

## TORNEAMENTO DO NIÓBIO – CORRELAÇÃO ENTRE DESGASTE DA FERRAMENTA E ACABAMENTO SUPERFICIAL

**Gislene Valdete Martins\***

e-mail: [gislene@ppgem.fauenquil.br](mailto:gislene@ppgem.fauenquil.br)

**João Paulo Barros Machado\***

e-mail: [joaopaulo@ppgem.fauenquil.br](mailto:joaopaulo@ppgem.fauenquil.br)

**Marcos Roberto Vargas Moreira\***

e-mail: [mzenga@ppgem.fauenquil.br](mailto:mzenga@ppgem.fauenquil.br)

**Elias Alves da Cunha\***

e-mail: [eliasac@zipmail.com.br](mailto:eliasac@zipmail.com.br)

**Marcos Valério Ribeiro\***

e-mail: [mvalerio@demar.fauenquil.br](mailto:mvalerio@demar.fauenquil.br)

\*Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR) – FAENQUIL

Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n, bairro: Mondezir

C.P. 116, CEP. 12970-000, Lorena - SP, Brasil

**RESUMO.** *O nióbio faz parte do grupo dos materiais refratários que possuem excelente comportamento mecânico em elevada temperatura assim como boa resistência à corrosão e boa propriedade criogênica e elevada biocompatibilidade. Suas aplicações concentram-se principalmente nas indústrias aeroespacial, química, naval e mais recentemente na área de implantes. O Nióbio possui uma alta ductilidade em relação à maioria dos metais e apresenta boa condutividade térmica (52,3 W/mK). Neste trabalho, o nióbio fundido por feixe de elétrons foi usinado em um torno CNC (Comando Numérico Computacional). Verificou-se a influência da velocidade de corte no processo de torneamento cilíndrico externo em operação de acabamento na presença de fluido de corte. Utilizou-se para a operação, ferramentas de metal duro (WC/Co) sem cobertura classe ISO M15, foram avaliadas as características do cavaco formado, o desgaste da ferramenta de corte e o aspecto superficial do corpo de prova através das técnicas de microscopia eletrônica de varredura. O nível de acabamento foi avaliado através da medida de rugosidade. Procurou-se fazer uma correlação entre o desgaste da ferramenta e a superfície do corpo de prova a fim de otimizar as condições de corte utilizadas.*

**Palavras-chave:** acabamento superficial, rugosidade, nióbio, torneamento

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de materiais especiais para aplicações em altas temperaturas tem estimulado esforços de pesquisa e desenvolvimento ao longo dos anos. Sabendo-se que a temperatura máxima que um material pode ser utilizado para aplicações estruturais é limitada pelo seu ponto de fusão, no caso dos materiais metálicos, existe um crescente direcionamento para sistemas de metais refratários. Os metais que constituem este grupo são tungstênio, molibdênio, tântalo e nióbio<sup>(1)</sup>.

A utilização do nióbio e de suas ligas está ligada ao desenvolvimento de suas tecnologias de fabricação e à caracterização de suas propriedades. Uma das aplicações do nióbio puro é como revestimento de metais e ligas comuns com ferro, cobre, aço carbono e tem finalidade de proteção contra corrosão. Assim as principais aplicações destes revestimentos são em elementos de aquecimento, termopares, poços de termopares, tubos de trocadores de calor, componente eletrônicos e implantes ortopédicos<sup>(2)</sup>.

Destacam-se como as principais aplicações do nióbio puro usinado por torneamento: barras para fabricação de fios supercondutores comerciais ( $Nb_3Sn$ , NbTi), implantes, poços de termopares, além da confecção de corpos de prova para ensaios mecânicos. Na elaboração de uma lista completa dos empregos do nióbio e suas ligas, esbarra-se na resistência de muitas empresas e pesquisadores que, no intuito de se preservar da competência ocultam seus avanços pelo maior tempo possível.

Dentro dos processos de fabricação, a usinagem pertence a um grupo de processos que, sem dúvida, leva mais em consideração a precisão dimensional e o acabamento da superfície das peças produzidas. Neste caso, tem-se maior facilidade de controle sobre as variáveis com influência na qualidade das superfícies produzidas, principalmente no que se refere à textura da superfície<sup>(3)</sup>.

São vários os parâmetros de usinagem que influenciam no acabamento superficial, sendo esta uma interação entre as propriedades físicas e mecânicas do metal na camada superficial. Estas propriedades são modificadas durante o processo da usinagem devido, principalmente, aos fatores: geometria da ferramenta de corte; geometria da peça; rigidez da máquina ferramenta; material da peça; material da ferramenta e condições de corte. No que se refere às condições de corte, os parâmetros mais influentes são: o avanço ( $f$ ), o raio de ponta da ferramenta ( $r$ ), a profundidade de corte ( $a_p$ ), e por fim a velocidade de corte ( $V_c$ )<sup>(4)</sup>.

Segundo Boothroyd e Knight<sup>(5)</sup>, a rugosidade da superfície final, obtida durante a operação de usinagem, pode ser considerada como a soma de dois efeitos independentes (figura 1):

- A rugosidade da superfície teórica (padrão), que é o resultado da geometria da ferramenta e do avanço;
- A rugosidade da superfície real, que é o resultado das irregularidades da operação de corte como vibração, deformação do cavaco e fluxo lateral de cavaco.



Figura 1. Comparação da superfície teórica com a superfície real obtida em operações de torneamento<sup>(6)</sup>.

O objetivo do trabalho é fazer uma correlação entre o desgaste da ferramenta com o acabamento superficial do nióbio. Através do torneamento cilíndrico externo em máquina CNC. Para tal, fez-se a escolha da ferramenta, utilizou-se de parâmetros de corte (velocidades, avanços e profundidades de corte) coerentes com a capacidade da máquina-ferramenta; verificou-se a rugosidade após o ensaio de usinagem e analisou-se a morfologia do cavaco, ferramenta e corpo de prova em microscópio eletrônico de varredura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova (CDP) utilizados nos ensaios de usinagem, foram obtidos a partir de um lingote de nióbio fundido, em forno de feixe de elétrons à vácuo, com diâmetro e comprimento iniciais de 140 e 1200 mm respectivamente. Após o forjamento o comprimento do corpo de prova valia 180 mm e o diâmetro inicial 20 mm.

Os ensaios de usinagem por torneamento cilíndrico externo foram realizados no torno CNC ROMI, modelo Centur 30D, do Laboratório de Estudo da Usinagem (LEU). Para isso utilizou-se um suporte SVJBR 2020K 11 (Sandvik) para fixação da ferramenta de metal duro sem cobertura. Na figura 2 é mostrado um esquema do ensaio de torneamento cilíndrico externo. Foram realizados testes com a ferramenta VBMT 110304 – KF classe ISO M15 (Sandvik H13A) com fluido de corte. Utilizou-se um fluido Greensave CR-350 da Homy Química com uma vazão de 9 L/min.

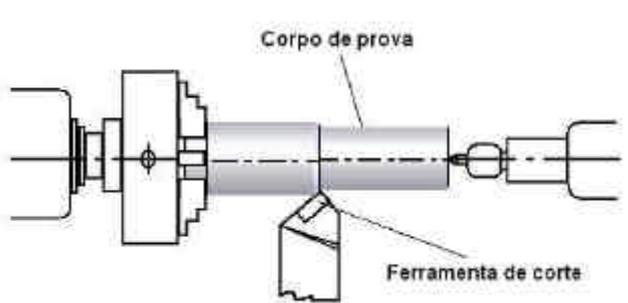


Figura 2. Esquema do ensaio de torneamento cilíndrico externo.

De acordo com o campo de aplicação do quebra cavaco representado na figura 3 foi determinada a profundidade de usinagem em 0,75 mm e o avanço em 0,07mm/volta cabe ressaltar que havia uma limitação no diâmetro do CDP não permitindo trabalhar com valores maiores de profundidade de usinagem. Com o objetivo de se observar o comportamento do par ferramenta/peça foram variados nos ensaios os valores da velocidade de corte ( $V_c$ ) em 60, 72, 86 e 100 m/min.

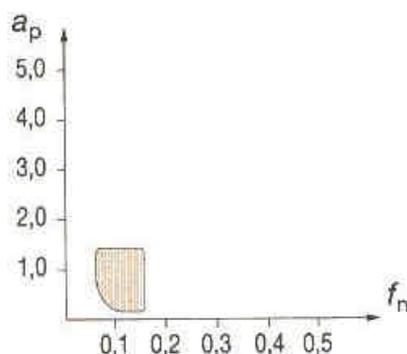


Figura 3 – Desenho esquemático do campo de aplicação do quebra cavaco KF<sup>(7)</sup>.

As medidas de rugosidade foram realizadas com a peça presa à máquina através do rugosímetro SurfTest SJ-201 da Mitutoyo (portátil) acoplado a um suporte de base magnética fixado no carro porta-ferramenta da máquina. Foram feitas três medições defasadas em 120° após um certo número de passes que a ferramenta executava na peça.

Após a usinagem foram observadas os desgastes das ferramentas e a superfície do corpo de prova correspondentes às diversas condições ensaiadas. Para tanto foram feitas análises em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), LEO modelo 1450 – VP no modo de elétrons secundários.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se pela Figura 4 o crescimento da rugosidade em função do aumento da velocidade de corte. Até a velocidade de 72 m/min verificou-se uma eficiência do fluido de corte na operação, porém com o aumento da velocidade de corte há um aumento da turbulência na interface cavaco-ferramenta proporcionando uma dificuldade no cisalhamento e como conseqüência um aumento na rugosidade. A presença do fluido de corte na torneamento do nióbio é favorável, pois consegue-se evitar a deformação excessiva do cavaco antes da quebra do mesmo o que normalmente prejudica a qualidade da superfície.

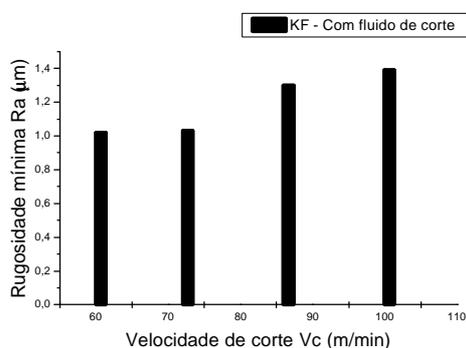


Figura 4. Valores mínimos obtidos de rugosidade ( $R_a$ ) em função das velocidades de corte utilizadas para os avanços de 0,07 mm/volta (com fluido de corte).

#### 3.1 Análise dos cavacos

Nas micrografias da Figura 5 são representados os cavacos obtidos nos diferentes ensaios com avanço de 0,07 mm/volta e pode-se observar cavacos do tipo contínuo em forma de fita. Observa-se também a sobreposição das lamelas do cavaco devido aos esforços compressivos do material que está sendo cortado da peça no que está aderido na superfície da ferramenta. Não houve diferença significativa entre as morfologias dos cavacos.

Com o aumento da velocidade de corte observa-se uma maior sobreposição dessas lamelas devidos à maior resistência oferecida pelo material do CDP que está sob condições de corte com utilização de fluido de corte que diminui a temperatura na interface ferramenta-cavaco dificultando o corte do mesmo.

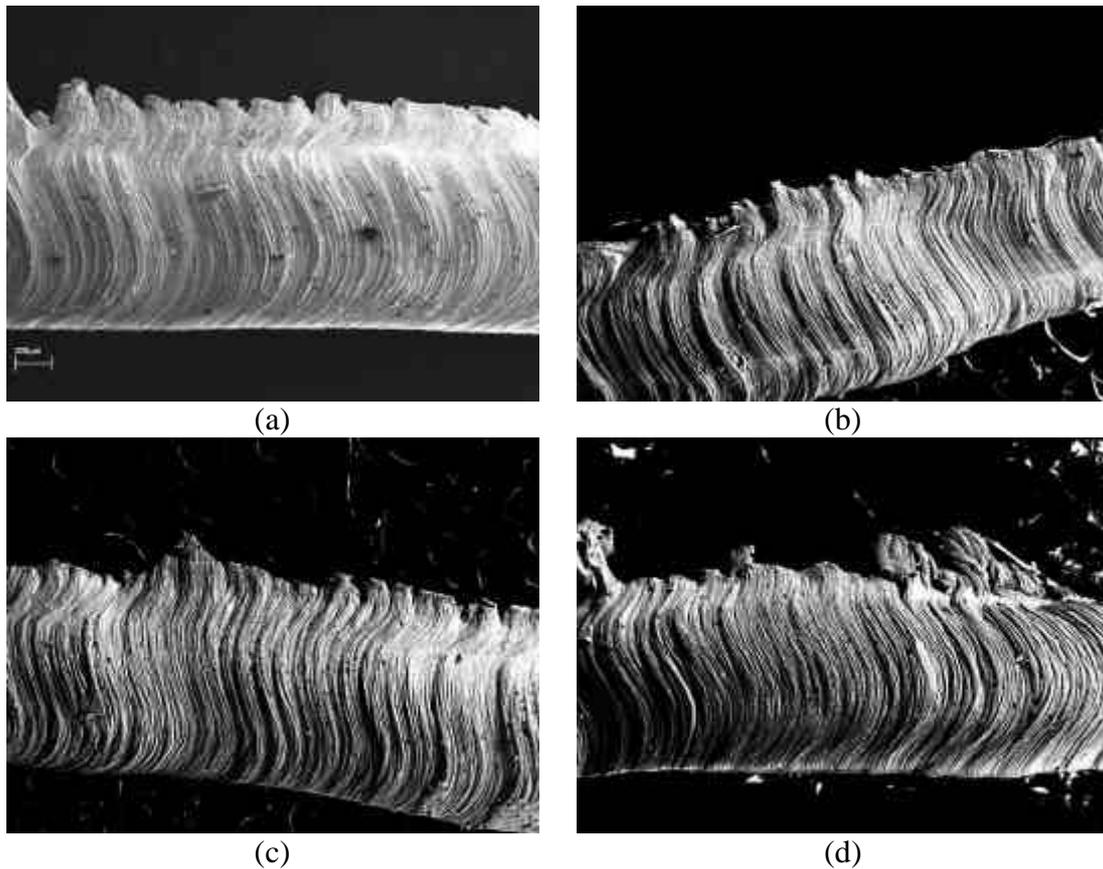


Figura 5. Micrografia dos cavacos para o avanço de 0,07 mm/volta e velocidade: a) 60 m/min b) 72 m/min c) 86 m/min d) 100 m/min.

### 3.2. Análise das ferramentas

Na Figura 6 observa-se que, as superfícies destas ferramentas apresentam pouca adesão de material do CDP. A geometria das ferramentas não apresenta mudança significativa. Com a utilização de fluido de corte houve uma minimização da ocorrência da adesão ou aderência do material, devido a uma menor temperatura relativa na zona de corte que atenua a interação do material da peça com a ferramenta.

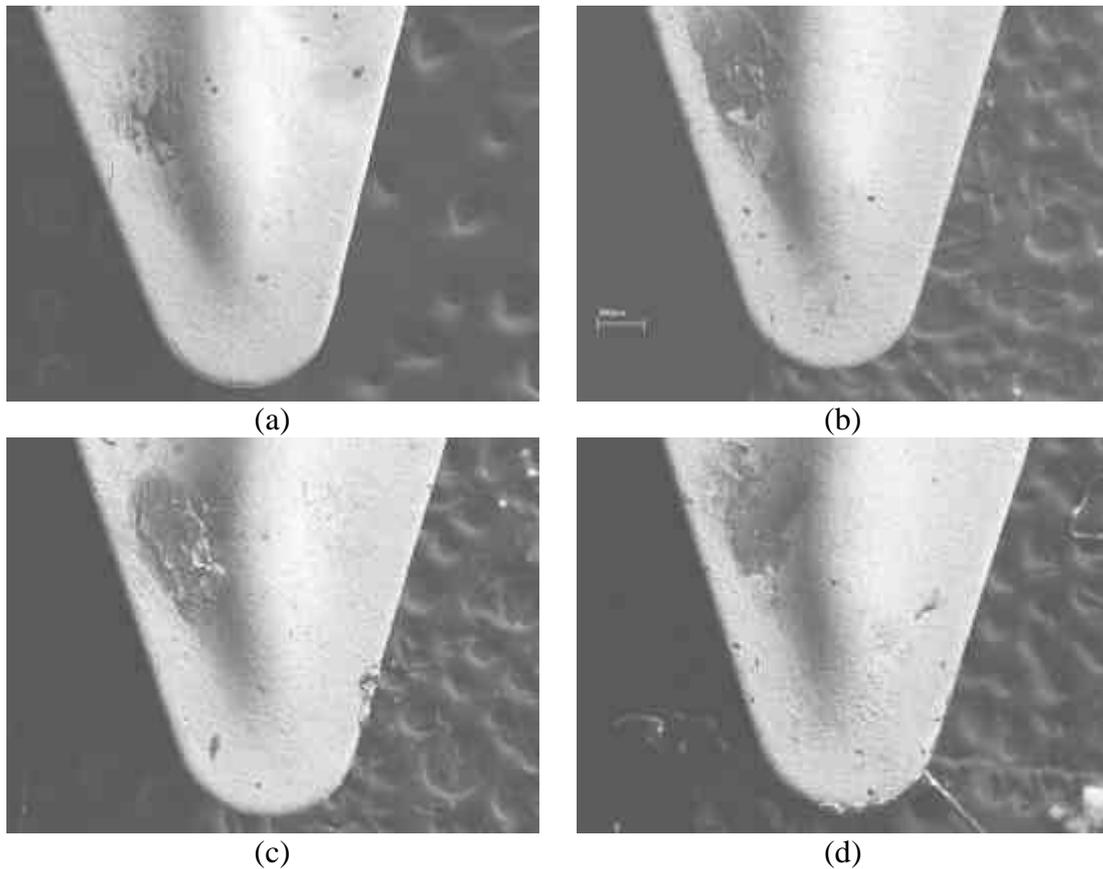


Figura 6. Micrografia da superfície dos corpos de prova para o avanço de 0,07 mm/volta e velocidade: a) 60 m/min b) 72 m/min c) 86 m/min d) 100m/min.

### 3.3 Análise da superfície dos corpos de prova

Através das micrografias da Figura 7 verificou-se que nas superfícies dos CDPs, ocorreu o aparecimento de fluxo lateral, oscilações na morfologia da superfície que indicam vibração do sistema de trabalho e adesão de “partículas” na superfície dos mesmos.

Observa-se nas micrografias a presença de fluxo lateral na superfície do corpo de prova, devido à alta ductilidade do nióbio que tende à deformação e dificulta o cisalhamento. Assim quando a aresta de corte da ferramenta passa sobre a superfície do CDP, parte do material, ao invés de ser cortado (retirado) da peça, é deformado para as regiões laterais à aresta de corte depositando-se sobre os picos da superfície do CDP. Esse fato aumenta significativamente a rugosidade do material.

Também pode ser observada nas micrografias, a presença freqüente de “partículas” nos picos da superfície do CDP, e também nos vales do mesmo. Uma provável explicação seria que estas “partículas” advêm do próprio fluxo lateral e devem ocorrer principalmente quando grande parte do material da peça adere na aresta de corte da ferramenta. Pela forma e disposição destas partículas há o aumento da rugosidade da peça. Pode-se verificar na Figura 7a a oscilação das “linhas” formadas pelos picos da superfície da ferramenta, como consequência da vibração do sistema.

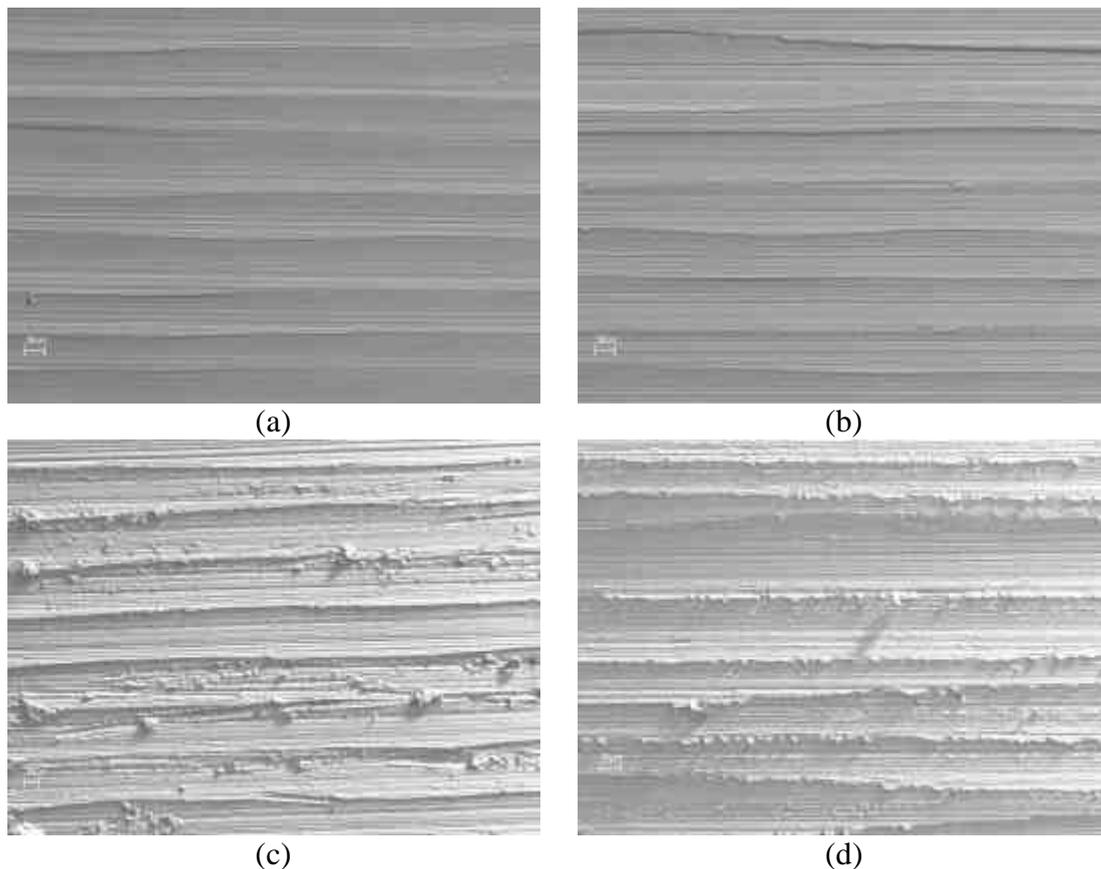


Figura 7. Micrografia da superfície dos corpos de prova com o uso de fluido de corte, para o avanço de 0,07 mm/volta e velocidade: a) 60 m/min, b) 72 m/min, c) 86 m/min, d) 100 m/min.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi possível definir parâmetros iniciais para operações de acabamento em peças cilíndricas para torneamento do nióbio em torno CNC com o uso de ferramentas de metal duro sem cobertura, sem que haja um comprometimento tanto da máquina-ferramenta como da qualidade do corpo de prova.

Através da análise da forma do cavaco, do nível de desgaste da ferramenta foi possível verificar a influência destes na qualidade da superfície gerada no processo de usinagem.

Os desgastes apresentados são visivelmente pequenos, porém o grau de acabamento proporcionado pelas ferramentas necessita de otimização na maior parte dos casos, levando à conclusão que se necessita investir mais principalmente em geometria de quebra cavaco para obter um melhor desempenho nesta usinagem.

A melhor condição encontrada para o torneamento do nióbio no torno CNC Romi foi para uma velocidade de corte de 60 m/min e avanço 0,07 mm/volta e profundidade de usinagem de 0,25 mm na presença de fluido de corte com a ferramenta VBMT – KF.

As ferramentas de forma geral não sofreram desgaste excessivo. A contribuição maior para os altos valores de avanço se deve a alta plasticidade do nióbio, o qual deformava-se muito sem se romper em diversas situações.

#### 5. AGRADECIMENTOS

A FAPESP pela concessão da bolsa de mestrado n° 01/03607-6, Auxílio Individual n° 01/00759-0 e a Sandvik pela doação das ferramentas de metal duro.

## 6.REFERÊNCIAS

1. BLIANT C. L., Processing Refractory Metals. The tradicional and the Novel. JOM, **Journal of Metals**. April, 1999.
2. BALLIET, W. R., COSCIA, M., HUNKELER, J., Niobium and tantalum in materials selection. **Journal of Metals**, v. 39, n. 9, p. 25-27, 1986.
3. BOEHS, L., STEIDEL, P. S., FRIEDRICH, D. Como os parâmetros de usinagem e a geometria da ferramenta influenciam a rugosidade cinemática e do processo. **Máquinas e Metais**, nº 435, p. 242 – 265, abril, 2002.
4. REIS, M.A. e SILVA M.B. Análise das Superfícies Usinadas em Presença de Aresta Postiça de Corte. **Anais: I Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2001.
5. SALLES, J. L. C.; GONÇALVES, M. T. T.; CORRÊA L.. O. Rugosidade superficial em operações de torneamento. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, 2001.
6. CUNHA, E.A. e RIBEIRO, M.V. O compromisso da rugosidade com a velocidade de corte. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, vol. 40, n. 457, p. 132-138, 2004.
7. Sandvik Coromant, Produtos para Usinagem – Ferramentas para Torneamento, **Catálogo de Ferramentas para Torneamento**, Sandvik do Brasil SA – divisão Coromant, p. A246, abril/2000.

## MACHINING NIOBIUM - CORRELATION BETWEEN TOOL WEAR AND THE SUFARCE FINISHING

**Gislene Valdete Martins\***

e-mail: [gislene@ppgem.fauenquil.br](mailto:gislene@ppgem.fauenquil.br)

**João Paulo Barros Machado\***

e-mail: [joaopaulo@ppgem.fauenquil.br](mailto:joaopaulo@ppgem.fauenquil.br)

**Marcos Roberto Vargas Moreira\***

e-mail: [mzenga@ppgem.fauenquil.br](mailto:mzenga@ppgem.fauenquil.br)

**Elias Alves da Cunha\***

e-mail: [eliasac@zipmail.com.br](mailto:eliasac@zipmail.com.br)

**Marcos Valério Ribeiro\***

e-mail: [mvalerio@demar.fauenquil.br](mailto:mvalerio@demar.fauenquil.br)

\*Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR) – FAENQUIL  
Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n, bairro: Mondezir  
C.P. 116, CEP. 12970-000, Lorena - SP, Brasil

**ABSTRACT:** *The niobium is part of the group of the refractory materials that possesses excellent mechanical behavior in high temperature as well as good corrosion resistance in several aggressive ways. It is biocompatible, and either, it has resistance to the attack biological fluids. Among its applications, can be cited: atomic reactors, superconducting wires, thermocouple protection and in the aerospace industry. Niobium has high ductility in relation to the majority of metals and presents good thermal conductivity (52,3 W/m K). In this work, the electron beam melted niobium (high purity) was machined on a computer numerically controlled (CNC) lathe (Romi). It could be seen the influence of the cutting speed in the external cylindrical turning process, on*

*finishing operation and with cut fluid. The used tool was VBMT 110304 – KF ISO M15 class, uncoated (Sandvik H13A). The chip's morphological characteristics, workpiece's surface and cutting tool wear were analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The finishing quality was analyzed by roughness measurements. It was made a correlation between the cutting tool wear and the workpiece's surface, so that one could optimize the cutting parameters.*

**Key-words:** *Surface finishing, roughness, niobium, turning*