ACTA MECHANÌCA ET MOBILITATEM
Vol. 3 nº6 – 2018
160-03-2018

ANÁLISE PRELIMINAR DO FRESAMENTO DE TÂNTALO UNS R05200 COM FERRAMENTAS DE METAL DURO

A. G. Guasca[a],
A. J. dos Santos[a],
M. A. Câmara[a]
and J. C. Campos Rubio[a]

[a] Laboratório de Usinagem e Automação,
Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil
Contact Information
agguasca@gmail.com.

RESUMO

Nos últimos tempos, o tântalo vem sendo considerado como excelente alternativa de material para a produção de próteses, devido a sua grande biocompatibilidade por conta da sua resistência à corrosão graças à formação de uma fina cama de óxido na sua superfície. Entretanto, os poucos trabalhos que abordam o tema da usinabilidade deste tipo de material fizeram testes de torneamento e alertam para diversos problemas associados a suas propriedades mecânicas e térmicas, as quais dificultam sobremaneira o seu corte por cisalhamento. Neste trabalho, é avaliado o desempenho de ferramentas de metal duro sem revestimento as quais foram testadas no fresamento de uma peça de tântalo de 99,9% de pureza na condição a seco e com lubri-refrigeração abundante, mantendo constante o avanço, a velocidade de corte e a profundidade de corte. O desempenho foi avaliado por meio do desgaste de flanco médio (VB_B) e do acabamento superficial incluindo imagens de topografia 3D da superfície. Os resultados preliminares mostraram que na condição de lubri-refrigeração abundante se obteve o melhor resultado, pois no caso do desgaste de flanco da ferramenta a média diminuiu 40% sendo possivelmente a abrasão o mecanismo de desgaste, e para a rugosidade R_a o valor desceu 24%. Também, observou-se a provável presença de dois modos de deformação possivelmente pela grande ductilidade do material da peça.

Palavras chave: tântalo, fresamento, metal duro.

NOMENCLATURA

a_p	profundidade de usinagem, mm
f	avanço, mm/rev
R_a	Desvio aritmético médio, µm
R_{ku}	Fator de achatamento do perfil
R_{sk}	Fator de assimetria do perfil
VB_B	Desgaste de flanco médio, µm
V_C	velocidade de corte, m/min

Siglas

APC	Arista postiça de corte
CCC	Rede cristalina cúbica de corpo centrado
CFC	Rede cúbica de face centrada
CVD	Deposição química de vapor
HC	Rede hexagonal compacta.
ISO	Organização Internacional de Normalização

INTRODUÇÃO

O tântalo (Ta) tem aplicações em diversas áreas como a microeletrônica, litografia de raios X, em aplicações estruturais de altas temperaturas, a indústria aeroespacial, nuclear e biomédica. Um exemplo das aplicações biomédicas são os implantes ósseos porosos com excelentes resultados em termos de rigidez e regeneração do osso comparado com redes porosas de Ti-6Al-4V pela sua maior resistência à fadiga permitindo maior deformação plástica pela sua alta ductilidade [1], [2].

O tântalo é considerado um material relativamente dúctil, refratário que não reage facilmente na presença de materiais corrosivos. Essa grande resistência à corrosão está ligada á formação de camada de oxido na superfície. O tântalo puro é comumente observado na rede cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), mas também se pode encontrar na rede cubica de face centrada (CFC) e na rede hexagonal compacta (HC) [1]. Uns dos desafios da aplicabilidade do tântalo é a difícil usinabilidade

pela alta resistência ao cisalhamento, elevada capacidade de encruamento sob deformação, elevadas temperaturas de corte e tendência forte à formação da aresta postiça de corte (APC) [3].

Entre os estudos de usinagem do tântalo se pode encontrar o torneamento para avaliar ferramentas de metal duro a seco e o uso de nitrogênio líquido na refrigeração da interface peça – ferramenta. As condições de corte foram velocidade de corte de 21 m/min, avanço de 0,08 mm/rev, e profundidade de usinagem de 0,08 mm. Os resultados apresentaram que as peças usinadas com nitrogênio líquido tiveram uma diminuição de 200% na rugosidade da peça de tântalo, 60% nas forças de corte e uma melhoria de 300% no tempo de vida das ferramentas comparado com a usinagem a seco [3]. Em outra pesquisa fizeram o torneamento de tântalo trabecular (poroso) com avanço de 0,0762 até 0,127 mm/rev. O intuito deste estudo foi comparar os efeitos de três diferentes processos de usinagem, a saber, torneamento, eletroerosão a fio e deposição química do vapor (CVD, por sua sigla em inglês), na biocompatibilidade, na precisão dimensional e na resistência mecânica das próteses. Eles obtiveram que no caso do torneamento decresceu a porosidade na superfície da prótese em 30% comparado com o CVD, o crescimento do osso na superfície foi similar, mas no interior da prótese o melhor resultado foi para a feita por CVD. Já para as propriedades mecânicas da interface do implante ósseo foram semelhantes nos três processos de fabricação, porém a rigidez e o modulo de cisalhamento da interface foi significativamente maior nas peças usinadas no torno [4]. Finalmente, em outra investigação foram fabricadas ferramentas de metal duro com três ângulos de saída diferentes para o torneamento do tântalo. As condições de corte usadas nestas ferramentas em condição de lubri – refrigeração foram velocidade de corte de 60 m/min, avanço de 0,044 mm/rev e profundidade de usinagem de 0,05 mm. Os resultados apresentaram que o melhor desempenho foi da ferramenta com ângulo de saída de 28°, contudo não houve medições de rugosidade para conferir esse resultado [5].

Neste trabalho foi feito o fresamento de uma peça de tântalo com o objetivo de avaliar o desempenho de ferramentas de metal duro sem revestir em condições de usinagem a seco e em condição de lubri – refrigeração.

MÉTODOS E MATERIAIS

Para avaliar a usinabilidade do tântalo no fresamento adotaram-se condições de usinagem a seco, com fluido refrigerante e ferramentas de metal duro sem revestimento. O fluido refrigerante utilizado foi MECFLUID S 300 sintético fabricado pela Petronas com concentração de 10%. As ferramentas usadas foram SEGT13AGFN-JP HTi10 (ISO N10) fabricadas pela Mitsubishi Materials. A máquina-ferramenta utilizada foi o centro de usinagem fabricado pela ROMI, modelo Discovery 560 com potência de 9,0 kW, rotação máxima de 7500 rpm e comando numérico Siemens 810D. A justificativa para a escolha das diferentes condições de usinagem são as características do tântalo que combina propriedades únicas como alta resistência mecânica a altas temperaturas, boa condutividade térmica, ductilidade e ao mesmo tempo elevada dureza.

Os parâmetros utilizados durante a operação de fresamento foram avanço, velocidade de corte e profundidade de usinagem determinados a partir dos estudos de [3]–[5] que analisaram a usinabilidade do tântalo durante operações de torneamento. O fresamento de tântalo foi realizado pela operação de faceamento utilizando somente uma aresta de corte por ensaio. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentados os parâmetros de usinagem.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem.

	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de corte m/min (V_C)	Profundidade De Usinagem mm (a_p)
A seco	0,06	63	0,01
Lubri – refrigeração	0,06	63	0,01

Os parâmetros de saída resultantes do fresamento foram: desvio aritmético médio (R_a) ou a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média dentro do percurso de medição, o fator de assimetria (R_{sk}, skewness), o fator de achatamento ou curtose (R_{ku}), o desgaste de flanco médio (VB_B) e a caracterização da superfície através de topografia 3D. Para o analise destes parâmetros utilizou-se um perfilômetro de contato Hommelwerke T8000 e o software Hommel Map Expert 6.2. Além disso, foram feitas imagens da superfície e analises do desgaste de flanco das ferramentas com o microscópio óptico ZEISS Axio Scope A1 e o software AxioVisio SE64.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados dos parâmetros de saída referentes ao fresamento do tântalo.

Desgaste de ferramenta

O primeiro ensaio foi feito a seco com uma aresta nova da ferramenta de metal duro, avanço de 0,06 mm/rev, velocidade de corte de 63 m/min, e profundidade de usinagem de 0,01 mm. El percurso de usinagem foi de 390 mm e a média do desgaste de

flanco foi de 310,14 µm. Na Figura 1 se apresentam imagens do desgaste de flanco da aresta da ferramenta e se pode ver que é possível considerar uma avaria da ferramenta de origem mecânica do tipo que se apresenta na saída da ferramenta da peça.

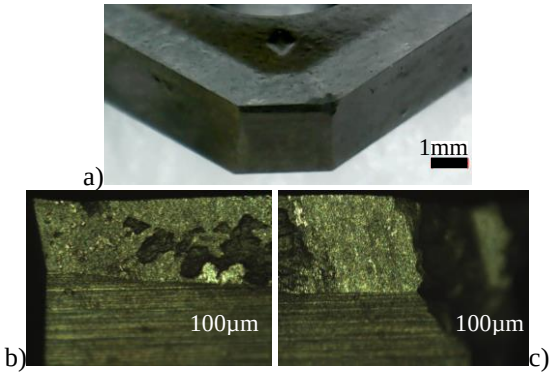

Figura 1. a) Vista da aresta da ferramenta de metal duro usinagem a seco, b) detalhe vista esquerda da aresta e c) detalhe vista direita da aresta.

No segundo teste usou-se aresta de corte nova da ferramenta de metal duro, o mesmo avanço, velocidade de corte, percurso de corte e profundidade de corte mencionado acima, mas o ensaio foi feito em condição de lubri – refrigeração. Neste caso o desgaste de flanco foi de 122,41 µm e na Figura 2 pode-se observar as avarias na aresta de corte que possivelmente são de origem mecânica.

Comparando os valores das médias do VB_B e suas arestas pode-se dizer que os maiores valores de desgaste se apresentaram na ferramenta que trabalhou a seco. Seguidamente na Figura 1 e na Figura 2 observou-se que a abrasão é o possível mecanismo de desgaste das ferramentas usadas na usinagem do tântalo.

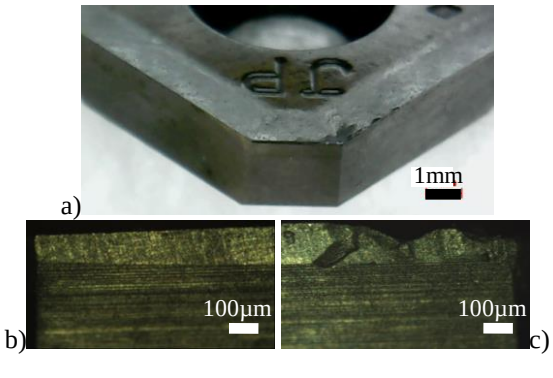

Figura 2. a) Vista da aresta de ferramenta de metal duro usinagem em condição de lubri – refrigeração, b) detalhe vista esquerda da aresta e c) detalhe vista direita da aresta.

Rugosidade da superfície usinada

No perfilômetro de contato Hommelwerke T8000 e software Hommel Map Expert 6.2, foram feitas 50 medições de rugosidade R_a sobre pontos diferentes da superfície de acordo à norma ISO 4287. Na Tabela 2 são apresentados os valores da média de R_a, R_{sk} e R_{ku}.

Comparando os valores das médias de Ra, a diferença entre a superfície usinada a seco e com fluido refrigerante é de 24%, sendo a média do valor de R_a menor na superfície faceada usando fluido refrigerante. No caso dos valores médios de R_{sk} obtidos não houve sensível disparidade e o valor menor que zero indica que nas faces usinadas as irregularidades da superfície são na maioria vales. Entanto para os valores de R_{ku} na superfície usinada a seco o valor maior de três mostra que a superfície tem muitos picos e para a superfície usinada com fluido refrigerante o valor menor de três indica uma superfície acidentada e áspera [6], mas apresenta achatamento das asperezas.

Tabela 2. Média dos valores de R_a, R_{sk} e R_{ku} nas dois superfícies faceadas.

	Seco	Lubri – refrigeração
R_a (µm)	1,42	1,08
R_{sk}	-0,60	-0,58
R_{ku}	3,82	2,37

A Figura 3 apresenta uma serie de imagens feitas no microscópio óptico e no perfilômetro de contato. Estas imagens são de uma região da superfície faceada a seco na qual o valor médio de R_a foi de 0,757 µm, a média de R_{sk} foi de 0,182 e o valor de R_{ku} foi de 3,22, além disso, é possível observar um vale e um pico feito pela ferramenta, o que pode ser sinal de que a ferramenta tem deformado (não cisalhado) o material e ao longo do percurso de usinagem o inserto sofreu uma avaria gerando interrupção no corte. Neste caso é possível a presencia de dois modos de deformação, o modo de corte no qual o material é desviado através de uma zona de cisalhamento e flui para frente da aresta para formar o cavaco; e o modo de sulcamento (*ploughing*) no qual nenhum material é removido da superfície, o material flui abaixo da aresta [7].

Na superfície apresentada na Figura 3 o maior valor de profundidade do vale foi de 15,8 µm, em relação à linha média do perfil de rugosidade.

A Figura 4 mostra imagens feitas no microscópio óptico e no perfilômetro de uma região da superfície usinada em condição de lubri – refrigeração. Nesta zona os valores médios de R_a, R_{sk} e R_{ku} foram respectivamente 0,826 µm, -0,933 e 5,69. Novamente é possível observar um vale e um pico feito pela ferramenta que provavelmente seja uma indicação da presença de dois modos de deformação, a saber, o sulcamento e o cisalhamento. Porem, esse tipo de ocorrências apresentaram-se com menor frequência na superfície usinada com fluido e neste casso particular a profundidade do vale apresentado na Figura 4 foi de 3,32 µm, em relação à linha média do perfil de rugosidade. Neste caso, a profundidade

do vale foi menor que no caso do vale encontrado na usinagem a seco da peça de tântalo.

CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu analisar o comportamento da ferramenta de metal duro sem revestimento SEGT13T3AGFN-JP HTi10, sobre condição, a seco e com lubri – refrigeração abundante. Na usinagem a seco, o maior valor do desgaste de flanco médio (VB_B) foi de aproximadamente 310 µm, já para a usinagem em condição de lubri – refrigeração o desgaste médio foi de aproximadamente 122 µm, apresentando uma redução de 40% no VB_B.

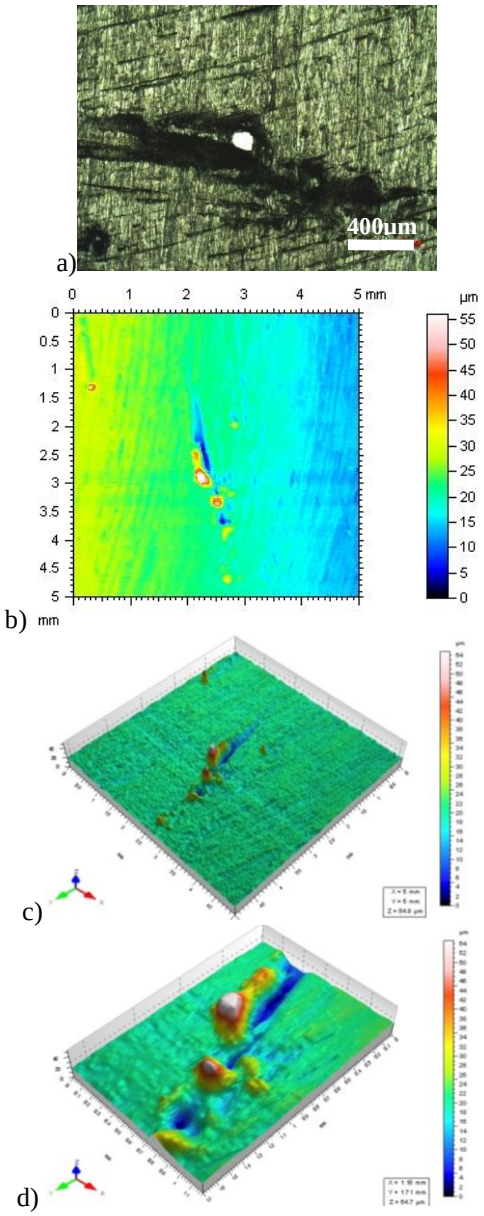

Figura 3. Zona com dois modos de deformação usinada a seco a) no microscópio óptico, b) Imagem da mesma região obtida no perfilômetro, c) topografia da mesma zona e d) detalhe da área com maior deformação na região.

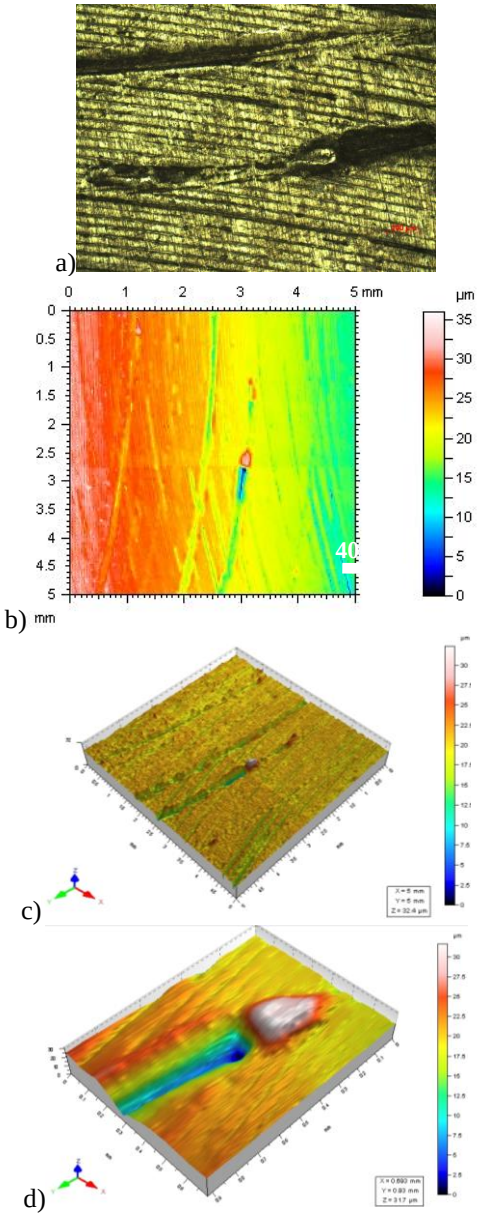

Figura 4. Zona com dois modos de deformação usinada em condição de lubri – refrigeração a) no microscópio óptico, b) imagem da mesma região obtida no perfilômetro, c) topografia 3D da mesma zona e d) detalhe da área com maior deformação na região.

Contudo, o desgaste de flanco médio da ferramenta foi excessivo comparado com o percurso de usinagem e essa piora do desempenho da ferramenta de metal duro é provável de atribuir à escolha errada das condições de corte, por exemplo, a profundidade de usinagem menor que o raio da aresta de corte dificultando a geração de cavaco.

Na avaliação das ferramentas que sofreram avarias prematuras foi possível observar que o mecanismo de desgaste por abrasão é preponderante. Isto pode ser atribuído, a uma extensiva presença de óxidos [6], os quais apresentam uma dureza maior à

do próprio substrato. Neste sentido, pode-se observar a evidente formação de sulco e de material recalcado.

Baseado nos resultados de varredura do perfilômetro da superfície fresada foi possível concluir que a ferramenta provocou severas deformações na superfície do material, mostrando deficiência no processo de cisalhamento do cavaco.

Outra possível explicação para o fenômeno citado anteriormente (Figura 3 e Figura 4), além das deficiências no processo de cisalhamento, é a formação de carbonetos por conta das altas temperaturas presentes na usinagem de tântalo que são arrastados pela ferramenta durante o fresamento. Também, cabe a possibilidade, devido ao grande valor de VB_B obtido, que pedaços da ferramenta permaneceram na superfície da peça.

AGRADECIMENTOS

A Organização dos estados Americanos (OEA), ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo; e a ATI Specialty Alloys & Components, USA, de maneira especial ao Mitchell Herzog, Gerente de Programas, pelo fornecimento da peça de tântalo usada neste trabalho.

REFERENCES

1 M. T. Janish, P. G. Kotula, B. L. Boyce, and C. B. Carter, “Observations of fcc and hcp tantalum,” J. Mater. Sci., vol. 50, no. 10, pp. 3706–3715, 2015.

2 R. Wauthle *et al.*, “Additively manufactured porous tantalum implants,” Acta Biomater., vol. 14, pp. 217–225, 2015.

3 Z. Y. Wang, K. P. Rajurkar, J. Fan, and G. Petrescu, “Cryogenic Machining of Tantalum,” J. Manuf. Process., vol. 4, no. 2, pp. 122–127, 2002.

4 M. Deglurkar, D. T. Davy, M. Stewart, V. M. Goldberg, and J. F. Welter, “Evaluation of Machining Methods for Trabecular Metal Implants in a Rabbit Intramedullary Osseointegration Model,” J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater., vol. 80B, no. 2, pp. 528–540, 2006.

5 M. Mizutani, T. Naruse, Y. Kameyama, Y. Koma, H. Ohmori, and C. Sasaki, “Fabrication of cutting tools for ultraprecision machining of tantalum and their cutting characteristics,” J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanom. Struct., vol. 27, no. 3, p. 1367, 2009.

6 Á. R. Machado, A. M. Abrão, R. T. Coelho, and M. B. Da Silva, *Teoria da Usinagem dos Materiais*, 3a ed. São Paulo, SP: Blucher, 2015.

7 I. M. Hutchings, Triblology: Friction and wear of engineering materials. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1992.