



## ASPECTOS DA USINAGEM DA LIGA TI-6AL-4V

### Marcos R. V. Moreira

Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[mzenga@ppgem.fauenquil.br](mailto:mzenga@ppgem.fauenquil.br)

### João R. Ferreira

Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[jorofe@iem.efei.br](mailto:jorofe@iem.efei.br)

### Marcos Valério Ribeiro

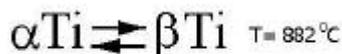
Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[mvalerio@demar.fauenquil.br](mailto:mvalerio@demar.fauenquil.br)

**Resumo.** *Indústrias aeronáuticas fabricam componentes de motores com ligas de titânio, ligas de níquel e aços inoxidáveis especiais. Elas se caracterizam por um grande custo na fabricação destas peças usinadas e um dos grandes motivos deste elevado custo é o custo hora/máquina. Por este motivo é interessante diminuir os tempos de usinagem das peças pois os custos na indústria aeronáutica são mais elevados do que nas indústrias convencionais. A escolha da ferramenta adequada para uma determinada operação e a determinação correta das condições de usinagem, representam um papel importante no trabalho com metais. Isso se acentua na produção seriada, onde divergências na escolha da velocidade de corte e ferramenta podem acarretar variações notáveis nos custos de fabricação. Neste trabalho foi analisado custo e produtividade na usinagem da liga Ti-6Al-4V, através de torneamento cilíndrico externo, em operações de acabamento, utilizando pastilhas de metal duro VBMT 110204 – UF classe ISO M15 e suporte SJVBL 1616H11 (Sandvik). Cálculos relativos ao comprimento de corte, a velocidade de corte, aos coeficientes  $x$  e  $K$  de Taylor,  $v_{mxp}$  e custos foram realizados com o auxílio de softwares desenvolvidos no laboratório de estudo da usinagem – LEU. Também foram investigados os efeitos da velocidade nos mecanismos de desgaste da ferramenta.*

**Palavras-chave:** Usinagem, titânio, otimização

## 1. INTRODUÇÃO

O titânio possui uma estrutura cristalina hexagonal compacta (HC), chamada fase  $\alpha$  a temperatura ambiente. Esta estrutura se transforma alotropicamente para cúbica de corpo centrado (CCC), chamada fase  $\beta$  à temperatura de 882°C (Donachie, 1987).



A adição de elementos alfa-gênicos (Al, Ga, Sn) aumenta a temperatura de transformação alotrópica e a adição de elementos beta-gênicos (V, Nb, Ta) reduzem a temperatura de transformação alotrópica. Através de tratamento térmico e adição de elementos de liga, pode-se

obter grandes variações na microestrutura do material e conseqüentemente alterar significativamente suas propriedades. Devido à sua alta relação resistência/peso, o titânio é amplamente utilizado na fabricação de avançados equipamentos industriais, utilizados na geração de energia e no transporte. Quando não ligado representa 25% do seu mercado sendo que 75% de toda a produção mundial é consumido pela indústria aeronáutica (Hein, 1993).

Genericamente falando, as ligas de titânio são usadas a até 500 °C e, portanto, suas aplicações típicas nos motores turbo-jatos são em peças do compressor. Levando-se em consideração a liga bifásica ( $\alpha$ +B) Ti-6Al-4V, podem ser identificados dois tipos de evolução: o primeiro melhorou a resistência à fluência e o segundo melhorou a resistência mecânica e a resistência à fadiga de baixo ciclo (Vigneau, 1997).

A usinagem da liga de titânio é dificultada basicamente devido a sua alta afinidade química e a sua baixa condutividade térmica (7,3 W/m K) gerando alta temperatura (Bhaumik et al., 1995). Do calor gerado, cerca de 80% fica retido na ferramenta e 20% no cavaco (Ezgwwo et al., 1997). O uso de aço rápido, por exemplo, é limitado pela rápida craterização, (Bhaumik et al., 1995). Segundo Vigneau (1997), o torneamento das ligas de Ti, não tem sido melhorado pelo uso de ferramentas de cerâmica devido à alta reatividade química entre o titânio e a cerâmica, sendo ainda o melhor material o metal duro (WC/Co) sem cobertura como a ferramenta mais eficaz (López de Lacalle, et al. 1998). Para o torneamento contínuo o carbetto sinterizado representa a melhor ferramenta correntemente avaliada (Dearnley, 1986). Sialon,  $Al_2O_3-ZrO_2$  e  $Al_2O_3-TiC$  não são apropriados para o torneamento das ligas de titânio (Dearnley, 1986). As ferramentas de diamante ou CBN permitem velocidades de corte de cerca de 150 m/min, mas a vida não é suficientemente longa para tornar o processo economicamente rentável, devido ao excessivo desgaste de flanco, não sendo esta ferramenta indicada para usinar titânio (Narutaki et al., 1983).

A indústria aeronáutica se caracteriza por um grande custo na fabricação destas peças usinadas e um dos grandes motivos deste elevado custo é o custo hora/máquina. Por este motivo é interessante diminuir os tempos de usinagem das peças e aumentar o uso de ferramentas, pois os custos hora na indústria aeronáutica são mais elevados do que nas indústrias convencionais (López de Lacalle et al., 1998).

Apesar do aumento da produção do titânio e suas ligas, o seu processamento não é tão expansivo quando comparado com muitos outros metais, devido à dificuldade de fundir e usinar. Forjamento, por exemplo, pode ser introduzido para reduzir o custo dos componentes de titânio, entretanto, muitas peças de titânio ainda são fabricadas pelo processo convencional de usinagem para garantir que, durante a manufatura, a microestrutura do material não ocorra a criação de microtrinca e outras falhas estruturais. O crescimento da aplicação da liga ( $\alpha$ + $\beta$ ) em várias áreas da engenharia incentiva a realização de algumas análises sobre a otimização de suas condições de usinagem. Assim sendo, uma das maneiras de se otimizar a produção diária de peças seria a diminuição dos tempos de usinagem. No caso específico da indústria metal-mecânica, otimizar as condições de produção significa reduzir os tempos de fabricação de peças e os tempos de montagem dos sistema como um todo. Neste aspecto, de acordo com Vilella (1988), cabe ressaltar que há atualmente uma tendência na redução dos tempos de espera e dos tempos de preparação das máquinas/ferramenta, aumentando assim a participação dos tempos em que a peça permanece dentro da máquina (tempos de troca da ferramenta, tempos passivos e tempos de usinagem) no tempo total de fabricação. Confiabilidade e previsibilidade de desempenho são também importantes na escolha das ferramentas de corte. A habilidade de predizer, com precisão e eficiência, o desempenho da ferramenta durante a operação de usinagem, reduz significativamente o custo de usinagem, o qual às vezes pode ser tão alto quanto 70% do custo total de fabricação (Ezgwwo et al., 1995).

A análise de custo foi baseada nos estudos realizados por Ferraresi (1977) e Coppini e Ribeiro (1995) através das Eqs. (1), (2), (3) e (4).

$$v_{mxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{(x-1)t_{ft}}} \quad (1)$$

$$T = \frac{K}{v_c^x} \quad (2)$$

$$x = \frac{\log\left(\frac{lc_i}{lc_{i+1}}\right)}{\log\left(\frac{vc_{i+1}}{vc_i}\right)} + 1 \quad (3)$$

$$K = lc_i \cdot vc^{x-1} \quad (4)$$

## 2. TESTES

O objetivo deste trabalho é determinar as melhores condições de corte da liga de titânio (Ti-6Al-4V) em operações de acabamento, através da variação dos parâmetros de usinagem, o que leva a modificações no comportamento da vida da ferramenta, pois os mecanismos de desgaste atuantes na ferramenta variam em função das modificações no processo. Uma das análises do processo que permite a redução destes tempos é através da escolha correta da ferramenta, da utilização da velocidade corte coerente com a capacidade da máquina-ferramenta, da utilização adequada do fluido de corte, etc. (Vilella, 1988). Esta correlação entre vida e otimização do processo é muito importante, pois o fator custo adquire um caráter de extrema importância neste cenário de intensa competitividade no qual qualidade e produtividade são itens fundamentais. Para a realização dos testes foram utilizados parâmetros de corte recomendado nos catálogos do fabricante de ferramenta com pastilhas de metal duro sem cobertura. A usinagem foi realizada sem a utilização de fluido de corte. Segundo Narutaki et al. (1997), as vantagens de usinar a seco são: custo menor, meio ambiente fabril mais saudável, segurança ao trabalhador, etc. Um estudo conduzido pela Daimler-Crysler AG afirma que os custos com fluido de corte podem chegar a 17%, sendo que apenas 2 a 4% dos custos totais de produção são representados pela ferramenta (Novaski e Dörr, 1999).

Os ensaios de usinagem foram realizados no Laboratório de Engenharia Mecânica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). A máquina utilizada para os ensaios foi um torno CNC, marca Nardini, modelo Logic 175, rotação máxima 4000 rpm, potência de 7,5 CV. A velocidade de corte recomendada pelo fabricante para um avanço de 0,1 mm/volta, é de 70 m/min. (Sandvik, 2000). As medidas de rugosidade foram defasadas em 120 graus no corpo de prova utilizando um rugosímetro portátil SurfTest SJ-201 da Mitutoyo (DEMAR). A rugosidade foi o critério de fim de vida da ferramenta estipulado em  $Ra_{máx} = 0,9 \mu m$ . A ferramenta utilizada foi o metal duro (WC/Co) VBMT 110204-UF classe H13A (Sandvik).

Na figura (1) é apresentada a micrografia da liga utilizada nos ensaios. Observa-se a fase  $\alpha$  com grãos alongados circundados pela fase  $\beta$  intergranular.

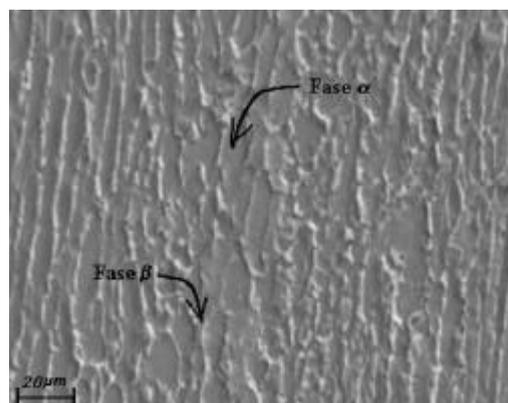


Figura 1. Micrografia da liga utilizada nos ensaios.

Para iniciar os ensaios optou-se por trabalhar com velocidade de corte inicial de 55 m/min. e aumentando gradativamente a velocidade de corte com monitoramento da variação da rugosidade da peça. Na figura (2) é mostrada a influência da velocidade na rugosidade onde se observa que a usinagem com velocidade de corte de 100 e 110 m/min obedece o critério de fim de vida adotado. A tendência de diminuição da rugosidade com o aumento da velocidade até 110 m/min. Para usinagem a 120 m/min a rugosidade tende a aumentar, o que indica que a ferramenta está usinando acima de sua condição. Baixas velocidades de corte não produzem um bom acabamento superficial.

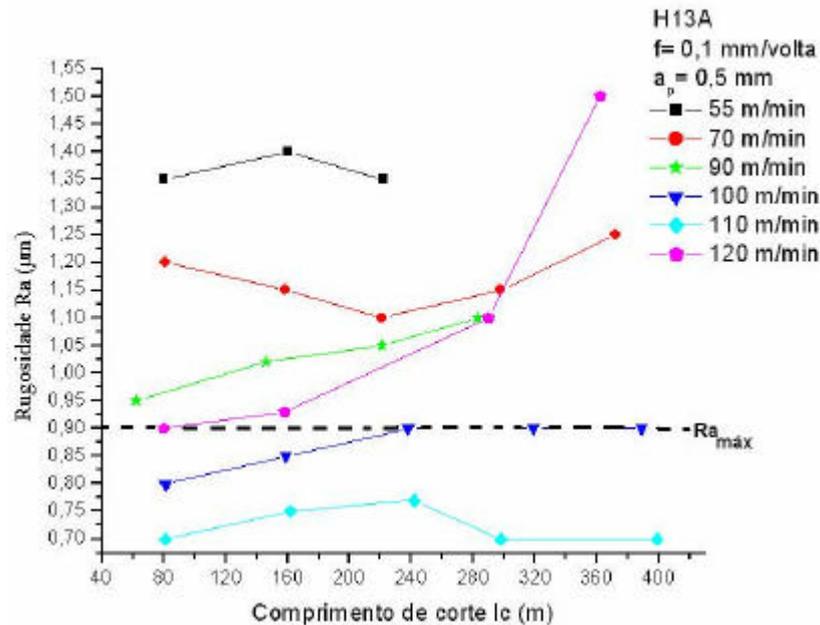


Figura 2. Rugosidade da peça em função do comprimento de corte.

### 3. ANÁLISE DE CUSTOS

Para a análise de produção e custos, foi considerado uma peça hipotética de comprimento de corte  $lc = 35$  m. Apesar das condições de usinagem (velocidades de 55, 70 e 90 m/min) não estarem dentro do critério estabelecido ( $Ra = 0,9 \mu m$ ), foram realizados os análises de custos e produção em todas as condições de velocidade para efeito de comparação. Os cálculos do custo tradicional foi realizado pelo *software* C.A.T.A (*Computer Aided Technical Assistance*) desenvolvido por Ribeiro, 1999. Os tempos improdutivos (aproximação e afastamento da ferramenta) e de manuseio (colocação, fixação e retirada da peça) foram determinados através de uma média das aferições realizadas em cada ensaio. Vale destacar que este tempo medido pode variar em função do operador.

Na tabela (1) é apresentada a simulação de tempos e custos para todas as condições testadas. Observa-se que além de estar fora das especificações de rugosidade, as três condições iniciais de velocidade apresentam um custo maior e uma produtividade menor, quando comparado com as três condições seguintes. A usinagem com velocidade de corte de 110 m/min apresentou a melhor condição de corte em termos de acabamento bem como pela análise de custo por peça (\$2,79) com produção horária de 45 peças. Pode-se constatar que há um aumento na produção horária da ordem de 11,5% e diminuição do custo de usinagem por peça da ordem de 25% para velocidade de 110 m/min quando comparado com a condição do fabricante (70 m/min) que apresentou um acabamento superficial inferior ( $Ra = 1,4 \mu m$ ) à melhor condição testada (110 m/min) que obteve um acabamento superficial  $Ra$  de  $0,7 \mu m$ .

Tabela 1: Tempos, custos e produção horária para as velocidades testadas.

ITEM	55 m/min	70 m/min	90 m/min	100 m/min	110 m/min	120 m/min
Tempo de corte $t_c$ (min)	0,64	0,5	0,39	0,35	0,31	0,29
Tempo de fabricação/peça $t_f$ (min)	1,64	1,5	1,39	1,35	1,31	1,29
Custo de usinagem/peça (\$)	4,1	3,11	3,28	2,81	2,79	2,86
Produção horária Ph (Peças/hora)	36	40	43	44	45	46

A produtividade aumenta com o aumento da velocidade, fig. (3a) com diminuição dos custos por peça, fig.(3b).

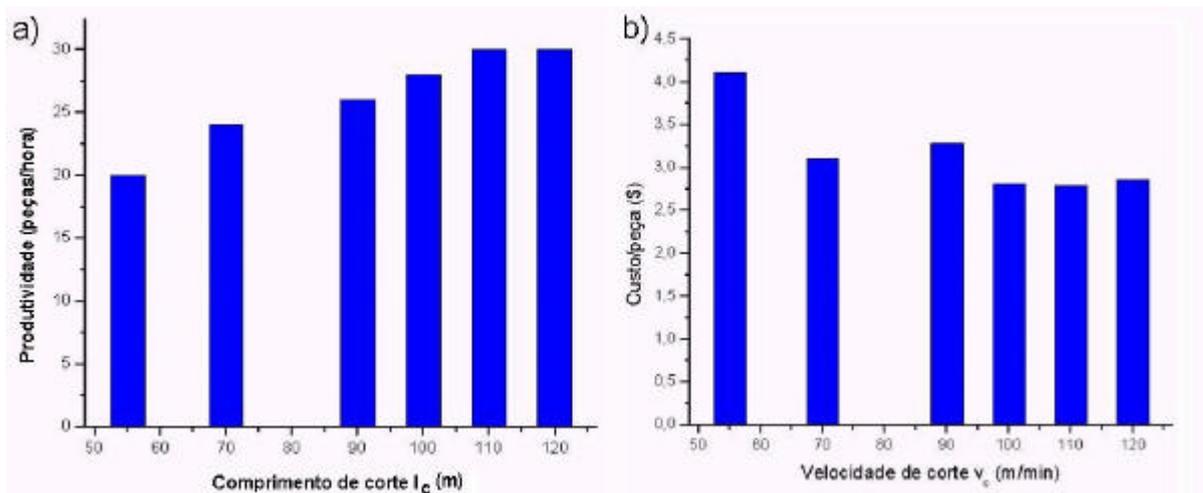


Figura 3. a)Produtividade em função da velocidade. b)Custos em função da velocidade.

#### 4. DESGASTE DA FERRAMENTA

Pode-se observar nas figs. (4a), (4b) e (4d) que a aresta de corte sofreu grandes modificações em sua geometria com lascamento em muitas regiões. Inicialmente ocorre o processo abrasivo seguido da adesão e difusão. Com a remoção do cavaco aderido na ferramenta parte desta é removida formando lascas, fig. (4b).Observa-se na fig (4c) a formação de entalhes.

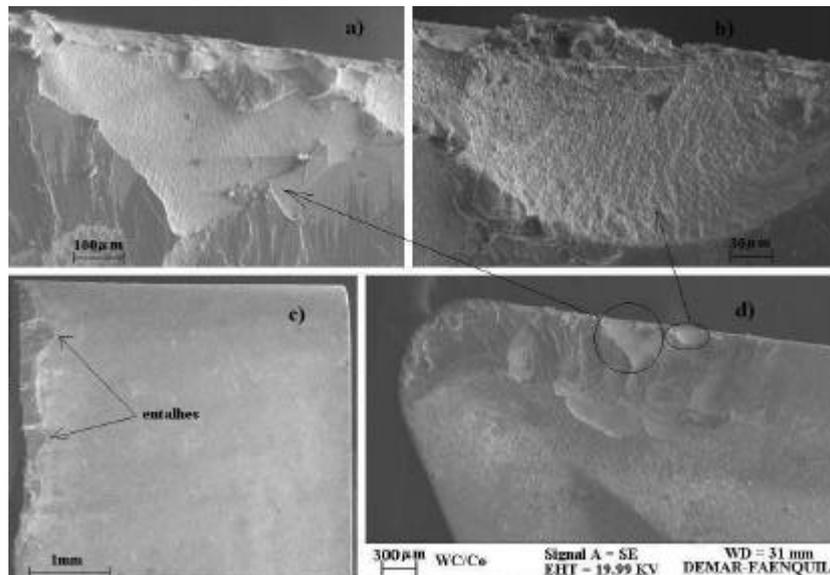


Figura 4. a, b, d) Detalhes da superfície de saída. c) Detalhes da superfície de folga.  
 $v_c=90$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm

Observa-se na fig (5) que para velocidade de corte de 70 m/min o efeito abrasivo do cavaco na superfície de saída da ferramenta favorecendo a craterização. Não foi verificado nesta condição a tendência ao lascamento ou outro desgaste na ferramenta que necessite de uma melhor investigação, além das apresentadas na superfície de saída da ferramenta. Apesar da liga de titânio apresentar ponto de fusão de 1640 °C e as temperaturas obtidas nos ensaios serem bem menores, conclui-se que a deposição de cavaco fundido na ferramenta se deve ao fato que em operações de acabamento forma-se cavacos finos, ou seja, em função da superfície de contato, o calor gerado é suficiente para o cavaco fundir sobre a ferramenta.

O cavaco em contato com a superfície da ferramenta causa uma pequena reação química (difusão) e esta reação é um dos responsáveis pelo desgaste da ferramenta.

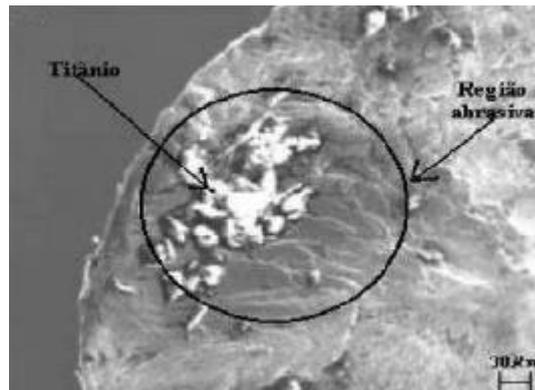


Figura 5. Detalhes da superfície de saída da ferramenta usinada  $v_c=70$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm

A velocidade de 90 m/min teve uma influência muito significativa no desgaste da ferramenta onde foi observado uma profunda craterização em toda superfície de saída da ferramenta fig. (6a), a deterioração da aresta de corte fig. (6b) e a presença de lascamento fig. (6c), que, além de provocar um aumento excessivo na rugosidade final da peça, é um indício de que a ferramenta está operando próximo do rompimento.

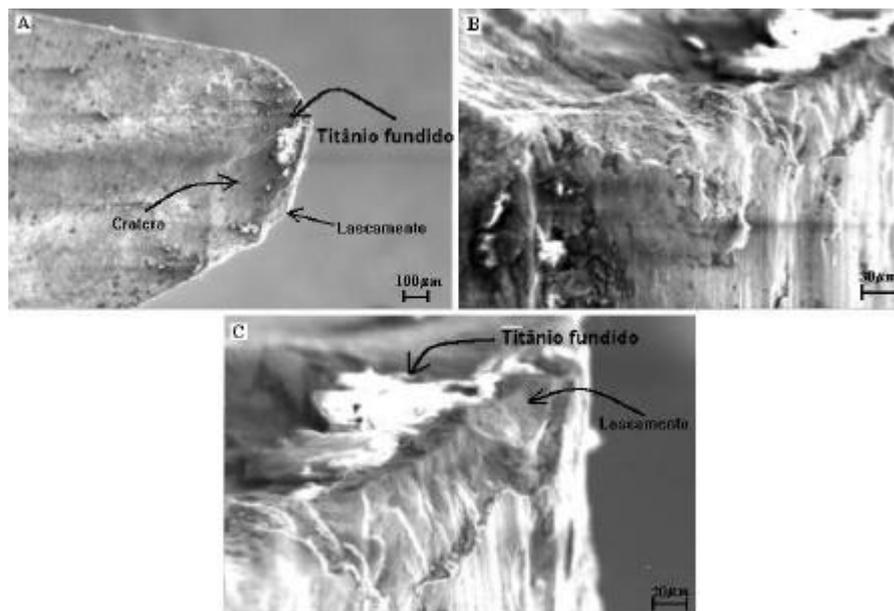


Figura 6. Micrografia da ferramenta desgastada  $v_c=90$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm

Na figura 7a é mostrada a tendência a craterização devido à deposição de titânio na ferramenta. Nesta condição (100 m/min) houve a formação de entalhes, fig. (7b).

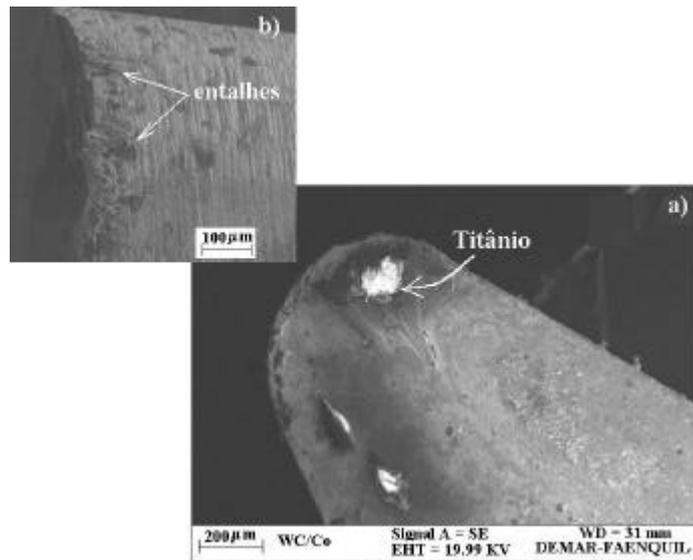


Figura 7. Detalhes da ferramenta desgastada  $v_c=100$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm.

Com o aumento da velocidade de corte, a temperatura de corte se eleva a um nível no qual a aderência do cavaco ocorre sobre a aresta da ferramenta.

Usinando a velocidade de corte de 110 m/min observa-se um grau de deterioração maior na aresta de corte. Na figura (8<sup>a</sup>) observa-se a adesão mais acentuada de cavaco fundido na aresta de corte como em pequenos segmentos. Na figura (8b), a linha imaginária mostra a camada removida da aresta. Foi observado nesta condição um desgaste de flanco (0,5 mm), o que até então não havia sido observado, fig. (8c).

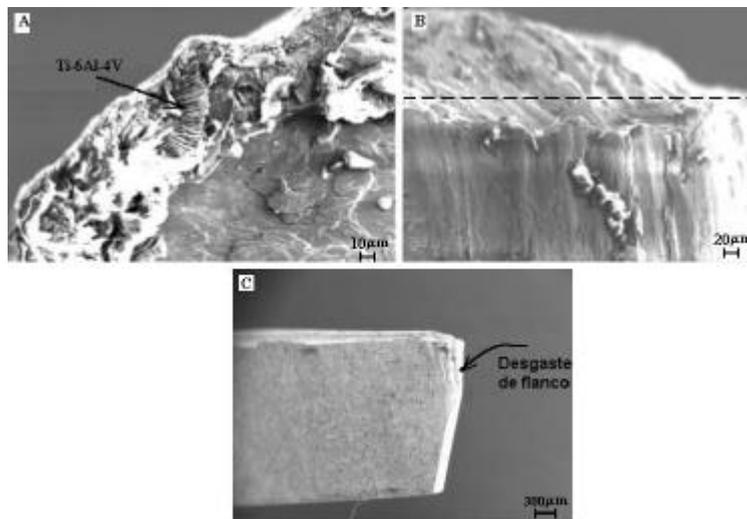


Figura 8. Micrografia da ferramenta desgastada  $v_c=110$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm.

Na figura (9a) é mostrado o desgaste da ordem de 0,3 mm na superfície de folga da ferramenta, similar a todas as condições testadas. Entretanto, observa-se na fig. (9b) que toda aresta da ferramenta apresentou desgaste.

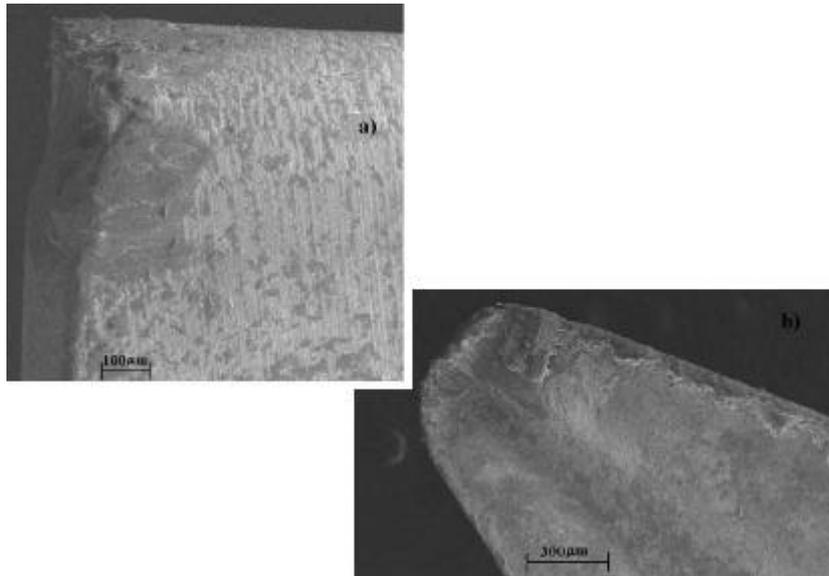


Figura 9. Detalhes da ferramenta desgastada  $v_c=120$  m/min,  $f=0,1$  mm/volta,  $a_p=0,5$  mm

É mostrado na fig. 10a um cavaco segmentado obtido na usinagem do titânio. Na figura 10b são mostradas com detalhes as bandas de cisalhamento primário e secundário formadas no corte do metal. Pode-se observar que o cavaco é dividido dentro de seu segmento por bandas que são camadas muito finas com extrema deformação de cisalhamento. A formação do cavaco segmentado é independente da velocidade de corte e avanço (Komanduri et al., 1983).

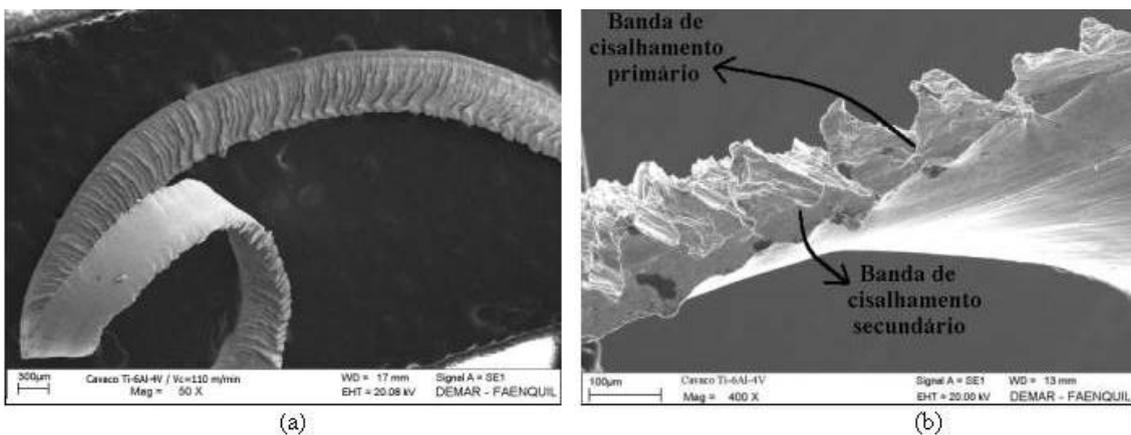


Figura 10: a) Cavaco obtido na usinagem do titânio. b) Detalhes das bandas de cisalhamento

## 5. CONCLUSÕES

Sumarizando os resultados acima, algumas conclusões podem ser obtidas:

- A velocidade de corte tem influência positiva na qualidade superficial da peça. Neste caso, as melhores condições de acabamento foram obtidas usinando a 100 (0,9  $\mu\text{m}$ ) e 110 m/min. (0,7  $\mu\text{m}$ );
- A produtividade das ferramentas aumenta com o aumento da velocidade de corte até um valor ótimo de 46 peças/hora a um custo de \$ 2,86.
- A condição mais favorável em relação a custos é:  $v_c= 110$  m/min,  $f=0,1$  mm/voltas,  $a_p=0,5$  mm. A condição mais desfavorável em relação a custos é:  $v_c= 55$  m/min,  $f=0,1$  mm/voltas,  $a_p=0,5$  mm, que está acima dos critérios de rugosidade pré-estabelecido.
- A liga de titânio (Ti-6Al-4V) é um material de difícil usinabilidade devido às suas propriedades tais como elevada resistência mecânica, abrasividade além da alta reatividade química com as ferramentas de corte à temperatura acima de 500 °C.

Entretanto, os testes foram realizados a seco e os resultados foram muito satisfatórios como pode ser observado, vindo de encontro com a tendência atual de se trabalhar com a mínima quantidade de fluido de corte ou de preferência a seco, devido às restrições impostas pelas atuais legislações ambientais além do fator econômico (redução de custos);

- A forte tendência a deposição de material fundido sobre a ferramenta favorece o mecanismo de difusão, que envolve a passagem de material em níveis atômicos de um material para outro. Comprovar que a difusão tenha sido o mecanismo predominante para o desgaste da ferramenta, necessita de melhor investigação através de simulação para que se possa determinar qual a cinética da reação, uma vez que pode ser verificado titânio aderido na ferramenta, porém não foi possível verificar a presença de material da ferramenta no cavaco, o que extrapola o escopo deste trabalho;
- O cavaco formado é do tipo segmentado (dente de serra), com formação das zonas de cisalhamento primário e secundário.

## 6. AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio financeiro; à Sandvik Coromant do Brasil pelas ferramentas e ao Laboratório de Automação da Manufatura da EFEI pelo apoio técnico.

## 7. REFERÊNCIAS

- Bhaumik, S.K. and Singh, A.K., *Mat. & Des.*, 16 (1995) 221.
- Coppini, N.L., Ribeiro, M.V., “Assistência Técnica Assistida por Computador aplicada na seleção de ferramentas e parâmetros de usinagem”, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 13, 1995, Belo Horizonte/MG. Anais do XIII COBEM: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995.
- Dearnley, P.A. Gearson, A.N. Evaluation of principal wear mechanisms of cemented carbides and ceramics used for machining titanium alloy IMI 318. *Materials Science and Technology*, January, 1986. Vol.2, n.47.
- Donachie, M.J.Jr., *A Technical Guide*, ASM International Metals Park, OH 44073, U.S.A , 1987.
- Ezugwo, E., Arther, S.J., Hines, E.L., Tool-wear prediction using artificial neural networks, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 49, No.3-4, pp.255-264, Feb., 1995.
- Ezugwo, E.O., Wang, Z.M., Titanium alloys and their machinability, *Journal of Materials Processing Technology*, v.68, p.262-274, 1997.
- Ferraresi, D. “Fundamentos da Usinagem dos Metais.”, 1ª ed.; São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977, 751 p.
- Hein, L.R.O., Efeitos da deformação a frio sobre o comportamento mecânico da liga Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 1993. p124, tese (Mestrado).
- Lopez de Lacalle, L N, Llorente, J.I., Sánchez, J.A., 1998, Improving the cutting Parameters the machining of Nickel and Titanium alloys, *Annals of the CIRP vol. 47 CD-ROM*
- Narutaki, N.; Murakoshi, A; Study on machining of titanium alloys, *Annals of the CIRP*, v.32, n.1, p.65-69, 1983.
- Narutaki, N., Yamane, Y., Tashima, S., Kuroki, H., 1997, “New advanced ceramic for dry machining”, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Vol.46, No. 1, pp. 43-46.
- Novaski, O., Dörr, J., “Usinagem quase a seco”, *Máquinas e Metais*, No.406, pp.34-41, no0n., 1999.
- Ribeiro, M. V., “Otimização das Condições de Corte Assistida por Computador Durante o Desenvolvimento do Processo”, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 1999, 138 p. Tese de Doutorado.

- Sandvik Coromant, “Produtos para usinagem-Ferramentas para torneamento”, Catálogo de ferramentas para torneamento, Sandvik do Brasil AS – divisão Coromant, abril, 2000.
- Vigneau, J., Obtendo alta produtividade na usinagem de ligas de titânio e super ligas. Maquinas e Metais, n. 380, p. 16-32, setembro 1997.
- Vilella, Ronaldo de Castro. Metodologia prática visando a otimização das condições de usinagem em células de fabricação. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 1988. 105 p. Tese (Mestrado).

## 8- AUTHORS

### **Marcos R. V. Moreira**

Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[mzenga@ppgem.fauenquil.br](mailto:mzenga@ppgem.fauenquil.br)

### **João R. Ferreira**

Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[jorofe@iem.efei.br](mailto:jorofe@iem.efei.br)

### **Marcos Valério Ribeiro**

Departamento de Engenharia de Materiais – FAENQUIL  
C.P. 116, CEP 12600-000, Lorena, SP – Brasil  
[mvalerio@demar.fauenquil.br](mailto:mvalerio@demar.fauenquil.br)

## ***ABSTRACT***

*Aeronautical industries manufacture components of engines with titanium alloys and stainless alloys. They characterize for a great cost in the manufacture of these workpiece and of the great reasons of this high cost is the time/machine cost. For this reason it is interesting decrease the times of machining of the workpiece therefore the costs in the aeronautical industry more are raised of the one than in the conventional industries. The choice of the tool adjusted for one determined operation and the correct determination of the machining conditions, represent an important paper in the work with metals. This if accents in the line of production, where divergences in the choice of the cut speed and tool can cause variations notables in the costs of manufacture. In this work it was analyzed costs and productivity in the machining of the Ti-6Al-4V alloy, through external cylindrical turning, in operations of finishing, using hard metal VBMT 110204. UF class ISO M15 and support SJVBL 1616H11 (Sandvik). Relative calculations to the cut length, the speed of cut, to coefficients  $x$  and  $K$  of Taylor,  $v_{m\text{xp}}$  and costs had been carried through with the developed aid of softwares in the laboratory of study of the machining. Also the effect of the speed in the mechanisms of consuming of the tool had been investigated*

*Keywords: Machining, titanium, optimization*