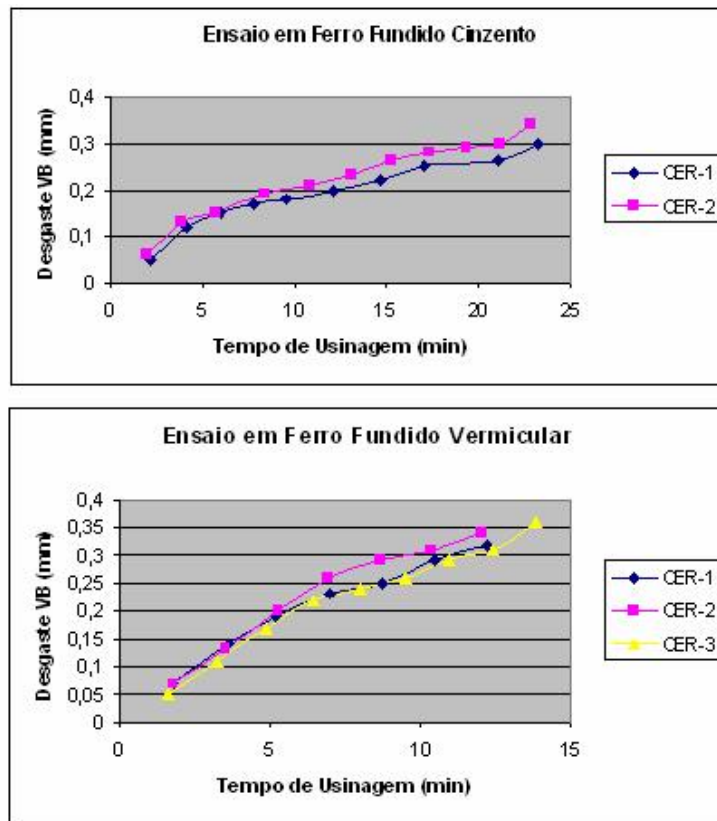


Figura 4.1 Resultados dos ensaios preliminares na usinagem de ferro fundido cinzento e vermicular.

Como observado na Figura 4.1 os resultados das ferramentas tanto no ferro fundido cinzento como no vermicular apresentaram resultados bastante semelhantes, sendo a ferramenta CER-1 a que apresentou resultados ligeiramente melhores que as demais. Desta forma pelos resultados melhores e pela sua disponibilidade a ferramenta CER-1 composta de óxido de alumínio com carboneto de nióbio foi à escolhida para a realização dos ensaios no ferro fundido vermicular. A importância da repetição dos ensaios é para avaliarmos a possibilidade do uso de revestimento neste novo material e seu desempenho na usinagem de ferro fundido vermicular. Os ensaios foram realizados primeiramente com a ferramenta sem revestimento e em seguida com ela revestida. O resultado dos ensaios será apresentado no item 4.1 e 4.2.

4.1 Resultado dos Ensaios da Cerâmica CER-1 Sem Revestimento

Nos parâmetros de corte definidos para o ensaio da ferramenta de corte sem revestimento alcançou um tempo de vida em torno de 10 minutos como apresentado na Figura 4.2. Esse tempo se iguala ao obtido por Xavier ^{5}, que utilizou uma ferramenta cerâmica de nitreto de silício denominada de CR-B em ferro fundido vermicular e nas mesmas condições de corte utilizadas para estes ensaios. Souza et al ^{15} utilizando-se das mesmas condições de corte de Xavier, com ferramenta cerâmica de nitreto de silício obteve um tempo de vida em torno de 5 minutos. A

ferramenta CER-1 comparada a Souza et al ^{15} mostrou um ganho no tempo de vida de 100%. Isso comprova as boas características dessa composição cerâmica como material de corte.

Sovick et al ^{13}, utilizando ferramentas de cerâmica óxidas de Al₂O₃ + SiC(w) com e sem revestimento, obteve tempos de vida de 8 minutos (sem revestimento) e de 16 minutos (com revestimento) respectivamente. Comparado a ferramenta sem revestimento de Sovick, a CER-1 obteve um tempo de 10 minutos, o que representa um ganho de 25% no tempo de vida. Já comparada à ferramenta com revestimento de Sovick, a CER-1 apresentou um tempo de vida 60% menor, que pode ser ligado ao fato da ferramenta CER-1 estar sem revestimento.

Comparando o resultado da CER-1 com os obtidos por Dobrzanski et al ^{14} no ferro fundido cinzento a ferramenta apresentou um desempenho 35 % inferior considerando que no trabalho de Dobrzanski et al, o VB máximo era de 0,2 mm.

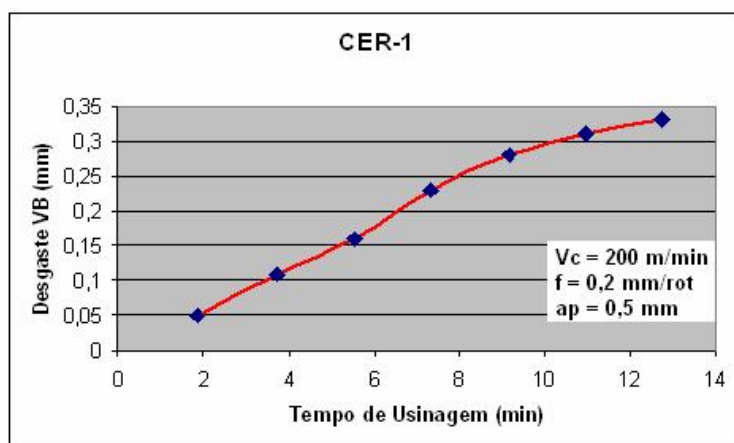


Figura 4.2 Resultados obtidos com a ferramenta CER-1 sem revestimento no vermicular.

Para verificar o desgaste ocorrido na ferramenta foram adquiridas fotos do flanco da ferramenta através de um microscópio óptico e depois realizada a avaliação do desgaste (Figura 4.3).

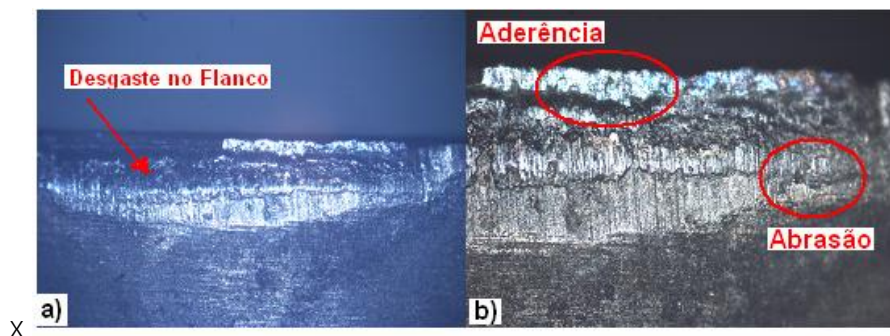


Figura 4.3 Desgaste no flanco da CER-1 sem revestimento: a) aumento 50x e b) aumento 100

Pode-se verificar que a causa principal do desgaste foi à abrasão. No desgaste por abrasão com o passar do tempo o material aderido juntamente com o atrito na interface peça/ferramenta vai removendo parte do substrato da ferramenta tornando-a vulnerável a ação da abrasão e solicitações térmicas. Pode-se observar também na Figura 4.3 que houve aderência do material da peça sobre o gume da ferramenta. Isso ocorre porque com a elevação da temperatura o material da peça caldeia e se adere sobre o substrato da ferramenta de corte. Um fato positivo quanto a esse novo material é a não presença de lascamentos na ferramenta oriundas das forças de usinagem.

4.2 Resultados dos Ensaios da CER-1 com revestimento de TiAlN

Nas mesmas condições de corte do ensaio anterior a ferramenta CER-1 com revestimento de nitreto titânio alumínio (TiAlN) alcançou um tempo de vida em torno de 13 minutos como

mostrado na Figura 4.4. Comparando os resultados com os obtidos por Xavier ^{5}, a ferramenta CER-1 foi 30% superior. Já comparando com Souza et al ^{15} a ferramenta CER-1 foi superior em 8 minutos, representando um ganho de 160% no tempo de vida. Na comparação com resultados de ensaios em ferro fundido nodular como os realizados por Sovick et al ^{13}, a ferramenta CER-1 teve resultados melhores, com ganho de 60% em relação à ferramenta sem revestimento e apenas 20% inferior à ferramenta com revestimento. Os da ferramenta CER-1 estão semelhantes aos obtidos por Dobrzanski et al ^{14}, em torno de 13 minutos para atingir um desgaste de flanco de 0,2 mm. Os resultados preliminares para a CER-1 revestida se mostram iguais se não melhores que resultados de cerâmicas comerciais.

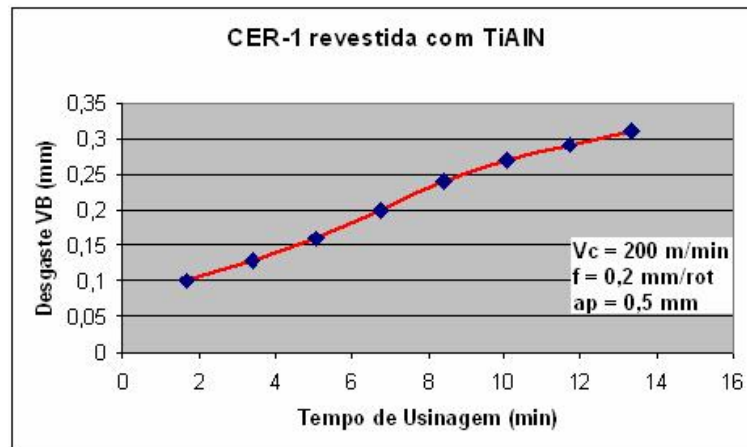


Figura 4.4 Resultados obtidos com a ferramenta CER-1 revestida com TiAlN no vermicular.

A verificação do desgaste ocorreu da mesma forma que para a ferramenta CER-1 sem revestimento e pode ser visto na Figura 4.5. O desgaste predominante na ferramenta também foi à abrasão, só que nesta ferramenta não houve tanta aderência do material da peça na ferramenta de corte que pode ser relacionada à característica de proteção térmica do revestimento. Neste caso o desgaste por adesão removeu primeiro o revestimento e junto com ele o substrato da ferramenta. O ponto positivo percebido é a não presença de lascamentos no substrato da ferramenta.

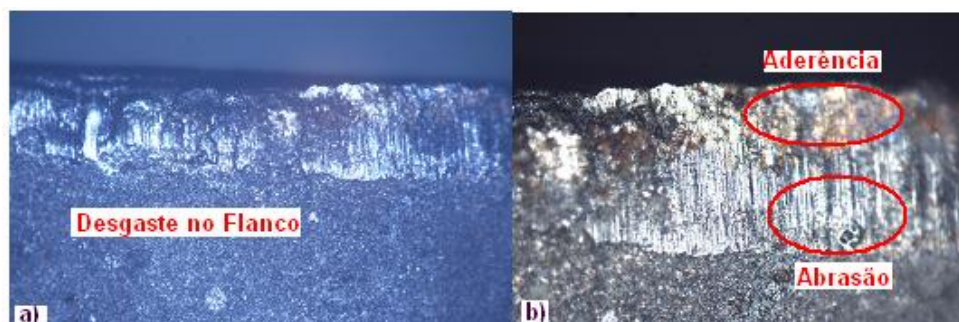


Figura 4.5 Desgaste no flanco da CER-1 com revestimento: a) aumento 50x e b) aumento 100x.

5 CONCLUSÕES

Com relação à usinagem de Ferro fundido vermicular com ferramentas de cerâmica a base de óxido de alumínio com carboneto de nióbio com e sem revestimento pode-se registrar as seguintes conclusões:

- Os resultados em termos de tempo de vida para ambas as ferramentas foi bastante semelhante, sendo que a ferramenta revestida apresentou um ganho de 30% na vida em comparação à ferramenta cerâmica não revestida. Isso mostra que o revestimento de TiAlN teve uma contribuição a resistência ao desgaste da ferramenta.

- O desgaste ocorrido nas ferramentas, tanto na revestida quanto na sem revestimento, se mostrou bastante coerente ao apresentado na literatura para a usinagem de vermicular. O desgaste é característico de abrasão e a ocorrência de aderência do material da peça nos gumes das ferramentas que pode ser relacionado às altas temperaturas na região de corte. O ponto positivo foi a não ocorrência de lascamento no substrato das ferramentas.
- Os resultados obtidos nos ensaios se mostraram bastante animadores quando comparados a resultados de outras pesquisas com ferramentas cerâmicas óxidas e não óxidas. Isso prova que as cerâmicas mistas principalmente as de óxido de alumínio com carboneto de nióbio com ou sem revestimento podem ser utilizadas para a usinagem dos ferros fundidos principalmente do vermicular.
- Quanto ao uso de revestimento de TiAlN na ferramenta mostrou-se viável e com boa adesão ao substrato da ferramenta cerâmica.
- Os resultados obtidos quando comparados a outros materiais cerâmicos comerciais, se mostram bastante animadores, porém aquém dos obtidos com metal-duro. Os resultados apresentados são apenas o início das pesquisas do uso desse material como ferramenta de corte para usinagem de ferro fundido vermicular, cinzento e nodular.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Tupy Ltda pela produção dos corpos de prova utilizados no trabalho;
 Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN;
 A Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina e ao Cnpq pelo apoio financeiro;
 Aos laboratórios de materiais e usinagem por disponibilizar os equipamentos necessários;
 A Sandvik pelo fornecimento das ferramentas para realização dos ensaios;
 Ao Projeto Verde-Amarelo Tupy-LMP/GRUCON pelo apoio financeiro.

7 REFERÊNCIAS

1. KOPPKA, F., ELLERMELER, A. O Ferro Fundido de Grafita Vermicular Ajuda a Dominar as Altas Pressões de Combustão. *Revista Máquinas e Metais*, Novembro de 2005, p 26-41.
2. PEREIRA, A.A., et al. The Influence of Sulfur on the Machinability of Grey Cast Iron FC25. *Journal of Materials Processing Technology*, p 1-7, 2006
3. STEMMER, C.E. Ferramentas de Corte I. Edidora da UFSC, 6ª Edição, Florianópolis, 2005.
4. 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.
5. XAVIER, F.A. Aspéctos Tecnológicos do Torneamento do Ferro Fundido Vermicular com Ferramentas de Metal-Duro, Cerâmica e CBN. Florianópolis, 2003. *Dissertação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina*
6. DAWSON, S., WURTEMBERG, M.V. Experiências Práticas com Ferro Fundido de Grafita Compacta como Material para Componentes Automotivos. Baseado no trabalho apresentado no 26º ISATA, 1993, Aachen, Alemanha, 1994.
7. SOUZA, J.V.C., et al. Usinagem de Ferro Fundido Vermicular com Pastilhas de Cerâmica a Base de Nitreto de Silício. *Revista Máquinas e Metais*, Março de 2005, p 140-155.
8. LÖHE, D. Properties of Vermicular Cast Iron at Mechanical and Thermal-Mechanical Loading. 8th. *Machining Workshop for Powertrain Materials*, Darmstadt, Novembro 2005.
9. DAWSON, S., SCHROEDER, T. Practical Applications for Compacted Graphite Iron. *AFS Transactions, American Foundry Society, Des Plaines, USA: Paper 04-047*, 2004, p.1-9.
10. SINTERCAST. Material Data Sheet: Compacted Graphite Iron. SinterCast S.A, Suécia, Junho de 2001.

11. VACCARI, J. How to Machine Compacted Graphite Iron. *Revista Machine Shop Guide*, Novembro de 2000.
12. MOCELLIN, F. Avaliação da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaio de Furação. Florianópolis, 2002a. 94 f. *Dissertação em Engenharia Mecânica, UFSC-SC*.
13. SOKOVIC, M., et al. Cutting properties of the Al₂O₃ + SiC(w) based tool ceramic reinforced with the PVD and CVD wear resistant coatings. *Journal of Materials Processing Technology*: 164–165, p 924–929, 2005.
14. DOBRZANSKI, L.A., MIKULA, J. Structure and Properties of PVD and CVD coated Al₂O₃ + TiC Mixed Oxide Tool Ceramics for Dry on High Speed Cutting Processes. *Journal of Materials Processing Technology*: 164–165, p 822–831, 2005.
15. SOUZA, J.V.C., et al. Usinagem de Ferro Fundido Vermicular com Pastilhas de Cerâmica a Base de Nitreto de Silício. *Revista Máquinas e Metais*, Março de 2005, p 140-155.
16. MOCELLIN, F., et al. Study of Machinability of Compacted Graphite Irons for Drilling Process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*: vol 26, 2004.
17. XAVIER, F. A., et al. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica para a Utilização de Insertos de Metal-Duro no Torneamento de Ferro Fundido Vermicular. **II COBEF – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, Uberlândia-MG, 2003.

EVALUATION OF CERAMIC AL₂O₃+NBC TOOLS PERFORMANCE ON COMPACT GRAPHITE IRON MACHINING

Christian Doré (author to mailing)

GRUCON-UFSC e-mail Chrisdore_2@yahoo.com.br

João Henrique Bagetti (author to mailing)

GRUCON-UFSC e-mail joaobagetti@yahoo.com.br

Lourival Boehs

GRUCON – Mechanical Engineering Department. Federal University of Santa Catarina, E-mail: boehs@emc.ufsc.br

Wilson Luiz Guesser

TUPY S A Foundry. Metallurgical Engineering, UDESC- Mechanical Engineering Department Joinville-SC. E-mail: wguesser@tupy.com.br

Ana Helena de Almeida Bressiani

Energetic and Nuclear Research Institute –IPEN. E-mail: abressia@ipen.br

Abstract: Nowadays, the big difficulty on the compact graphite iron (CGI) machining comes mainly from the kind of its microstructure, which offers properties like: good mechanical resistance, good stress and abrasion resistance and good thermal conductivity. These characteristics allow this material to be used in different areas, but on the other hand it reduces considerably the cutting tool's life time. Therefore the cutting tools must have characteristics that supply appropriate machining conditions on compact graphite iron, specially the ceramics, which must join toughness and good wear resistance. The objective of the research was to evaluate the performance of news ceramics tools composed with aluminum oxide and niobium carbides and oxide of ítria on the CGI machining. The tests were made on a conventional lathe which required stiffness for the work. The evaluation of the performance is made by the analysis of the flank wear tools. The results show that this kind of ceramic can be used on the CGI machining when compared with non oxide ceramic tools such as Si₃ N₄.

Keywords: Aluminum Oxide, Niobium Carbide, Compact Graphite Iron, Turning Process.