

EFEITO DA TÉCNICA DE LUBRIFICAÇÃO NO DESGASTE DE INSERTOS DE METAL DURO NO FRESAMENTO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO¹

Júlio César Giubilei Milan²
Anderson Clayton Alves de Melo³
Salette Martins Alves⁴

Resumo

O ferro fundido é um material largamente utilizado na indústria devido à suas propriedades mecânicas aliadas a facilidade de fundição e posterior usinagem. Durante a usinagem deste material são utilizados fluidos de corte com vários objetivos, como aumentar a vida das ferramentas e remover o cavaco da região de corte, além de reduzir o pó de grafite gerado. Porém, a cada dia se torna mais importante a eliminação ou redução da quantidade de fluido de corte nos processos de usinagem devido a poluição gerada e a dificuldade de descarte e/ou reciclagem dos resíduos. Neste trabalho, o desgaste de insertos de metal duro utilizados no fresamento de topo de barras de ferro fundido cinzento, é avaliado em três condições distintas de lubrificação: a seco, com fluido em abundância ou por inundação e com mínima quantidade de lubrificante (MQL), com a finalidade de comprovar os resultados de vida de ferramenta. O desgaste das ferramentas foi avaliado através de microscopia eletrônica de varredura e análise química, verificando as diferenças principalmente entre a condição a seco e as demais.

Palavras-chave: Ferro fundido cinzento; Fresamento; Desgaste; Lubrificação.

EFFECT OF THE LUBRICATION CONDITION ON THE WEAR OF CEMENTED CARBIDE INSERTS DURING MILLING OF GRAY CAST IRON

Abstracts

Gray cast iron is a material with large industry application due to its mechanical properties and its foundry and machining facilities. During machining process cutting fluids are used in order to increase tool life and to remove chips from the cutting zone, besides to reduce the generation of graphite powder. However, every day the elimination or reduction of cutting fluid in machining process become more important. Due to the inherent pollution and to the problems associated to fluid disposal or recycling of waste. In this work tool wear of cemented carbide in milling using three different conditions of lubrication: dry machining, flood cutting fluid and minimal quantity of lubricant (MQL) is evaluated, with objective of analyzing the results of the tool life. The wear of each tool was evaluated within a scanning electronic microscopy and chemical microanalysis, verifying differences mainly between dry condition and the others.

Key words: Gray cast iron; Wear; Milling; Lubrication.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Professor Dr. Eng., Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). milan@joinville.udesc.br

³ Professor Dr. Eng. Anderson Clayton Alves de Melo, Coordenação de Eletromecânica (COELM), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). acamel01@yahoo.com.br

⁴ Professora Dra. Eng., Instituto Superior Tupy (IST), Sociedade Educacional de Santa Catarina (SOCIESC). salete.martins@sociesc.com.br

1 INTRODUÇÃO

Em usinagem os fluidos de corte são utilizados para reduzir os efeitos negativos do calor e do atrito sobre a ferramenta e a peça. Têm como principais funções a remoção do calor gerado, a lubrificação da interface cavaco-ferramenta e a remoção do cavado da região de corte.^[1] Contudo, apresentam vários inconvenientes, tais como a necessidade de descarte depois de determinado período de uso, também são observados danos ao meio ambiente quando este descarte é feito de forma inadequada e, ainda, prejuízos à saúde dos operadores causados por contato com a pele e pela respiração de vapores gerados durante sua utilização. Com a finalidade de eliminar ou reduzir estes problemas e tornar a usinagem mais ecológica, tem sido utilizada uma metodologia de aplicação de fluidos de corte conhecida como “mínima quantidade de lubrificação”, MQL, condição esta conhecida como ambientalmente adequada.^[2-4] Mínima quantidade de lubrificação^[5] é uma técnica recente que utiliza uma quantidade mínima de fluido de corte. Nesta técnica um aparelho promove a mistura de uma quantidade muito pequena de lubrificante, da ordem de 100 ml/h, e ar comprimido, que é pulveriza na região de corte.^[6]

Muitas vezes o uso de fluido de corte por inundação pode causar choque térmico nas ferramentas gerando trincas e quebras prematuras, principalmente quando se utilizam ferramentas mais frágeis,^[7] nestes casos a MQL pode ser eficiente reduzindo a quebra das ferramentas.

Porém, o emprego da técnica de aplicação por MQL tem alguns pontos negativos, tais como a formação de uma névoa exigindo um bom sistema de exaustão da máquina e geração de grande ruído.

A aplicação de fluido de corte na usinagem de ferro fundido cinzento é justificada principalmente pela redução da emissão de pó de grafite e pela minimização do desgaste da ferramenta de corte por abrasão, eventualmente ocasionada pela presença de partículas duras no material.

Diante disto, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito das três condições de lubrificação exercido sobre o desgaste das ferramentas na usinagem do ferro fundido cinzento, através da medição do desgaste de flanco e imagens microscópicas das ferramentas.

Diante disto, este trabalho apresenta resultados da avaliação do efeito das três condições de lubrificação sobre o desgaste das ferramentas. Ou seja, a seco (sem a utilização de fluido), utilizando fluido semi-sintético por inundação aplicado na região de corte e a pulverização de uma mistura (fluido + ar comprimido) com mínima quantidade de óleo (vegetal) na região de corte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de fresamento foram realizados no laboratório de Sistema Flexível de Manufatura, FMS, do Instituto Superior Tupy, IST, da Sociedade Educacional de Santa Catarina, SOCIESC. A caracterização metalográfica, as análises de microscopia eletrônica de varredura, micro análises químicas e análise da composição química do material foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Joinville.

a) Material – o material ensaiado foi um ferro fundido cinzento, cuja composição química está mostrada na Tabela 1. Esta composição foi determinada através de um espectômetro de emissão ótica. A forma dos corpos de prova era de barras retangulares com comprimento de 355 mm, largura de 492 mm e espessura inicial de 38 mm.

Tabela 1. Composição química do material ensaiado (porcentagem em massa).

Fe	C	Si	Mn	Cu	W
93,6	3,18	1,93	0,24	0,77	0,13

A Figura 1 mostra uma micrografia do material ensaiado.



Figura 1 – micrografia do material ensaiado, 50 x, atacado com nital 1 %.

b) Ensaio de usinagem – foram realizados ensaios de fresamento de topo em três condições distintas de lubrificação: a seco, com fluido – por inundação e com mínima quantidade de lubrificante (MQL). O fluido utilizado na condição por inundação foi um semi-sintético 6% (vazão de 21,6 l/min). Já o utilizado na condição MQL foi um fluido específico a base de óleo vegetal (vazão de 45 ml/h).

As ferramentas usadas nos ensaios foram pastilhas de metal duro, classe K10, revestidas com TiAlN, fabricadas pela Iscar, código HM90 APKT 1003 PDR. A fresa utilizada foi de topo com 20 mm de diâmetro e capacidade para dois insertos intercambiáveis, com especificação HM90 E90A-D20-2-W20 da ISCAR.

Os parâmetros de corte foram mantidos fixos com os seguintes valores: velocidade de corte de 230 m/min, profundidade de corte de 1,5 mm e velocidade de avanço de 1440 mm/min.

Foram feitas 3 repetições para cada condição.

O equipamento onde os ensaios foram realizados foi um centro de usinagem FV - 600 FEELER com 7,640 kW (10 hp).

A usinagem foi executada no sentido transversal dos corpos-de-prova. A cada 2 passes consecutivos ($L_f = 492$ mm) o ensaio foi interrompido para a medição de desgaste da ferramenta. Feita a medição, prosseguiu-se a usinagem por mais dois passes, seguidos pela medição do desgaste. Este procedimento foi adotado até a ferramenta atingir o critério de fim de vida pré-estabelecido, que foi o desgaste de flanco máximo (V_{Bmax}) de 0,3 mm. Esta medição foi realizada em um microscópio ótico. Após a realização dos ensaios o as pastilhas foram analisadas através de microscopia eletrônica de varredura e micro análise química.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os resultados de vida das ferramentas, na forma de desgaste de flanco médio em função do percurso de avanço. Cada curva representa a média de três repetições. A condição que possibilitou os melhores resultados com maior vida de ferramenta foi com MQL, seguida pela condição por inundação e por último a condição a seco.

Nas condições a seco e por inundação, pode-se observar que as curvas mostradas no gráfico não atingem o desgaste de flanco estabelecido como critério de fim de vida das ferramentas, ou seja, $VB_{B_{\max}} = 0,3$ mm. Isto ocorreu, pois cada ponto representa valores médios e, na maioria das vezes, apenas uma das arestas tinha atingido o final de vida enquanto a outra ainda apresentava um desgaste inferior, fazendo com que o ensaio fosse interrompido e o valor médio fosse menor que o valor do critério de fim de vida adotado. No caso da condição com MQL o desgaste das duas arestas da ferramenta caminhou de forma mais homogênea, como pode ser comprovado no gráfico da Figura 2.

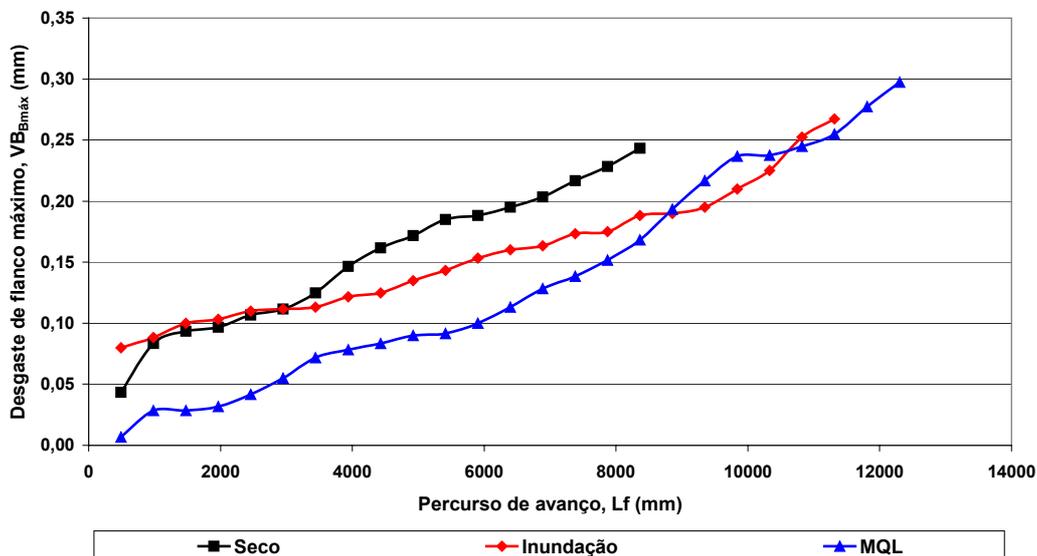


Figura 2. Desgaste de flanco máximo ($VB_{B_{\max}}$) no fresamento do ferro fundido cinzento em três condições de lubrificação: a seco, por inundação e MQL.

A Figura 3 apresenta o aspecto das ferramentas utilizadas nas três condições de lubrificação. Na Figura 3a pode ser observado o aspecto de uma ferramenta que trabalhou a seco, já as Figuras 3b e 3c mostram ferramentas que trabalharam sob lubrificação, MQL e por inundação, respectivamente.

Pode-se observar, nesta Figura, que o aspecto da superfície do flanco da ferramenta (parte desgastada) difere principalmente da condição a seco com as outras duas condições lubrificadas. Nas duas condições com lubrificação nota-se um aspecto que parece ser mais liso. Na condição lubrificada por inundação, Figura 3c, nota-se, ainda, uma região (destacada com um retângulo) que parece ter sido fragmentada da aresta da ferramenta. Esta região é mostrada com uma maior ampliação na Figura 4, onde pode ser comprovado que uma pequena porção da aresta da ferramenta foi arrancada. É possível que isto tenha ocorrido devido a vários fatores como, adesão e arrancamento de material, vibração, material heterogêneo, entre outros, mas acredita-se que tenha ocorrido devido ao choque térmico causado pelo resfriamento na condição de lubrificação por inundação. Nesta

condição ocorre uma grande variação de temperatura na superfície da ferramenta. Durante o período que a ferramenta está efetivamente cortando o material (período ativo) ela se aquece e em seguida, quando está no período inativo ela se resfria rapidamente devido ao contato com o fluido de corte provocando um choque térmico. Este choque térmico é maior quando é utilizado um fluido de corte em abundância, que é o caso da lubrificação por inundação. Nas outras duas condições, a seco e MQL, o choque térmico também ocorre, mas sua intensidade é menor.

Outro ponto importante de ser analisado é que dependendo das propriedades físicas do revestimento e do substrato, a utilização de fluido de corte pode promover um “trincamento” com posterior perda do revestimento fazendo com que o substrato tenha contato direto com o material usinado, que tem uma afinidade química maior do que com o revestimento, causando uma maior adesão de material sobre a região desgastada.

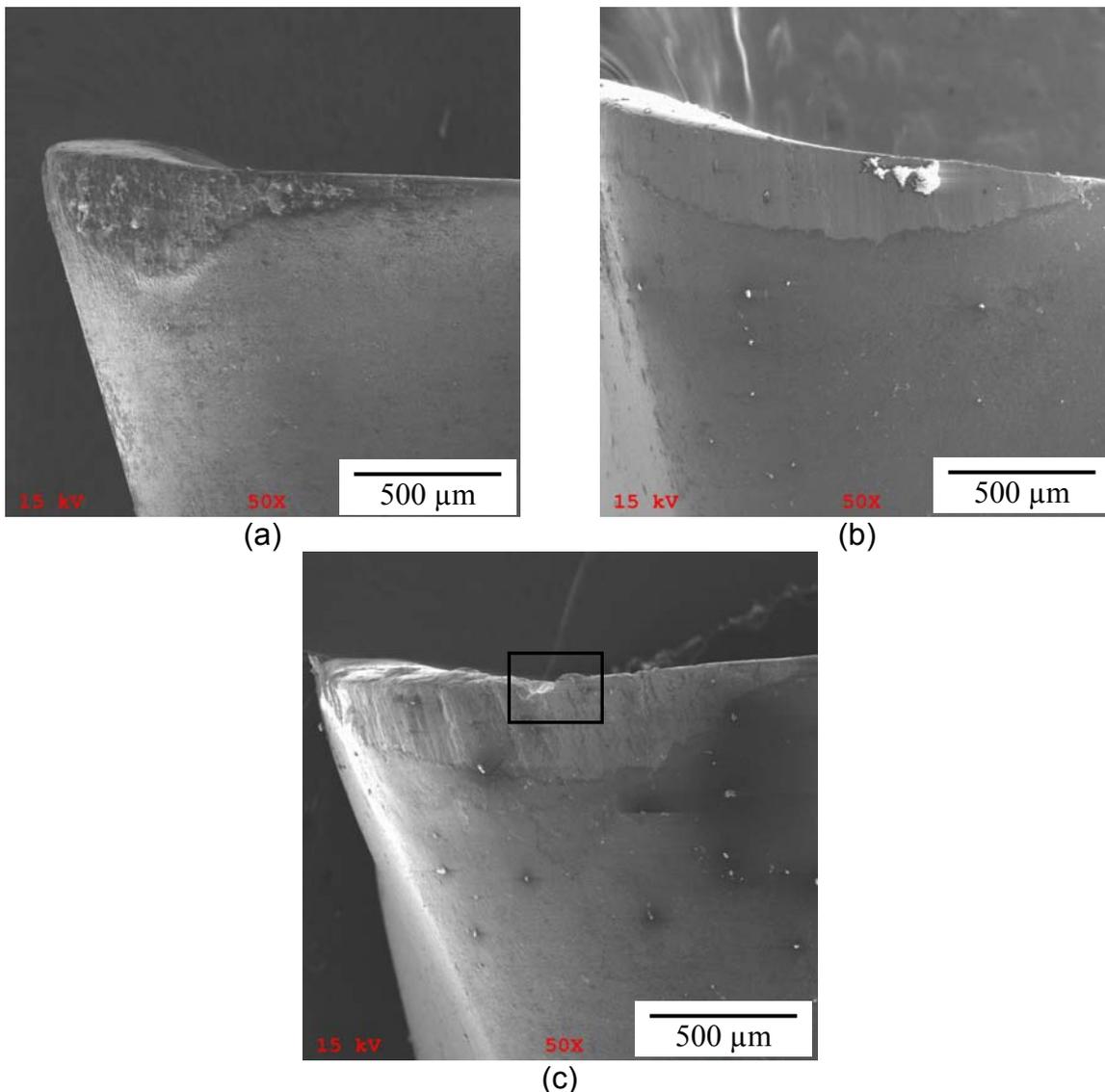


Figura 3. Aspecto das ferramentas, após final de vida, utilizadas no fresamento do ferro fundido cinzento com diferentes condições de lubrificação a) seco, b) MQL e c) por inundação.

Na Figura 5a observa-se em detalhes o aspecto da superfície da ferramenta utilizada na usinagem a seco e, na Figura 5b, observa-se o resultado de uma análise química realizada no ponto indicado na Figura 5a. Visualmente, não se percebe a presença de material aderido sobre a superfície da ferramenta, seu aspecto se

assemelha mais a de uma superfície onde material foi arrancado, porém, a análise química mostra a presença de elementos como ferro e silício que são provenientes do material usinado, ferro fundido cinzento. Nota-se, também, a presença de oxigênio indicando que a superfície sofreu oxidação.

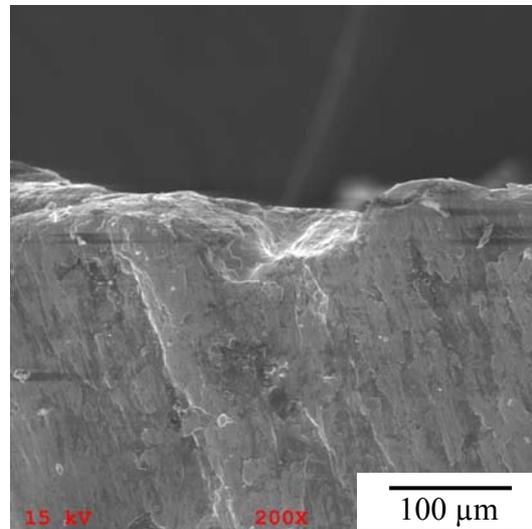
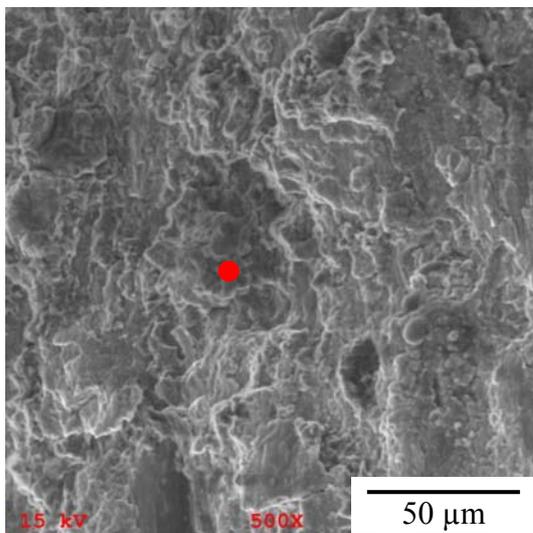
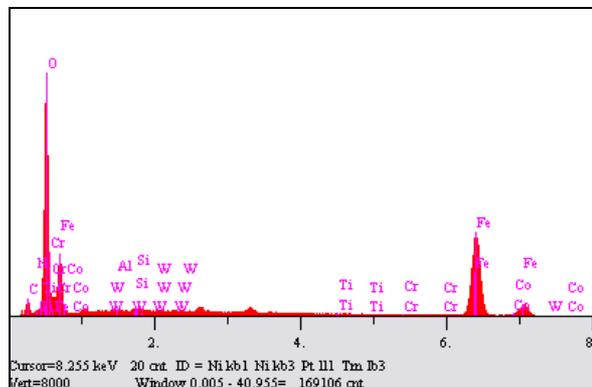


Figura 4. Detalhe da aresta de uma ferramenta utilizada na condição com lubrificação por inundação.

O aspecto da superfície das ferramentas pode ser observado em maiores detalhes nas Figuras 5, 6 e 7.



(a)



(b)

Figura 5. a) Detalhe da superfície de uma ferramenta utilizada na condição a seco e b) análise química do ponto mostrado em a.

Já nas ferramentas utilizadas na condição por inundação e MQL, Figuras 6a e 7a, respectivamente nota-se um aspecto bem diferente da ferramenta que trabalhou a seco. Observa-se, em ambos os casos, uma superfície mais lisa com uma direção preferencial, que é a direção do movimento relativo peça-ferramenta. Parece que o material sofreu uma grande deformação nesta direção preferencial e ficou depositado sobre a superfície de flanco das ferramentas. Uma análise química efetuada nas duas ferramentas, nos pontos indicados, mostra a presença de ferro e a análise quantitativa indica que o ferro é o elemento que está presente em maior quantidade.

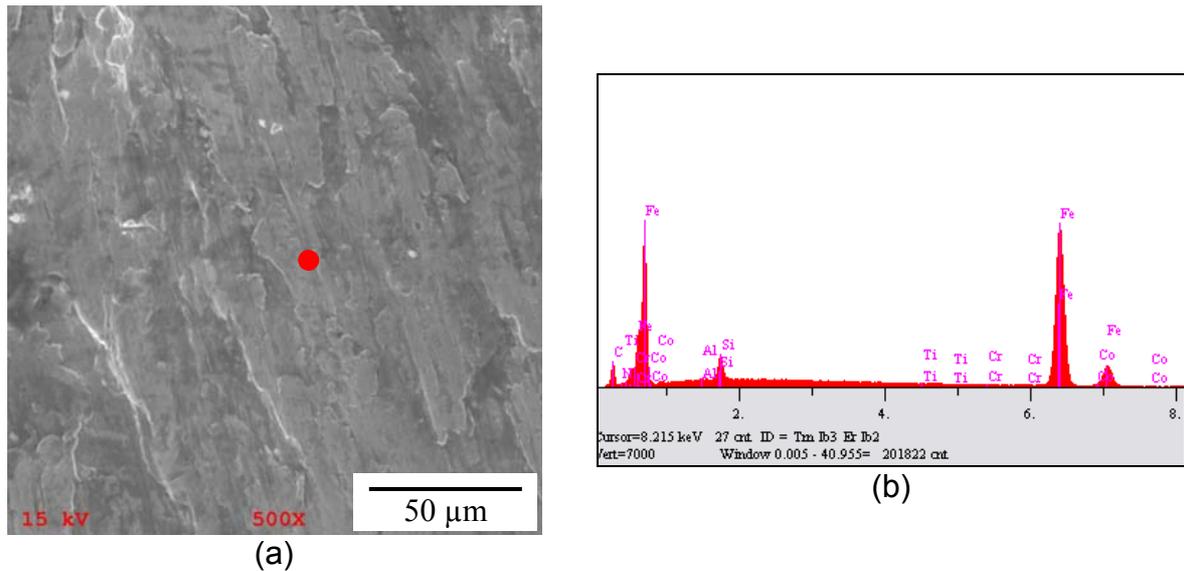


Figura 6. a) Detalhe da superfície de uma ferramenta utilizada na condição de lubrificação por inundação e b) análise química do ponto mostrado em a.

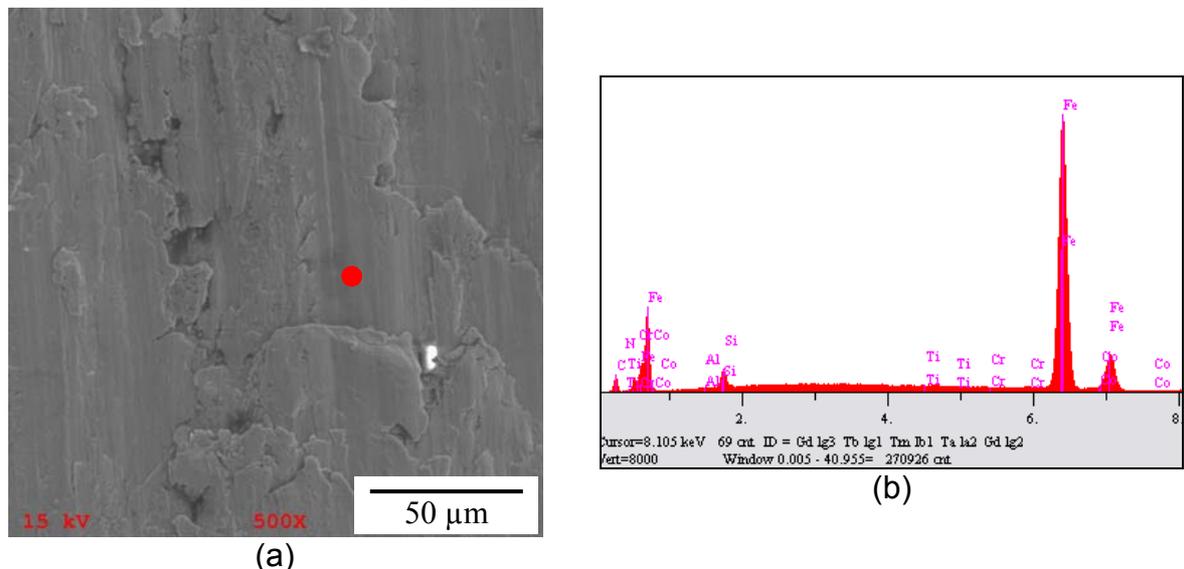


Figura 7. a) Detalhe da superfície de uma ferramenta utilizada na condição de lubrificação por MQL e b) análise química do ponto mostrado em a.

Com isto, verifica-se que há material aderido sobre a superfície de flanco das ferramentas que foram utilizadas na usinagem com lubrificação, por inundação ou MQL. Toda a superfície de flanco destas ferramentas parecem estar com material aderido.

Estas Figuras ajudam a explicar os resultados de vida de ferramentas, mostrados no gráfico da Figura 2. A condição com mínima quantidade de lubrificação, MQL, foi a que proporcionou maior vida da ferramenta. Apesar deste fato, pode-se concluir que o fluido não proporcionou um efeito lubrificante efetivo na interface ferramenta-peça, comprovado pela camada de material aderido sobre a superfície de flanco da ferramenta. A condição com lubrificação por inundação apresentou resultados um pouco inferiores ao com MQL, possivelmente devido a choques térmicos e quebra da aresta cortante, como pode ser comprovado pela observação das Figuras 3c e 4. A condição a seco foi a que proporcionou a menor vida da ferramenta. Nesta condição a adesão de material foi menor.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode se concluir que:

- Houve grande adesão de material nas ferramentas utilizadas em condição de lubrificação, por inundação e MQL.
- A ferramenta utilizada com lubrificação por inundação apresentou quebras da aresta de corte, que podem ter ocorrido por vários fatores, mas possivelmente foram causadas por choques térmicos.
- As ferramentas utilizadas na condição MQL apresentaram uma maior vida, seguidas pelas ferramentas utilizadas na condição por inundação e por último aquelas utilizadas na condição a seco.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Tupy, a Castrol do Brasil, a Iscar Tools e ITW Chemicals, pela doação de materiais para desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 LOPEZ DE LACALLE, L. N., ÂNGULO, C., LAMIKIZ, A., SANCHEZ, J. A., Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 172(1), p. 11-15, 2006.
- 2 SOKOVIC, M., MIJANOVIC, K., Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes, **Journal of Materials Processing Technology**. 109 (12), pp. 181–189, 2001.
- 3 DHAR, N. R., ISLAM, M. W., ISLAM, S., MITHU, M. A. H., The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel. **Journal of Materials Processing Technology**, 171 (1), pp. 93-99, 2006.
- 4 SUDA, S., WAKABAYASHI, T., INASAKI, I., YOLOTA, H., Multifunctional Application of a Synthetic Ester to Machina Tool Lubrication Base on MQL Machining Lubricants. **Annals of CIRP**, 53 (1), p. 61-64, 2004.
- 5 WEINERT, K., INASAKI I., SUTHERLAND, J. W., WAKABAYASHI, T., Dry machining and minimum quantity lubrication, **Annals CIRP**, 53 (2), pp. 511–537, 2004.
- 6 AOYAMA, T., Development of a Mixture Supply for Machining with Minimal Quantity Lubrication. **Annals of CIRP**, 51 (2), p.289-292, 2002.
- 7 MANG, T., FREILER, C., HÖRNER, D., Metalworking Fluids In: Mang, T. and Dresel, W., **Lubricants and Lubrication**, Germany, Wiley-VCH Fuchs, pp. 472-478, 2001.