

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

MECANISMOS DE DESGASTE DE FERRAMENTAS NO TORNEAMENTO COM ALTA VELOCIDADE DE CORTE NA LIGA Ti-6Al-4V

Leonardo Roberto da Silva, lrsilva@deii.cefetmg.br
Odilon Soares da Silva, odilonsilva@deii.cefetmg.br
Arthur Hermsdorff Cezar, arthurhcezar@hotmail.com
Francisco Vieira dos Santos, franvds5@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG - Campus I - Departamento de Engenharia de Materiais - DEMAT. Avenida Amazonas, 5253. Nova Suíça. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Resumo: A usinagem com altas velocidades (High Speed Machining- HSM) tem sido cada vez mais importante, já que a usinagem influencia bastante no custo final das peças mecânicas. Consequentemente, têm sido mais valorizados a elaboração e o fornecimento de tecnologias para altas velocidades de avanço e de rotações. Este trabalho visa analisar os mecanismos de desgaste em ferramentas de corte intercambiáveis utilizando metal duro e diamante sintético policristalino (PCD) no torneamento com alta velocidade de corte na liga Ti-6Al-4V, nas condições de lubri-refrigeração: a seco, jorro e Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL). Para realização das medições de desgaste, utilizou-se um microscópio ferramenteiro para medir o desgaste de flanco máximo ($VB_{Bmáx}$) das ferramentas e em seguida, imagens dessas ferramentas foram obtidas através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para identificação dos mecanismos de desgaste. Os resultados mostraram que a variação dos parâmetros de corte (velocidade de corte e avanço), tipo de material da ferramenta, bem como as condições de lubri-refrigeração, influencia significativamente no comportamento dos mecanismos de desgaste. Em geral, o tipo de desgaste dominante foi o de flanco e os mecanismos foram abrasão, adesão e attrition (aderência e arrastamento).

Palavras-chave: liga Ti-6Al-4V, fluidos de corte, usinagem com alta velocidade, ferramentas de PCD, mecanismos de desgaste.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Machado *et. al.*, (2009), considera-se como mecanismo de desgaste, todo fenômeno distinto capaz de provocar ou causar um desgaste de uma ferramenta de corte. A literatura apresenta variações na classificação dos mecanismos de desgaste, porém grande parte dos trabalhos existentes considera os principais mecanismos:

- ✓ Cisalhamento Plástico a Altas temperaturas;
- ✓ Deformação Plástica sob Tensões de compressão;
- ✓ Difusão;
- ✓ Attrition;
- ✓ Abrasão.

Cisalhamento plástico a altas temperaturas: O cisalhamento plástico a altas temperaturas ocorre mais provavelmente na usinagem de metais com alto ponto de fusão, como ferramentas de aço rápido, devido altas temperaturas de corte na interface ferramenta/cavaco que reduzem a resistência ao escoamento do material da ferramenta que é cisalhado com o cavaco formando uma cratera.

Deformação plástica sob tensões de compressão: A deformação plástica sob tensões de compressão ocorre na usinagem de materiais de elevada dureza. Ocorre normalmente a altas velocidades de corte e de avanço, principalmente quando o material da peça é muito resistente e o da ferramenta pouco resistente, e leva a uma falha catastrófica.

Difusão: O processo de difusão é um fenômeno microscópico ativado pela temperatura na zona de corte. É um processo característico de altas velocidades, responsável pelo desgaste da cratera. A difusão do estado sólido consiste na transferência de átomos de um metal a outro. Depende da temperatura, da duração do contato e da afinidade física química dos dois metais envolvidos. As temperaturas associadas ao desgaste por meio de difusão situam-se em torno de

850°C a 1200°C que não promove a fusão do material (Trent e Wright, 2000). A Figura 1 mostra as áreas desgastadas por difusão durante a usinagem da liga Ti-6Al-4V com uma ferramenta de metal duro classe K20. Como se processa em nível atômico, no microscópio, as áreas desgastadas por difusão tem uma aparência lisa.

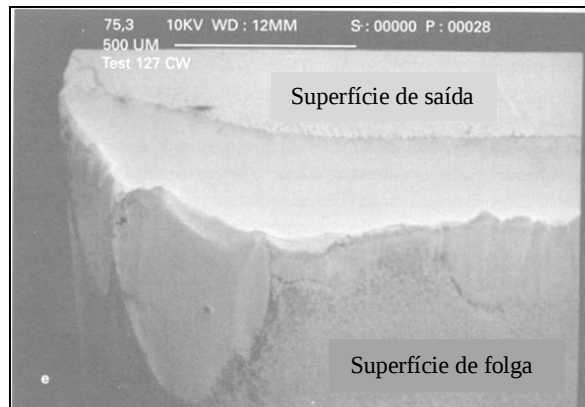


Figura 1. Desgaste por difusão.

Attrition (aderência e arrastamento): O desgaste por *attrition* é considerado um mecanismo de desgaste característico de baixas velocidades de corte, nas quais o fluxo de material sobre a superfície de saída da ferramenta se torna irregular. Fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados junto ao fluxo de material adjacente à interface, favorecidos pela presença de APC (arestas postiças de corte). Entretanto se o fluxo de material que ocorre na superfície de saída, ou na de folga for irregular, também a altas velocidades, isso pode favorecer o *attrition*. O que pode ocorrer nessa situação é a predominância de mecanismos mais fortemente dependentes da temperatura que o *attrition* a altas velocidades (difusão ou deformações) ofuscando a contribuição desse mecanismo de desgaste caso ele esteja presente. Ao contrário do processo de difusão, o mecanismo de *attrition* deixa uma aparência áspera na ferramenta. A Figura 2 ilustra a área desgastada de uma ferramenta de metal duro classe K20 a 75m/min utilizada para usinar a liga Ti-6Al-4V. Na superfície de saída onde esteve presente a zona de aderência, prevalece a difusão, com o desgaste apresentando um aspecto liso, enquanto na região de escorregamento esteve presente, observa-se o aspecto áspero, característico de *attrition*.

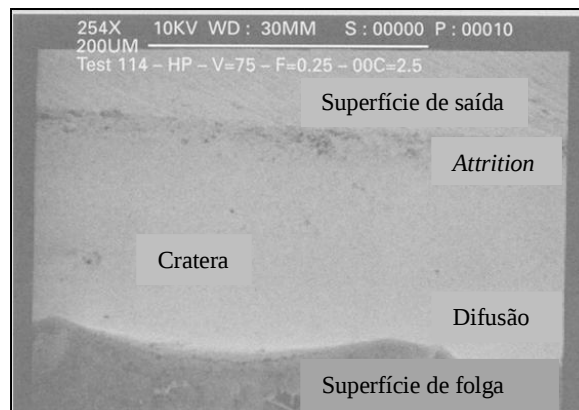


Figura 2. Desgaste por attrition.

Abrasão: Mecanismos como a abrasão são dados como uma das principais causas de desgaste da ferramenta, tanto o frontal quanto o desgaste de cratera. Este desgaste é mais provável de ocorrer em baixas velocidades de corte tendo a peça alta dureza. Em sistemas tribológicos de um modo geral, o desgaste abrasivo ocorre quando o material é removido ou deslocado da superfície por partículas duras que podem estar soltas entre duas superfícies com movimento relativo, ou que pertencem a uma das superfícies. Ambos podem ocorrer em usinagem. No primeiro caso as partículas abrasivas são precipitados duros (óxidos, carbonetos, nitretos ou carbonitretos) que, se pertencentes ao material da peça ou do cavaco, desgastam a ferramenta. No segundo caso as partículas abrasivas podem pertencer a ambos, peça e cavaco, que se desprendem por *attrition* e são mergulhadas no fluxo de material. Este mecanismo resulta em microsulcamento, microcorte e microlascamento, sendo muito comum em ferramentas de aço rápido, ferramentas revestidas, cerâmicas puras e mistas.

Numerosos estudos sobre desgaste da ferramenta na usinagem de ligas de titânio têm sido realizados. Hartung e Kramer (1982), observaram que na usinagem da liga Ti-6Al-4V com ferramentas de diamante e metal duro uma camada TiC estável foi formado entre a ferramenta e o cavaco, que eliminou deslizamento relativo que ocorre na

interface. Esta camada rapidamente tornou-se saturado com componentes de ferramentas, reduzindo o desgaste por difusão.

Dearnley e Grearson (1986), investigaram os principais mecanismos de desgaste na usinagem da liga Ti-6Al-4V quando se utiliza ferramentas a base de materiais cerâmicos e metal duro. Os resultados mostraram que ocorreram os mecanismos de desgaste adesivo, e difusão em todas ferramentas testadas.

Wang e Zhang (1988) estudaram o processo de desgaste por meio de difusão na usinagem de ligas de titânio. Foi relatado que a difusão de carbono produz a formação de uma camada rica em carbono na superfície da ferramenta, e uma camada de carbono deficiente na subsuperfície, o que resulta no enfraquecimento da superfície e subsuperfície com a fragilização da ferramenta de metal duro, provocando assim o desgaste da ferramenta.

Segundo Jawaid *et al.* (1999), observou-se que, na usinagem a seco da liga de titânio Ti-6246, ferramentas de metal duro com um tamanho de grão de 1,0µm exibiram uma melhor resistência ao desgaste de flanco devido à menor solubilidade do WC em ligas de titânio do que aqueles com um tamanho de grão de 0,68µm. A liga de titânio Ti-6246 também é uma liga do tipo $\alpha+\beta$ que após tratada termicamente possui resistência mecânica superior a liga Ti-6Al-4V e excelente resistência a corrosão.

Narutaki *et al.* (1982), após estudos realizados de desgaste em diversas ferramentas, tais como: metal duro, cermets, cerâmicas e diamantes, constatou que a ferramenta de diamante mostrou excelente desempenho na usinagem de ligas de titânio por causa de sua alta condutividade térmica, e a velocidade de corte pode ser aumentado até 3m/s em relação a velocidade de corte convencional quando aplicado lubri-refrigeração por meio de jorro.

Brookes *et al.* (1991), relataram que, durante a usinagem de ligas de titânio com ferramentas de PCD, a difusão de titânio e carbono resultou na formação de uma camada de carboneto de titânio sobre a superfície da ferramenta. Esta camada aderiu às ferramentas de PCD impedindo maior difusão.

Este trabalho visa analisar os mecanismos de desgaste de ferramentas de metal duro e de diamante sintético policristalino (PCD) no torneamento com alta velocidade de corte na liga Ti-6Al-4V, nas condições de lubri-refrigeração: a seco, jorro e Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para realização dos ensaios foi a liga de titânio Ti-6Al-4V na forma de barra cilíndrica adquirida da empresa Sandinox Comercio, Importação e Exportação Ltda nas dimensões: Diâmetro 25,4mm e comprimento de 3000 mm, com as propriedades mecânicas e composição química especificadas na Tab.1

Tabela 1. Composição Química em peso (%) da liga Ti-6Al-4V.

Composição Química em Peso (%)							
C	V	Al	Ti	O	Fe	H	N
0,03	4,18	6,12	Saldo	0,12	0,16	0,0019	0,01
Propriedades Mecânicas							
Resistência a Tração (MPa)				925			
Limite de escoamento (MPa)				876			
Alongamento (%)				17			
Redução de Área (%)				49			

Fonte: Certificado de qualidade fornecido pela empresa Sandinox Comércio, Importação e Exportação Ltda.

Os corpos de prova foram serrados e faceados com comprimento de 90 mm e usinados conforme sequência representada na Fig. 3.

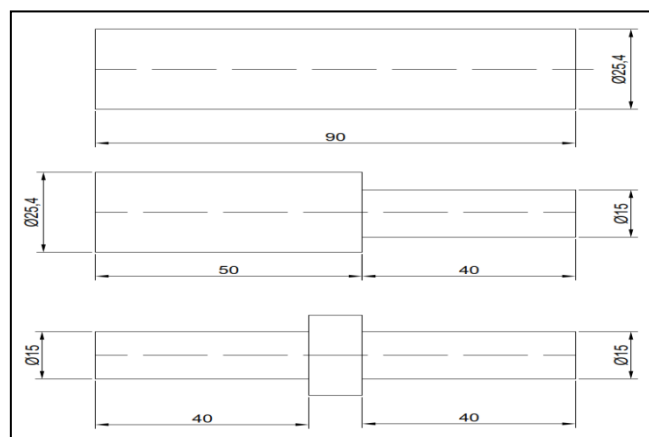


Figura 3. Dimensões do corpo de prova.

Os experimentos foram realizados no torno Romi CNC Centur 30D com placa e contra ponto pneumático, torre elétrica de 8 posições, potência de 10 KW e comando Siemens 802. Com objetivo de manter a rigidez os corpos de prova, os mesmos foram usinados somente até atingirem o diâmetro de 15 mm com objetivo de manter a rigidez do sistema. A rotação do torno foi limitada a 3800 rpm, pouco abaixo do limite máximo permitido que é de 4000 rpm.

Foi realizado réplica dos ensaios para obtenção de uma melhor confiabilidade na elaboração dos gráficos através da média aritmética dos resultados dos testes.

A ferramenta de corte e suporte intercambiável foram adquiridas do fornecedor Sandvik Coromant, seguindo as especificações recomendadas: Suporte externo SVJBR 2525M11-B1, ferramenta de metal duro sem cobertura VBM110304-KF H13A, ferramenta de PCD VCMW 110304-FP CD10.

As velocidades de corte selecionadas foram de 60, 120, 180 e 240 m/min, avanços de $f = 0,05$ e $0,10$ mm/rotação e profundidade de usinagem $a_p = 0,25$ mm.

As condições de lubri-refrigeração foram: jorro; a seco e com mínima quantidade de lubrificante (MQL). Para o método com fluido de corte por jorro foi utilizado o fluido sintético Castrol Syntilo 9902 solúvel em água na concentração de 7% em volume com a vazão de aproximadamente 25L/min indicado para usinagem de materiais ferrosos, ligas de níquel e titânio. Para a medição da concentração do fluido de corte foi utilizado um refratômetro portátil ATAGO série MASTER- α , Brix 0.0 a 33,0%. Para a aplicação da técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL) foi utilizado um equipamento aplicador Accu-Lube fornecido pela ITW-Chemical Products Ltda., utilizando o lubrificante LB 1000 fornecido pelo fabricante do equipamento, sendo que a vazão do ar foi regulada para $18 \text{ m}^3/\text{h}$ com velocidade de 126 m/s a uma pressão de 5 kgf/cm^2 . A vazão do lubrificante foi regulada para 30 mL/h .

O critério adotado para fim de vida da ferramenta foi através do desgaste de flanco máximo $VB_{B\text{máx}} = 0,6\text{mm}$ conforme recomendação da Norma ISO 3685 (1993) ou tempo de corte de 30 minutos. Para medição de desgaste da ferramenta foi utilizado microscópio ferramenteiro com aumento de 30X e resolução de $0,01 \text{ mm}$.

Os mecanismos de desgaste das ferramentas foram determinados por meio da análise de imagens obtidas através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A principal finalidade dessa caracterização foi identificar os aspectos dos mecanismos de desgaste envolvidos durante a operação de torneamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características das ligas de titânio (elevadas temperaturas de fusão, alta dureza a quente, excelentes propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão), ocasionaram intenso desgaste na ferramenta proporcionando um tempo de vida reduzido, principalmente com velocidades de corte maiores (acima de 120 m/min) nos diferentes métodos de lubri-refrigeração.

3.1. Condição de corte a seco

A Figura 4 apresenta o desgaste de flanco das ferramentas de metal duro (MD) e de PCD em função do comprimento de corte, com velocidades de corte de 60 m/min , 120 m/min , 180 m/min e 240 m/min na condição a seco e com avanço de $0,1 \text{ mm/rot.}$ e $0,05 \text{ mm/rot.}$, respectivamente. Observa-se que na velocidade de corte de 60 m/min o critério de fim de vida foi o tempo de corte aproximado de 30 minutos.

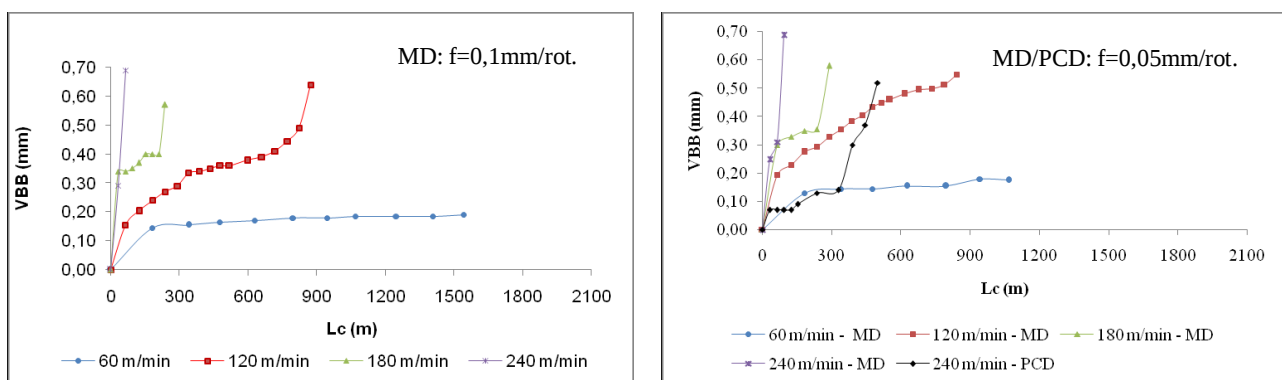


Figura 4. Desgaste de flanco (VB_B) das ferramentas de corte na condição de corte a seco com avanços de $0,1$ e $0,05 \text{ mm/rot.}$

Nas demais velocidades de 120 m/min , 180 m/min e 240 m/min , o critério de desgaste de flanco máximo foi atingido. Nota-se que na velocidade de corte de 120 m/min , e 180 m/min o comportamento do desgaste é semelhante ao descrito na literatura. Na condição de corte de 240 m/min com apenas duas passadas o desgaste atingiu rapidamente $0,69 \text{ mm}$ e comprimento de corte de apenas 63 m . Observa-se que a vida útil da ferramenta diminui drasticamente com consequente redução do comprimento de corte, à medida que a velocidade de corte aumenta.

Nas demais velocidades de 120 m/min, 180 m/min e 240 m/min, o critério de desgaste de flanco máximo também foi atingido. Percebe-se que na velocidade de corte de 240 m/min utilizando o PCD o desgaste durante o processo é menor em relação ao metal duro nas velocidades de 180 m/min e 240m/min.

As Figuras 5 e 6 ilustram os mecanismos de desgaste adesivo e *attrition* na velocidade de corte de 240 m/min. Observa-se que na velocidade de corte de 240 m/min, utilizando metal duro, o desgaste de flanco é mais intenso em relação às demais velocidades e atinge o fim de vida da ferramenta rapidamente dificultando o controle do desgaste. Em relação aos avanços $f=0,1$ mm/rot., e $f=0,05$ mm/rot., nota-se que os desgastes de flanco são idênticos nessas condições e os comprimentos de corte foram apenas 63 m e 93 m respectivamente.

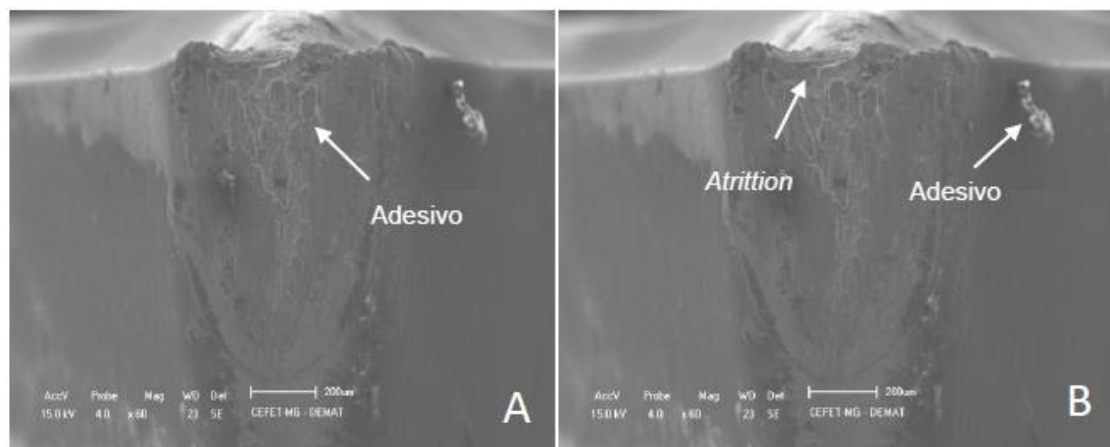


Figura 5. Aspectos do desgaste da ferramenta de metal duro H13A, a seco $v_c = 240$ m/min., $f = 0,10$ mm/rot., A) ampliação 60x; B) ampliação 120x.

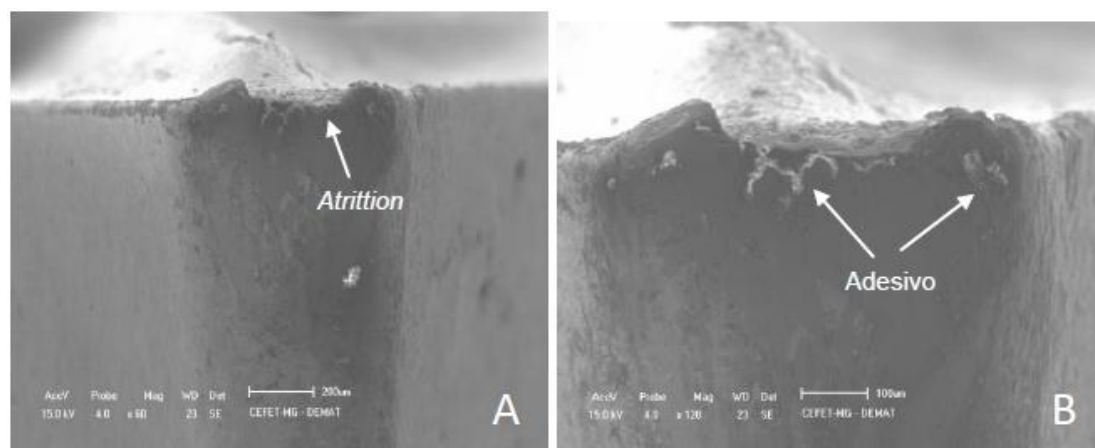


Figura 6. Aspectos do desgaste da ferramenta de metal duro H13A, a seco $v_c = 240$ m/min., $f = 0,05$ mm/rot., A) ampliação 60x, B) ampliação 120x.

3.2. Método de lubri-refrigeração por MQL

A Figura 7 exibe o desgaste de flanco da ferramenta de metal duro e de PCD em função do comprimento de corte, com velocidades de corte de 60 m/min, 120 m/min, 180 m/min e 240 m/min, utilizando a técnica de Mínima Quantidade de lubrificante (MQL), com avanço de 0,1mm/rot. Observa-se novamente que à medida que a velocidade de corte aumenta o comprimento de corte diminui e o desgaste também aumenta. Nota-se que na velocidade de corte de 60m/min o critério de fim de vida foi o tempo de corte e nas demais velocidades 120 m/min, 180 m/min e 240 m/min o desgaste de flanco máximo de 0,6 mm.

Percebe-se que com a utilização de ferramenta de PCD na velocidade de corte de 60 m/min e 120m/min, o critério de fim de vida foi o tempo de corte de aproximadamente 30min. Com velocidade de corte de 60m/min., o desgaste de flanco foi bastante uniforme em torno de 0,09 mm. Observa-se que na velocidade de 240 m/min, o PCD foi superior em 151,5% em relação ao metal duro e superior em 47,7% em relação à velocidade de corte de 180 m/min. Nota-se também que com avanço de 0,05mm/rot, os comprimentos de corte nas velocidades de corte de 180 m/min e 240 m/min, foram maiores em relação ao avanço de 0,1mm/rot., quando as ferramentas atingiram desgaste de flanco máximo de 0,6 mm.

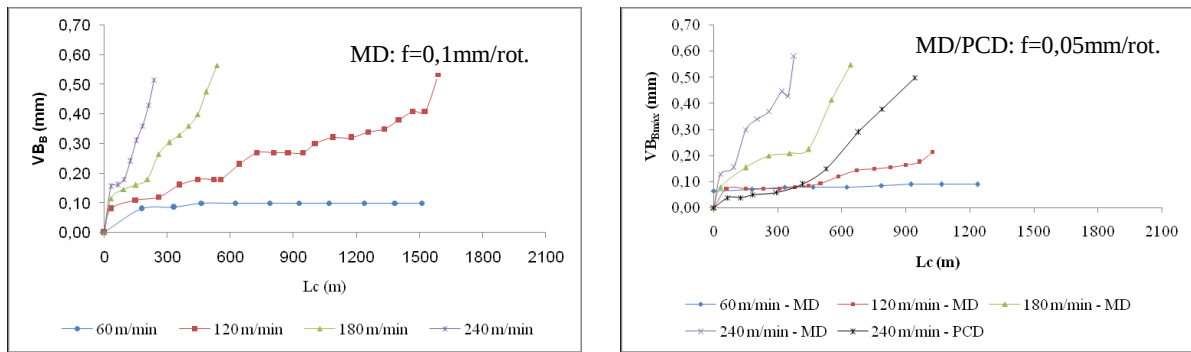


Figura 7. Desgaste de flanco (VB_B) das ferramentas de corte na condição de MQL com avanços de 0,1 e 0,05 mm/rot.

A Figura 8 ilustra os mecanismos de desgastes da ferramenta de metal duro na velocidade de corte de 240 m/min. Os desgastes são mais excessivos em relação às velocidades de corte anteriores, atingindo rapidamente o fim de vida da ferramenta e prevalecendo o mecanismo de desgaste adesivo e *attrition*.

A Figura 9 apresenta os mecanismos de desgaste da ferramenta de PCD na velocidade de corte de 240 m/min. Verifica-se que estão presentes os mecanismos de desgaste adesivo, e *attrition*. Observou-se que o desgaste por *attrition* foi intenso e os testes foram interrompidos ao atingir o desgaste de flanco de 0,50 mm a fim de manter a integridade do PCD.

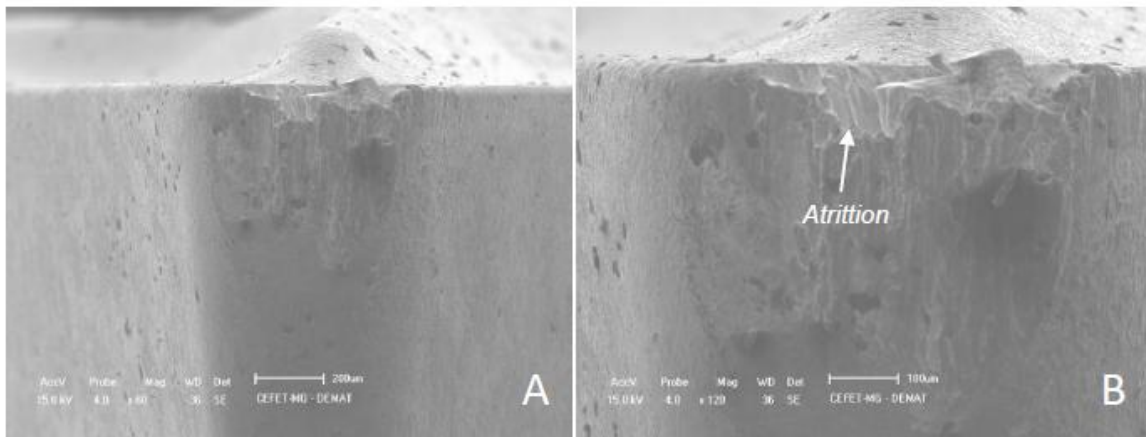


Figura 8. Aspectos do desgaste da ferramenta de metal duro H13A, com MQL $vc = 240\text{m/min}$, $f = 0,05\text{ mm/rot.}$, A) ampliação 60x, B) ampliação 120x.

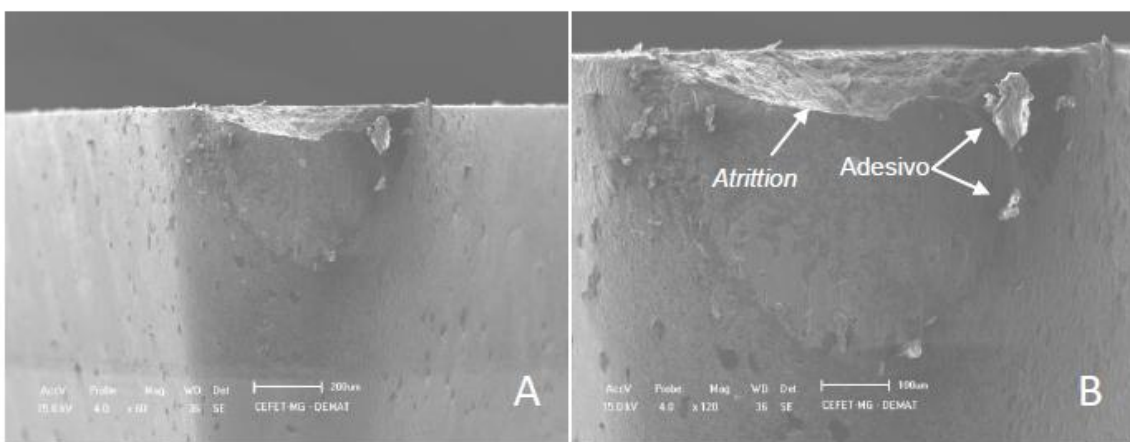


Figura 9. Aspectos do desgaste da ferramenta de PCD - CD10, com MQL $vc = 240\text{m/min}$, $f = 0,05\text{ mm/rot.}$, A) ampliação 60x, B) ampliação 120x.

3.3. Método de lubri-refrigeração por Jorro

A Figura 10 apresenta o desgaste de flanco das ferramentas de metal duro e de PCD com avanços de 0,10 mm/rot., e de 0,05 mm/rot. Observa-se também que na velocidade de corte de 60 m/min o desgaste foi uniforme (0,16mm) e o tempo de corte foi de 34,8 min.

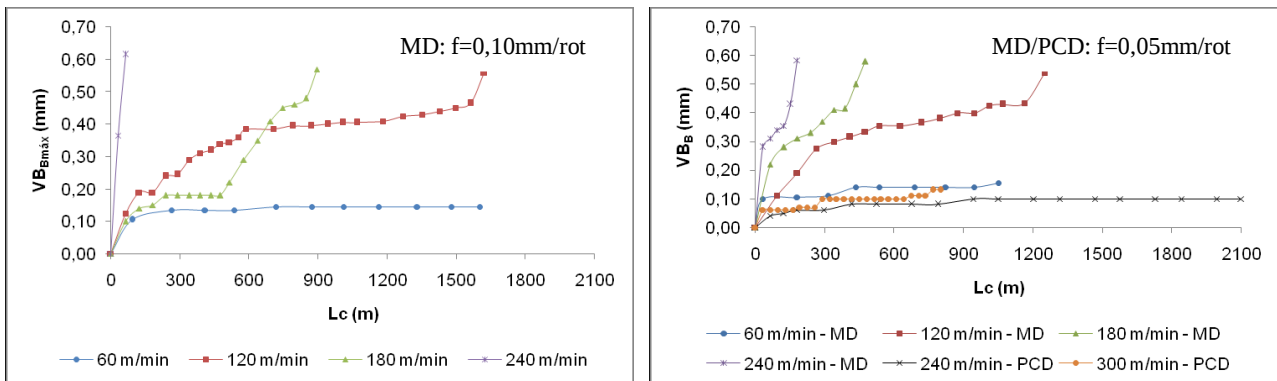


Figura 10. Desgaste de flanco (VB_B) das ferramentas de corte na condição de Jorro com avanços de 0,1 e 0,05 mm/rot.

Observa-se que na velocidade de corte de 60m/min o desgaste foi uniforme (0,13 mm) e o tempo de corte foi de 26,7 min. Em ambos os avanços com velocidade de corte de 60m/min., nota-se que o critério de fim de vida foi atingido pelo tempo aproximado de 30min, com comportamento semelhante em relação ao desgaste. Nas velocidades de corte de 120m/min e 180m/min com avanço de 0,10mm/rot, o desempenho foi melhor em relação à mesma velocidade de corte com avanço de 0,05mm/rot.

Novamente percebe-se o excelente desempenho da ferramenta de PCD nas velocidades de corte de 240 m/min e 300 m/min em relação à ferramenta de metal duro com valores de comprimentos de corte bem superiores.

As Figuras 11 e 12 ilustram os mecanismos de desgaste na velocidade de corte de 180m/min, prevalecendo os desgastes adesivo, abrasivo e *attrition*. Observa-se que com avanço de 0,05 mm/rot., a intensidade do desgaste é menor em relação ao avanço de 0,10 mm/rot.

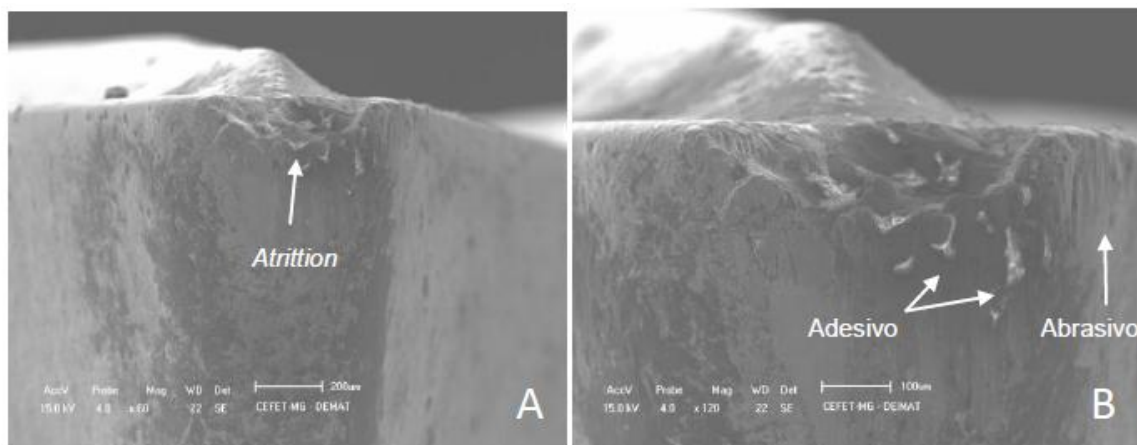


Figura 11. Aspectos do desgaste da ferramenta de metal duro H13A, com jorro $vc = 180$ m/min, $f = 0,10$ mm/rot., A) ampliação 60x B) ampliação 120x.

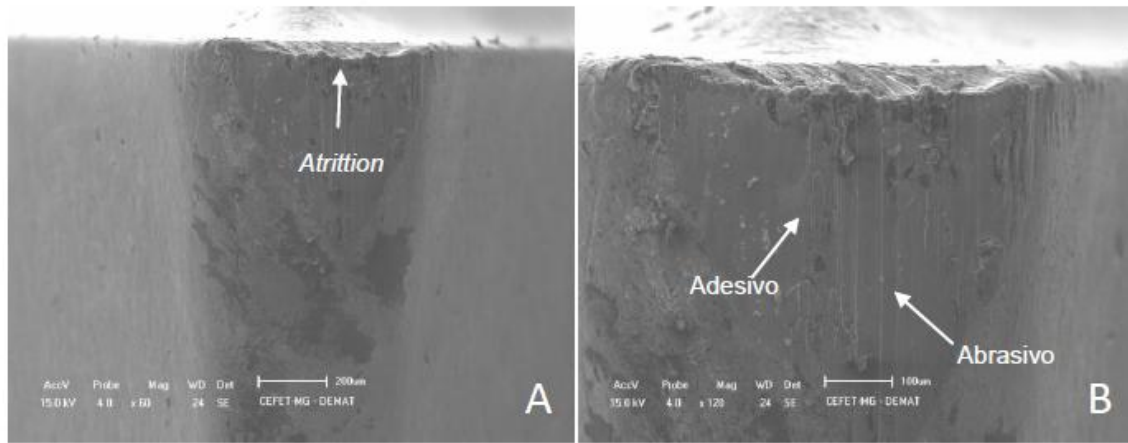


Figura 12. Aspectos do desgaste da ferramenta de metal duro H13A, com jorro $vc = 180\text{m/min}$, $f = 0,05\text{mm/rot}$, A) ampliação 60x, B) ampliação 120x.

No geral, em todas as condições de lubri-refrigeração e parâmetros de corte, os desgastes que ocorreram nas ferramentas de metal duro e PCD, não são provenientes de um único mecanismo de desgaste, mas sim de uma combinação de vários deles. Os mecanismos de desgaste predominantes foram adesivo, abrasivo e *attrition* (adesão com arrastamento). É também possível que nas velocidades de corte de 240m/min e 300m/min tenha ocorrido difusão, devido a altas temperaturas geradas, com a formação do TiC, entretanto este mecanismo não foi comprovado.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se para análise dos mecanismos de desgaste de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte na liga Ti-6Al-4V sob diversas condições de lubri-refrigeração que:

- As condições de lubri-refrigeração influenciaram de maneira considerável nas variáveis analisadas;
- Os mecanismos de desgaste predominantes nas ferramentas de corte foram adesivo, abrasivo e *attrition* (aderência e arrastamento), sendo que o desgaste adesivo ocorreu na maioria das ferramentas de corte utilizadas;
- A baixa condutividade térmica e o baixo módulo de elasticidade ocasionaram instabilidade na formação dos cavacos, altas tensões de compressão, induziram altas temperaturas geradas na região de corte e oscilações no processo de corte;
- A velocidade de corte de 60 m/min propicia boa estabilidade no corte nos dois avanços testados, isto é, menor variação dos valores de desgaste nos parâmetros analisados;
- Em geral, a ferramenta de metal duro teve um desempenho satisfatório nas velocidades de corte de 60 m/min e 120 m/min nos dois avanços avaliados, nas condições de corte a seco e por jorro;
- Em geral, o avanço de 0,10 mm/rot. apresentou desempenho inferior quanto ao desgaste, quando comparado com o avanço de 0,05 mm/rot, nas condições de corte a seco e por jorro;
- A ferramenta de PCD apresentou excelente desempenho em relação ao desgaste em comparação a ferramenta de metal duro nas velocidades de corte de 240 m/min e 300 m/min, em todas as condições de lubri-refrigeração;
- O método de lubri-refrigeração por jorro foi o mais eficiente, seguido dos métodos MQL e depois a seco em relação ao desgaste x comprimento de corte usinado;
- A ferramenta de PCD possui um custo aproximadamente trinta vezes maior que a ferramenta de metal duro, contudo seu desempenho em altas velocidades de corte foi cerca de oito vezes superior, em média, em comparação com o metal duro. Além disso, os inserts de PCD podem ser reafiados e um acabamento superficial de melhor qualidade foi obtido.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro de auxílio à pesquisa, pelas bolsas de Iniciação Científica e de Produtividade em Pesquisa.

Ao CEFET-MG pelo financiamento da bolsa de mestrado e auxílio à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Brookes, C.A., James, R.D., Nabbani, F., 1991, "Turning aerospace titanium alloys", Departament of Mechanical Engineering, National Institute of technology, Harmirpur HP India, IDR 36, pp. 89-893.
- Dearlenley, P.A., Gearson, A.N., 1986, "Evaluation of principal wear mechanisms of cemented carbides and ceramics used for machinig titanium alloy", IMI318, Mater. Sci. Technol. 2, pp. 47-58.
- Hartung, P.D., Kramer B.M., 1982, "Tool wear in titanium machining", CIRP 31 (1), pp. 75-80.
- Jawaid, A., Che-Haron C.H., Abdullah A., 1999, "Toolwear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246", Mater. Process. Technol. 92-93, pp. 329-334.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B., 2009, "Teoria da usinagem dos materiais", 1. ed. Blucher, São Paulo, 371p.
- Narutaki, N., Murakoshi, A., Motonishi, S., Take-yama, H., 1982, "Study on Machining Titanium Alloys", CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 32, No. 1, pp. 65-69.
- Trent, E.M., Wright, P.K., 2000, "Metal Cutting", 4. ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 446p.
- Wang, M., Zhang, Y.Z., 1988, "Diffusion wear in milling titanium alloys", Mater.Sci. Technol. 4, pp. 548-553.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

TOOL WEAR MECHANISMS IN HIGH SPEED TURNING CUTTING IN ALLOY Ti-6Al-4V

Leonardo Roberto da Silva, lrsilva@deii.cefetmg.br
Odilon Soares da Silva, odilonsilva@deii.cefetmg.br
Arthur Hermsdorff Cezar, arthurhcezar@hotmail.com
Francisco Vieira dos Santos, franvds5@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG - Campus I - Departamento de Engenharia de Materiais - DEMAT. Avenida Amazonas, 5253. Nova Suíça. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Abstract. *The High Speed Machining have been increasingly important, since the machining influences a lot on the final cost of mechanical parts. Therefore, the development and supply of technologies for very high feed rates and cutting speeds have been more valued. This work aimed to analyze the wear mechanisms of PCD (polycrystalline diamond) and carbide cutting tools in the high speed turning of Ti-6Al-4V alloy, using cutting fluids or not. To do this, firstly a toolmaker microscope was used to measure the tools maximum flank wear ($VB_{Bmáx}$) and then images of these tools were obtained by Scanning Electron Microscope (SEM) in order to identify the wear mechanisms. The results showed that the conditions of cooling-lubrication influenced considerably on the analyzed variables. Furthermore, the flank wear was the mainactive wear and the predominant wear mechanisms on the inserts were abrasion, adhesion and attrition, as the adhesive wear occurred in all of the cutting tools. It was also concluded that the cutting speed and the feed rate significantly influenced on the wear behavior.*

Keywords: Ti-6Al-4V alloy, cutting fluids, high speed turning, cutting tools, wear mechanisms.