

MICROFRESAMENTO DE TÂNTALO UNS R05200 COM FERRAMENTA DE METAL DURO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR

Andrés Guillermo Guasca González, agguasca@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Juan Carlos Campos Rubio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 Belo Horizonte, MG, Brasil.

Resumo: Nos últimos anos a operação de microfresamento tem sido estudada amplamente para diversos materiais. Mesmo assim será necessário grande empenho para entender o comportamento de vários materiais quando usinados com aplicações em importantes áreas como aeroespacial, nuclear e biomedica. Entre estes materiais se encontra o tântalo que por apresentar alta temperatura de fusão e sua grande resistência à corrosão pode ter múltiplas aplicações nas áreas apresentadas. Neste trabalho é apresentado o estudo inicial de microfresamento de tântalo com ferramenta de metal duro revestida de TiAlN de 500 μm de diâmetro com velocidade de rotação de eixo-árvore constante de 40.000 rpm, avanços por dente de 3, 6 e 10,5 μm e profundidade de usinagem de 20 e 40 μm . Os resultados obtidos mostram a possibilidade de se usinar microcanais num material que é considerado de difícil usinabilidade. Foram registrados valores de força de apoio (F_y), força passiva (F_z) e força na direção do avanço (F_x), além dos valores da intensidade de emissão acústica (RMS).

Palavras-chave: microfresamento, tântalo, forças de corte, emissão acústica

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de miniaturização de diversos equipamentos e dispositivos cresce com o decorrer do tempo. Isso faz com que as operações de fabricação como o microfresamento têm-se estudado grandemente nos últimos anos. Diversos materiais e ferramentas foram pesquisados nas últimas duas décadas, mas materiais de difícil usinabilidade como algumas ligas de titânio, ligas de níquel e o tântalo e suas ligas (Wang e Rajurkar 2000), não se tem estudado com profundidade. Porém, no caso das ligas de titânio pode-se encontrar inúmeras pesquisas da liga Ti6Al4V. Exemplo disso é o estudo no qual se faz uma relação entre as forças de corte e a estabilidade do processo considerando o fenômeno de efeito escala no qual o modelo de elementos finitos de predição das forças de corte tem melhor correlação com os resultados experimentais quando o avanço é de 6 $\mu\text{m}/\text{dente}$ (Afazov *et al.*, 2011). Outros autores estudaram o microfresamento de diferentes microestruturas da liga Ti6Al4V e a influência destas microestruturas na formação de rebarbas, o estado da aresta de corte e as forças de corte encontrando para estas últimas que se a microestrutura tem menor dureza, as forças de corte diminuem, e quando o material possui microestrutura homogênea, as distorções nas forças de corte são menores (Attanasio *et al.* 2013). Também se têm estudado os efeitos de duas trajetórias da ferramenta diferentes nas forças de corte usando as médias dos valores pico a vale das forças nas direções x e y, observando que os valores pico a vale das forças mudam de acordo à trajetória avaliada e a direção do microfresamento (concordante ou discordante) (Kuram e Ozcelik 2016). Já no caso das ligas de níquel encontraram-se pesquisas em que foi apresentado modelo de predição das forças de corte no qual se teve em conta o desvio do eixo da ferramenta, o efeito escala, e os regimes de cisalhamento ou sulcamento (*ploughing*) obtendo resultados experimentais de força para liga Inconel 718, que concordaram com os valores obtidos no modelo proposto (Lu *et al.* 2015). Novamente para a liga Inconel 718 as forças de corte são monitoradas com o intuito de observar a falha da ferramenta devido a uma mudança no padrão de variação das forças de corte, avaliando o desempenho de diferentes revestimentos de ferramenta (Ucun *et al.* 2014). No caso do tântalo ainda não se tem estudos de microfresamento, mesmo tendo aplicações nas mesmas áreas das ligas de titânio e ligas de níquel.

Na operação de torneamento do tântalo Mizutani *et al.* (2009) usaram ferramentas de metal duro projetadas e fabricadas por eles com diferentes ângulos de saída (23°, 28° e 33°). As condições de cortes foram velocidade de corte de 60 m/min, profundidade de corte de 50 μm e avanço de 44 $\mu\text{m}/\text{rev}$ e concluíram que a ferramenta com ângulo de saída de 28° teve o melhor desempenho. Wang e Rajurkar (2000) utilizaram velocidades de corte de 21 m/min (0,35 m/s), profundidade de corte de 80 μm e avanço de 80 $\mu\text{m}/\text{rev}$. Usou-se também nesta pesquisa condições de usinagem a seco e lubri – refrigeração com nitrogênio líquido. Nos resultados pode-se observar a dificuldade para usinar o tântalo a seco, por conta das altas temperaturas evidenciadas na cor vermelha observada na zona de contato ferramenta – peça.

Essa difícil usinabilidade também foi demonstrada na operação de fresamento por Guasca *et al.* (2018) devido ao excessivo desgaste de flanco médio da ferramenta e as severas deformações observadas na superfície da peça de tântalo que mostraram a deficiência no cisalhamento do cavaco.

Devido à escassez de pesquisas que examinem o microfresamento do tântalo é importante iniciar o estudo deste material numa área que oferece a possibilidade de criar geometrias de maior complexidade quando comparado com outras operações de fabricação. Com o intuito de iniciar o estudo do microfresamento de tântalo neste trabalho se apresentam os resultados das medições das forças de corte na direção normal à superfície da peça, na direção do avanço e na direção perpendicular à direção do avanço no microfresamento de tântalo UNS R05200 com ferramenta de metal duro revestida de TiAlN, para três valores diferentes de avanço por dente (f_z) e dois valores de largura de usinagem (a_p) com número de rotações por minuto (n) de 40.000. Além dos valores das forças também foram coletados os valores RMS da intensidade de emissão acústica (EA).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para fazer o microfresamento do tântalo a *ATI Specialty Alloys & Components* (EUA), forneceu uma peça de 65 mm X 65 mm X 7 mm. As propriedades mecânicas do tântalo UNS R05200 são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do tântalo UNS R05200 (MatWeb, 2017)

Gravidade específica (kg/m^3)	16600
Dureza HV	80-120
Resistência à tração (MPa)	≥ 207
Resistência máxima (MPa)	241-310
Modulo de elasticidade (GPa)	186
Ponto de fusão ($^{\circ}\text{C}$)	3017

A ferramenta usada foi de metal duro com revestimento de TiAlN de $500\mu\text{m}$ de diâmetro da *Sandvik* (R216.32-00530-AE05G). A máquina ferramenta foi o centro de usinagem ROMI MODELO Discovery, potência de 9,0 kW, 7.500 rpm de rotação máxima e comando numérico *Siemens* 810D, mas para atingir velocidade de rotação na ordem dos 40.000 rpm foi utilizada a turbina pneumática de *Air Turbine Tools* modelo 650BT40. Na coleta dos dados de emissão acústica o sensor usado foi o NS3300 de 300 kHz de *McWade Monitoring* e para os dados de forças de corte usou-se o dinamômetro de *Klister* tipo 9972 (foi feita a calibração estática do equipamento). Os dados de emissão acústica e das forças de corte foram coletados usando a placa de aquisição de dados da *National Instruments* NI 6366 e o software *NI LabView Signal Express* 2013.

Na Figura 1 pode ser observado o desenho da microfresa classificada na classe 1620 e de ângulo de hélice de 30° de acordo com o fabricante, que recomenda usar sem fluido de corte. Já para fixar a microfresa, a turbina pneumática possui o sistema de pinça de precisão.

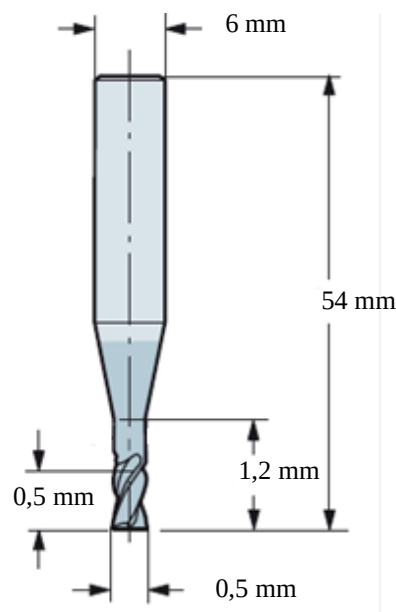


Figura 1. Ferramenta de metal duro revestida de TiAlN da Sandvik R216.32-00530-AE05G. Adaptada de (SANDVIK COROMANT 2016)

Na Figura 2 pode-se ver o esquema da montagem para fazer os testes de microfresamento.

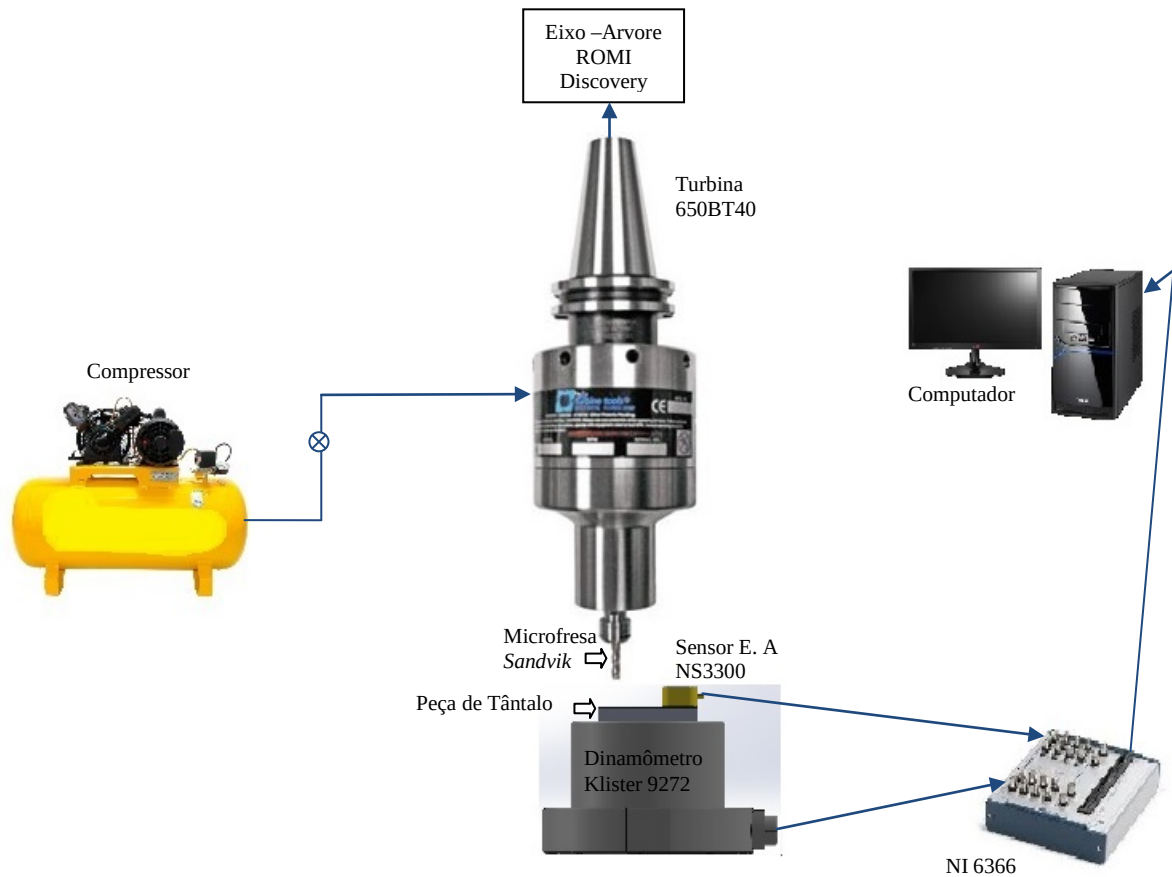


Figura 2. Esquema de montagem experimental

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As forças coletadas neste trabalho são força de avanço (F_x), força de apoio (F_y) e força passiva (F_z). A primeira é definida como a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho na direção do avanço, a segunda é a projeção no plano de trabalho da força de usinagem na direção perpendicular à direção de avanço e a última é a projeção da força de usinagem na direção perpendicular ao plano de trabalho (Machado et al. 2015). De acordo com os dados obtidos os valores das forças de corte atingidos para F_x não foram maiores de 2,1 N e para F_y e F_z não foram superiores aos 7N. Na Tabela 2 se podem ver as condições de corte dos testes e os resultados obtidos para as forças e a intensidade da emissão acústica (RMS). Com os dados coletados de força foram calculados os valores da força de usinagem (F_U), força de corte (F_C) e pressão específica de corte (k_s)

Tabela 2. Condições de corte e resultados obtidos para F_x , F_y , F_z , F_U , EA_{RMS} e k_s nos testes de microfresamento

v_c (m/min)	a_p (μ m)	f_z (μ m/dente)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_U (N)	EA_{RMS} (mV)	k_s (N/mm ²)
63	20	3	1,408	5,846	5,165	7,940	0,390	100.510
		6	1,716	2,326	3,183	4,300	0,322	24.089
		10,5	1,421	3,388	3,347	4,970	0,454	17.495
	40	3	1,474	5,681	6,612	8,841	0,460	48.910
		6	2,086	4,137	4,334	6,344	0,404	19.304
		10,5	1,474	4,245	4,541	6,388	0,372	10.699

Na Figura 3, Fig. 4 e Fig. 5 é possível ver os valores obtidos para as três forças em função do avanço por aresta. Comparando os valores das forças de avanço para as duas profundidades, é possível ver que o valor da força de avanço é menor comparado aos valores obtidos da força de apoio e da força passiva no mínimo um 26%. Enquanto no caso da força passiva e de apoio o maior valor foi obtido com o avanço de 3 μ m/dente, para as duas profundidades (20 μ m e 40 μ m).

No estudo dos resultados da força de avanço (Fig. 3) é factível perceber que o valor maior de força para as duas profundidades de corte se apresentou no avanço de 6 μ m/dente. Por exemplo, para o $a_p = 20$ μ m o valor de F_x foi 16%

maior quando comparado ao obtido para o $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$, e quando foi comparado com o obtido para $f_z = 10,5 \mu\text{m/dente}$ foi maior por 21%. Note-se que as disparidades entre esses três valores pode-se considerar pequena. Já para $a_p = 40 \mu\text{m}$ os valores obtidos de F_x são menores em 42% para os avanços de $3 \mu\text{m/dente}$ e de $10,5 \mu\text{m/dente}$ se eles são comparados com o valor de força ($F_x = 2,086 \text{ N}$) obtido para o avanço de $6 \mu\text{m/dente}$. Ao comparar os valores de força obtidos para $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ nas duas profundidades a diferença não supera o 4 % e acontece igual para F_x quando $f_z = 10,5 \mu\text{m/dente}$ e as profundidades de usinagem são de $20 \mu\text{m}$ e $40 \mu\text{m}$.

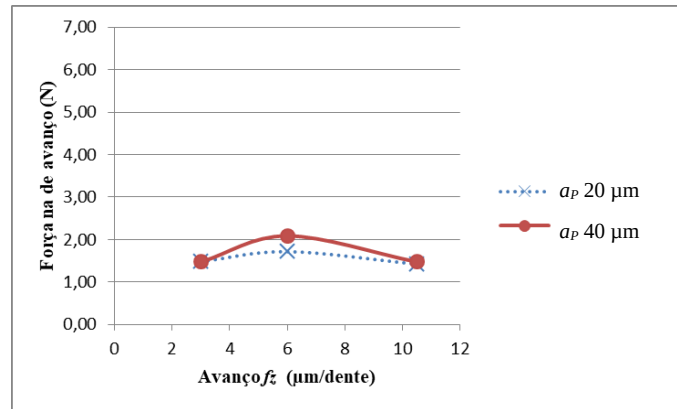


Figura 3. Força de avanço (F_x) versus avanço por dente para a velocidade de corte de 63 m/min

Na revisão do comportamento da força de apoio (Fig. 4) quando o avanço foi de $3 \mu\text{m/dente}$ obteve-se a maior F_y para os dois valores de profundidade de corte comparados com os obtidos para os outros dois avanços. A diferença entre os valores obtidos de F_y para $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e as profundidades de $20 \mu\text{m}$ e $40 \mu\text{m}$ foi de 3%. É possível que o valor de força de apoio maior para o avanço menor esteja relacionado com uma maior presença de sulcamento. O menor valor de força ($2,326 \text{ N}$) se apresentou para o $f_z = 6 \mu\text{m/dente}$ e $a_p = 20 \mu\text{m}$. Ao comparar os valores de F_y neste mesmo avanço e as duas profundidades a disparidade entre elas foi de 44% e para $f_z = 10,5 \mu\text{m/dente}$ a diferença da força entre as duas profundidades foi 20%.

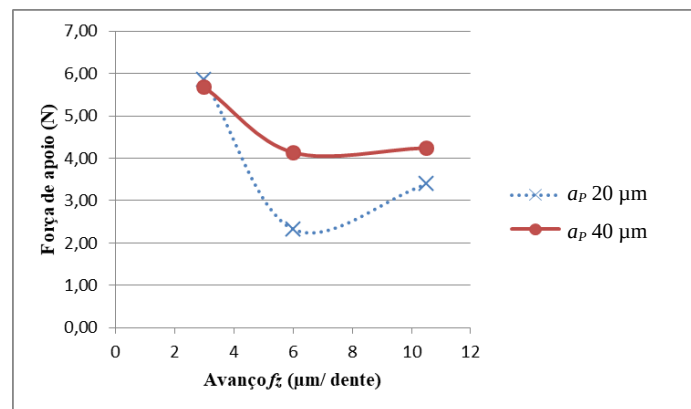


Figura 4. Força de apoio (F_y) versus avanço por dente para a velocidade de corte de 63 m/min

Na análise da força passiva (Fig. 5) para $a_p = 40 \mu\text{m}$ e $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ ela é maior em 22% comparada com a força passiva obtida para o a_p de $0,02 \text{ mm}$. Novamente para o $f_z = 6 \mu\text{m/dente}$ e $f_z = 10,5 \mu\text{m/dente}$ os valores de F_z são maiores quando a profundidade de corte é maior, pelo qual provavelmente se possa dizer que a força passiva é maior se a profundidade de corte é maior. Tendo como parâmetro de análise o f_z é possível observar que a menor força passiva foi obtida para avanço de $6 \mu\text{m/dente}$ mas quando confrontada com a força passiva obtida para o $f_z = 10,5 \mu\text{m/dente}$ a diferença foi de 5 % para as duas profundidades de corte, ou seja, quando se compararam os valores de força para o f_z de $6 \mu\text{m/dente}$ contra $10,5 \mu\text{m/dente}$ são quase do mesmo valor. A queda no valor da força passiva com o acréscimo no avanço pode ser pela transição ao regime de cisalhamento.

Quando os valores obtidos das forças são comparados com outras pesquisas feitas em materiais de difícil usinagem se pode ver que os valores das forças podem ser de magnitudes parecidas. Mamedov and Lazoglu (2016) estudaram o micro fresamento da liga Ti6Al4V e encontraram que a força de corte resultante no plano de trabalho foi de $7,2 \text{ N}$ quando $a_p = 100 \mu\text{m}$, $f_z = 5 \mu\text{m/dente}$ e velocidade de corte de $25,1 \text{ m/min}$, enquanto o valor da força de corte resultante no plano de trabalho obtida neste trabalho foi de $6,0 \text{ N}$ para $a_p = 20 \mu\text{m}$, $f_z = 3 \mu\text{m/dente}$ e velocidade de corte de 63 m/min . Lu et al. (2015) registraram valores de $F_x = 0,351 \text{ N}$, $F_y = 0,423 \text{ N}$ e $F_z = 0,454 \text{ N}$ na usinagem da liga de níquel Inconel 718 quando a velocidade de corte foi de $149,61 \text{ m/min}$, $a_p = 25 \mu\text{m}$ e $f_z = 0,9 \mu\text{m/dente}$. É possível observar que

os valores de força nas condições de corte da investigação mencionada acima foram 85% menores que os obtidos neste trabalho com o tântalo como material da peça, porém esta liga de níquel é considerada de difícil usinabilidade.

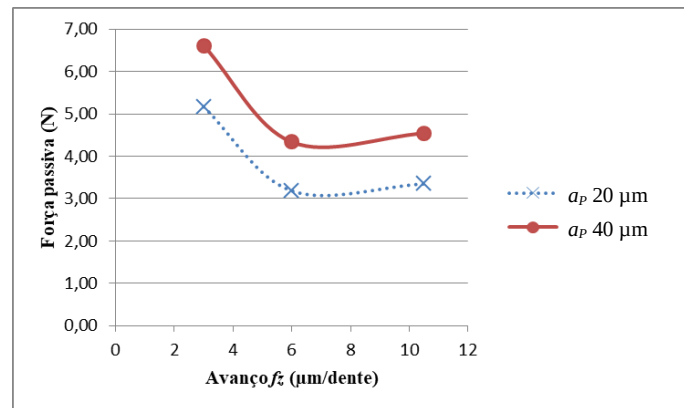


Figura 5. Força passiva (F_z) versus avanço por dente para velocidade de corte de 63 m/min

Na Tabela 2 pode-se observar os valores obtidos para a força de usinagem (F_U) nas distintas condições de corte. É possível dizer que F_U foi maior quando o avanço por dente foi o menor e isso acontece para as duas profundidades, isto devido possivelmente a que se o avanço cresce o material que escorrega entre a peça e a superfície de folga da ferramenta é reativamente menor, comparado ao removido, gerando uma diminuição na força de usinagem (Machado *et al.* 2015). De acordo com a Tab. 2 as condições de corte que geraram a menor força de corte foi o $f_z = 6 \mu\text{m}/\text{dente}$ e $a_p = 20 \mu\text{m}$. No caso da profundidade de $40 \mu\text{m}$ o menor valor da força de usinagem se apresentou no caso de avanço de $6 \mu\text{m}/\text{dente}$, mas quando comparado com o valor de F_U para a mesma a_p e $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ a diferença foi de 0,69% só. Ao comparar os valores da força de usinagem nos distintos avanços pode-se observar que o valor foi maior quando a profundidade foi maior, é possível que devido ao aumento da seção transversal de corte que origina o aumento da força.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para a intensidade da emissão acústica (RMS). Esse valor foi maior para o menor avanço ($3 \mu\text{m}/\text{dente}$) e maior profundidade ($40 \mu\text{m}$) quando comparado com o valor obtido para o mesmo avanço e menor profundidade ($20 \mu\text{m}$). Enquanto para $f_z = 6 \mu\text{m}/\text{dente}$ o valor RMS da intensidade de emissão acústica (EA_{RMS}) foi maior para a profundidade de $40 \mu\text{m}$, mas quando $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ o valor da EA_{RMS} foi maior para a menor profundidade de corte. Ao comparar o valor EA_{RMS} obtido para $f_z = 3 \mu\text{m}/\text{dente}$ e $a_p = 40 \mu\text{m}$ contra o obtido para $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ e $a_p = 20 \mu\text{m}$ a diferença foi de 1%. É importante ressaltar que o valor RMS da intensidade da emissão acústica para a profundidade de $20 \mu\text{m}$ desce de $389,8 \text{ mV}$ até $322,1 \text{ mV}$ quando o avanço muda de $3 \mu\text{m}/\text{dente}$ para $6 \mu\text{m}/\text{dente}$ possivelmente devido a que a operação fugiu do regime de sulcamento para o cisalhamento, e logo o valor aumenta até $389,8 \text{ mV}$ para o $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ provavelmente por causa do acréscimo na área de seção de corte. Enquanto para $a_p = 40 \mu\text{m}$ o valor de EA_{RMS} decresce de $459,9 \text{ mV}$ ($f_z = 2 \mu\text{m}/\text{dente}$) até $403,5 \text{ mV}$ ($f_z = 6 \mu\text{m}/\text{dente}$) e finaliza em $372,1 \text{ mV}$ ($f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$), quer dizer que o valor EA_{RMS} diminuiu quando cresceu o avanço e a razão desse comportamento poderia ser devida à diminuição do sulcamento na operação.

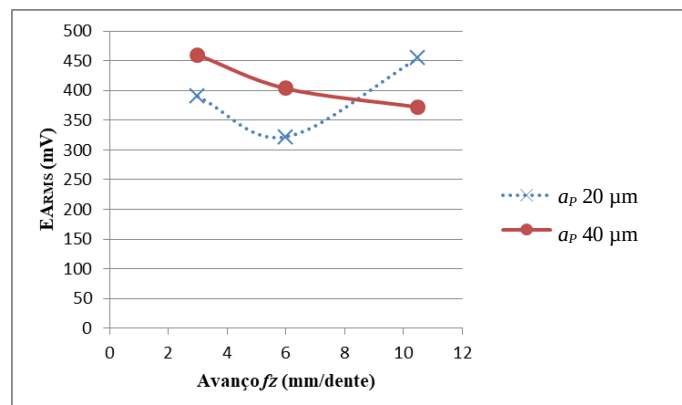


Figura 6. Valores de intensidade da emissão acústica (EA_{RMS}) versus avanço por dente (f_z) para a velocidade de corte de 63 m/min.

Ao comparar os dados obtidos da força de usinagem e os dados RMS da intensidade da emissão acústica pode-se observar que para o $a_p = 40 \mu\text{m}$ é possível ver que no caso de $f_z = 3 \mu\text{m}/\text{dente}$ o valor da EA_{RMS} e da F_U foram os maiores dos testes. Logo, para $a_p = 20 \mu\text{m}$ quando o avanço foi de $6 \mu\text{m}/\text{dente}$ os valores RMS da intensidade da

emissão acústica e da força de usinagem diminuem comparados com os valores registrados para o avanço de 3 $\mu\text{m}/\text{dente}$, e voltaram a crescer para o $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ mas no caso da EA_{RMS} o acréscimo supera os valores mensurados para os avanços de 3 e 6 $\mu\text{m}/\text{dente}$. Já no caso do $a_p = 40 \mu\text{m}$ não ocorreu esta concordância entre EA_{RMS} e F_U pois os valores RMS da intensidade da emissão acústica decresceram com o aumento do avanço enquanto a força de usinagem apresentou quase o mesmo comportamento que para o $a_p = 20 \mu\text{m}$. Novamente observando os dados obtidos para a profundidade de 40 μm e comparados com o estudo da usinagem da liga de titânio Ti6Al4V feito por Baldo (2013), os resultados são concordantes, pois ele obteve menores valores de EA_{RMS} quando teve maiores valores de avanço nos testes.

Também a Tab. 2 se apresenta os valores da pressão específica de corte que exibem o acréscimo no valor de k_s com a diminuição do avanço por dente. Para a profundidade de 20 μm a pressão específica de corte cresceu de 17.495 N/mm^2 para 24.089 N/mm^2 enquanto o avanço por dente diminuiu de 10,5 $\mu\text{m}/\text{dente}$ para 6 $\mu\text{m}/\text{dente}$. O valor de k_s cresce de novo até 100.510 N/mm^2 para $f_z = 3 \mu\text{m}/\text{dente}$. No caso da $a_p = 40 \mu\text{m}$, a pressão específica de corte é de 10.699 N/mm^2 para avanço de 10,5 $\mu\text{m}/\text{dente}$, cresce para 19.304 N/mm^2 quando $f_z = 6 \mu\text{m}/\text{dente}$ e sobe até 48.910 N/mm^2 para $f_z = 3 \mu\text{m}/\text{dente}$. Pode-se ver que o acréscimo da pressão específica de corte é maior no caso da $a_p = 20 \mu\text{m}$ quando comparado com o $a_p = 40 \mu\text{m}$ pois se o avanço muda de 6 $\mu\text{m}/\text{dente}$ para 3 $\mu\text{m}/\text{dente}$ o valor de k_s aumenta em 417% para $a_p = 20 \mu\text{m}$ enquanto para $a_p = 40 \mu\text{m}$ cresce 253%. Se são comparados os valores da pressão específica de corte para o mesmo avanço por dente e diferente profundidade, pode-se ver que para $a_p = 20 \mu\text{m}$ o valor de k_s foi maior quando confrontado com os valores obtidos para $a_p = 40 \mu\text{m}$. Essa tendência concorda com os resultados obtidos por De Oliveira *et al.* (2015) no microfresamento da liga de aço AISI 1045 com ferramentas de metal duro revestidas de TiAlN. Para eles quando avanço por dente é dobrado a pressão específica desce uma média de 22% e quando a profundidade de corte cresce duas vezes o k_s perde 13%. No entanto, os resultados obtidos por Zhang, Liu, e Xu (2015) no microfresamento de liga de aço AISI 1045 com ferramentas de metal duro revestidas de TiAlN repetem a tendência de crescimento da pressão específica de corte quando f_z diminui mas k_s cresce quando a_p cresce.

Na Figura 7 podem ser observados alguns micro canais usinados com diferentes condições de corte. O canal apresentado em (c) que foi feito com o menor avanço e a maior profundidade tem rebarbas de topo maiores. Já para os micro canais apresentados em (a) e em (b) que foram usinados com a mesma $a_p = 20 \mu\text{m}$, mas de $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$ no caso (a) e de 6 $\mu\text{m}/\text{dente}$ para (b), foi neste ultimo que se tiveram rebarbas de topo maiores. É possível que o maior valor de a_p tenha influência sobre o tamanho maior das rebarbas de topo, mas é preciso fazer mais testes com o intuito de esclarecer essa provável influência e também procurar as consequências do efeito escala e a espessura crítica do cavaco.

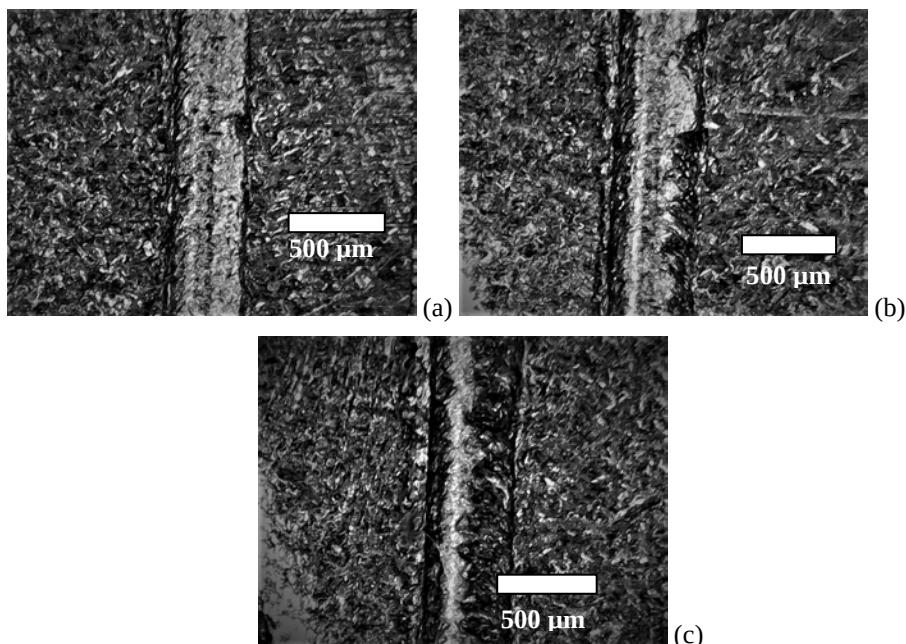


Figura 7. Microcanais (a) $f_z = 10,5 \mu\text{m}/\text{dente}$, $a_p = 0,02 \text{ mm}$; (b) $f_z = 6 \mu\text{m}/\text{dente}$, $a_p = 0,02 \text{ mm}$ e (c) $f_z = 3 \mu\text{m}/\text{dente}$, $a_p = 0,04 \text{ mm}$

4. CONCLUSÕES

Foram feitos microcanais numa peça de tântalo UNS R05200 com ferramenta de metal duro revestida de TiAlN com diferentes valores de avanço por dente e de largura de usinagem para uma velocidade de corte constante.

Na fabricação de microcanais de tântalo foram coletados dados de força na direção do avanço (F_x), força de apoio (F_y) e força passiva ou força de profundidade (F_z), bem como valores de emissão acústica de cada canal. Os valores da força passiva e da força de apoio não foram maiores de 7 N e no caso da força na direção do avanço não foram maiores de 2 N.

Com os valores da força normal obtidos nesta pesquisa se poderá realizar ensaios tribológicos de pino sobre disco para os materiais de interesse com o intuito de encontrar o coeficiente de atrito entre o par tribológico de interesse e desta forma poder aplicar a teoria da espessura crítica do cavaco. Assim, se poderá determinar os valores de avanço recomendados para atingir que o microfresamento seja um processo de cisalhamento e não de sulcamento (*ploughing*).

É importante fazer mais testes para ver a influência do efeito escala no micro fresamento do tântalo incluindo os efeitos das mudanças na profundidade de corte, o avanço e de ser possível do desgaste da ferramenta. Além disso, é importante avaliar o desempenho da ferramenta de metal duro avaliando outros revestimentos e seu uso sem revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Organização dos Estados Americanos (OEA), o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que são os fornecedores da bolsa de estudos, e pela *ATI Specialty Alloys & Componentes, EUA* que forneceu a chapa de tântalo UNS R05200 usada neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Afazov, S. M., Ratchev, S. M., e Segal, J. 2011. "Determination of Cutting Forces and Process Stability in Micro-Milling of Ti6Al4V Alloy by Considering the Size-Effect Phenomenon." *Micro and Nanosystems* 3: 199–209. <https://doi.org/10.2174/1876402911103030199>.
- Attanasio, A., Gelfi, M., Pola, A., Ceretti, E., e Giardini, C.. 2013. "Influence of Material Microstructures in Micromilling of Ti6Al4V Alloy." *Materials* 6 (9): 4268–83. <https://doi.org/10.3390/ma6094268>.
- Baldo, D. 2013. "Estudo Do Microfresamento Da Liga de Titânio Ti 6Al 4V Utilizando Análise de Sinais de Força E Emissão Acústica." Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei.
- Guasca, A. G., Santos, A. J., Câmara, M. A., e Campos Rubio, J. C.. 2018. "Análise Preliminar Do Fresamento de Tântalo UNS R05200 Com Ferramentas de Metal Duro." *Acta Mechanica et Mobilitatem* 3 (1): 5. <http://amm.demec.ufmg.br/index.php/revista/article/view/54/60>.
- Kuram, E., e Ozcelik, B. 2016. "Effects of Tool Paths and Machining Parameters on the Performance in Micro-Milling of Ti6Al4V Titanium with High-Speed Spindle Attachment." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 84 (1–4): 691–703. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7741-7>.
- Lu, X., Jia, Z., Wang, X., Li, G. e Ren, Z. 2015. "Three-Dimensional Dynamic Cutting Forces Prediction Model during Micro-Milling Nickel-Based Superalloy." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 81 (9–12): 2067–86. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7310-0>.
- Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., e Da Silva, M. B.. 2015. *Teoria Da Usinagem Dos Materiais*. 3a ed. São Paulo, SP: Blucher.
- Mamedov, A., e Lazoglu, I. 2016. "Thermal Analysis of Micro Milling Titanium Alloy Ti – 6Al – 4V." *Journal of Materials Processing Tech.* 229: 659–67. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.10.019>.
- MatWeb. "H. C. Starck NCR Tantalum (UNS R05200)." Accessed March 30, 2017. <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=3e0f9eada60349dda34568bacc4f5c2c>.
- Mizutani, M., Naruse, T., Kameyama, Y., Koma, Y., Ohmori, H., e Sasaki, C. 2009. "Fabrication of Cutting Tools for Ultraprecision Machining of Tantalum and Their Cutting Characteristics." *Journal of Vacuum Science and Technology B: Nanotechnology and Microelectronics* 27 (3): 1367–70. <https://doi.org/10.1116/1.3066028>.
- De Oliveira, F. B., Rodrigues, A. R., Coelho, R. T., e De Souza, A. F. 2015. "Size Effect and Minimum Chip Thickness in Micromilling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 89: 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2014.11.001>.
- SANDVIK COROMANT. 2016. *Ferramentas Sólidas Rotativas*.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Gökçe, B., e Bedir, F. 2014. "Effect of Tool Coating Materials on Surface Roughness in Micromachining of Inconel 718 Super Alloy." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 228 (12): 1550–62. <https://doi.org/10.1177/0954405414522217>.
- Wang, Z. Y., e Rajurkar, K. P.. 2000. "Cryogenic Machining of Hard-to-Cut Materials." *Wear* 239 (2): 168–75. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00361-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00361-0).
- Zhang, T., Liu, Z., e Xu, C. 2015. "Theoretical Modeling and Experimental Validation of Specific Cutting Force for Micro End Milling." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 77 (5–8): 1433–41. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6549-1>.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho

MICROMILLING OF TANTALUM UNS R05200 WITH WC TOOL: A PRELIMINARY ANALYSIS

Andres Guillermo Guasca González, agguasca@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Juan Carlos Campo Rubio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil

Abstract. In the last years the micro milling processes has been researched to a lot of materials. However, thanks of the high cost and a very low machinability, a big amount of materials with many applications in diverse and relevant areas like aerospace, nuclear and biomedical didn't been studied yet. Between these materials we can find the tantalum. This material has a very big melting point and high corrosion resistance and, for these reasons, it can have a lot of applications in the areas mentioned before. In this paper we are presented a preliminary analysis of micro milling of tantalum with a WC tool coated with TiAlN and 500 μm on diameter. The cutting conditions was 40000 RPM for the rotational speed, feed for teeth of 3, 6 and 10.5 μm and cutting depth of 20 and 40 μm . The first results achieved show the possibility of make micro channels in a hard to cut material like tantalum and present the force results in feed direction (F_x), back force (F_z) and the perpendicular direction of feed direction (F_y). Additionally, we show RMS values of acoustic emission.

Keywords: micro milling, tantalum, cutting forces, acoustic emission