

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA FERRAMENTA SOBRE A INTEGRIDADE DE PARAFUSOS DE TITÂNIO

Felipe D. Monteiro^{1*} Carlos E. H. Ventura¹ Armando I. S. Antonialli¹

*1 - Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).
Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, CEP 13565-905, SP.*

felipe.dias@estudante.ufscar.br

RESUMO

Ligas de titânio são amplamente utilizadas no meio ortopédico na confecção de implantes para restauração óssea, sendo que fatores relacionados à sua integridade superficial influem diretamente na osseointegração, ou seja, formação de células de tecido ósseo integrando o implante ao corpo do paciente. Tendo isso em vista, este estudo tem como objetivo avaliar os impactos da geometria de ferramenta, mais especificamente do ângulo de folga e do chanframento, na integridade superficial de corpos de prova usinados em titânio comercialmente puro e na liga de titânio Ti-6Al-4V ELI. O ângulo de folga de uma ferramenta de corte está diretamente ligado com o atrito peça-ferramenta e por conseguinte com o seu desgaste, além de influir no amortecimento de vibrações inerentes ao processo; o chanframento, por sua vez, está intimamente ligado à preservação da aresta de corte ante a avarias. No entanto, a influência da combinação dessas variáveis sobre a integridade superficial ainda foi pouco explorada. Foram utilizados insertos de metal duro classe K10, previamente retificados e caracterizados com ângulos de folga de 8° e 11° e com ângulo de chanfro de 0° e 20°. Os corpos de prova, nas duas ligas mencionadas, foram usinados seguindo a norma ASTM F746 e, em seguida, submetidos à análise em um microscópio confocal Alicona para caracterização das superfícies de interesse, tendo como alvo os parâmetros de rugosidade R_a , R_{sk} e R_{ku} , os dados foram então tratados utilizando de uma análise ANOVA. Foi observado que tanto o ângulo de folga quanto o chanfro tem influência sobre o fator R_a , sendo a combinação de um ângulo de folga maior com a presença de chanfro responsável por valores de R_a muito acima das demais combinações, enquanto o R_{ku} é influenciado principalmente do ângulo de folga e para o R_{sk} apenas o material se mostrou como variável influente.

Palavras-chave: Retificação. Preparação de aresta. Rosqueamento. Rugosidade.

INTRODUÇÃO

A osseointegração é definida como um processo de cicatrização dependente do tempo pelo qual a fixação rígida clinicamente assintomática de materiais aloplásticos é alcançada e mantida no osso durante a carga funcional. O uso de placas e parafusos é difundido no meio ortopédico, sendo este método utilizado em diversas fraturas e sendo altamente adaptável às necessidades do paciente⁽¹⁾.

As ligas de titânio, em especial, apresentam grande utilidade nestas aplicações, pois possuem densidade e elasticidade próximas ao ideal e não se corroem facilmente, além de serem inertes ao corpo humano, ou seja, não causam reações alérgicas ou patológicas quando implantado em humanos⁽²⁾. Surge então a necessidade de compreender como o processo de fabricação influencia na qualidade superficial do implante.

Análises experimentais e numéricas avaliando desgaste e performance de ferramentas de PCD mostraram que durante o microfresamento de topo ferramentas com ângulos de folga grandes combinados com grandes ângulos de saída geram um melhor acabamento superficial em diferentes ligas de titânio⁽³⁾.

Investigações acerca da influência da aresta postiça de corte, no corte ortogonal da liga Ti-6Al-4V, mostram que mesmo em microescala há o surgimento de aresta postiça e que forças de corte maiores resultaram num melhor acabamento superficial⁽⁴⁾.

Ainda no processo de corte ortogonal, foi demonstrado que ângulos de folga menores geram maior deformação da superfície usinada, resultado das maiores forças de atrito entre ferramenta e peça envolvidas no processo⁽⁵⁾.

Uma análise entre regeneração de vibração ativa e geometria de ferramenta mostrou que há redução de vibração quando utilizadas ferramentas com ângulo de folga grande, sendo o resultado otimizado para ângulos entre 15° e 20°, gerando um melhor acabamento superficial⁽⁶⁾.

Estudos sobre a influência da micro geometria da aresta de corte sobre a rugosidade superficial e a formação de camada branca durante a operação de corte ortogonal do aço AISI 52100, mostram que a largura de chanfro e o ângulo de chanfro exercem grande influência sobre o acabamento superficial e indicam que o uso de ferramentas chanfradas diminui a rugosidade superficial⁽⁷⁾.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da geometria de ferramenta, ângulo de folga e ângulo de chanfro, sobre os parâmetros de rugosidade, Ra, Rsk e Rku, encontrados em corpos de prova de Ti-6Al-4V ELI^(8, 9) e titânio comercialmente puro #4^(8, 10), usinados de acordo com a norma ASTM F746(11).

MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiro, foram preparados corpos cilíndricos com diâmetro de 6,35mm e 40mm de comprimento, sendo 8 corpos de Ti-6Al-4V ELI^(8, 9) e 8 de titânio puro #4^(8, 10), cujas composições estão dispostas na Tabela 1, preparados em torneamento convencional.

Tabela 1: Composição das Ligas Utilizadas

Elemento:	Composição, %, m/m	
	Ti-6Al-4V ELI	Titânio puro #4
Nitrogênio, max	0,05	0,05
Carbono, máx	0,08	0,08
Hidrogênio, max	0,012	0,015
Ferro, máx	0,25	0,50
Oxigênio, máx	0,13	0,40

Alumínio	5,5 – 6,5	–
Vanádio	3,5 – 4,5	–

Posteriormente os corpos foram usinados conforme a norma ASTM F746 (Figura 1), utilizando torno CNC ROMI Centur 30 D (Figura 2) e aplicação abundante de fluido sintético, variando a geometria de ferramenta utilizada e o material do corpo de prova, gerando 8 variantes com réplica.

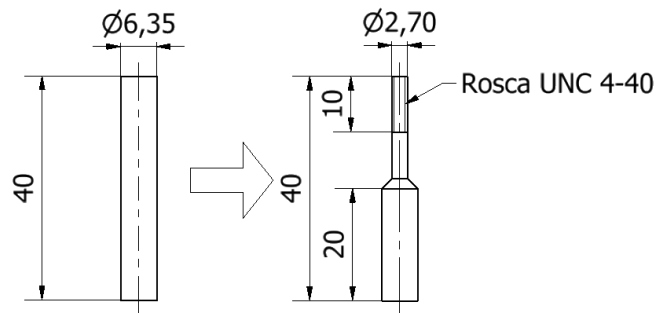


Figura 1: Corpos de prova pré e pós usinagem.



Figura 2: Torno CNC ROMI Centur 30D

Após a preparação dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos à análise dos parâmetros de interesse, R_a , R_{sk} e R_k , em microscopia tridimensional utilizando microscópio confocal Alicona Infinity Focus (Figura 3), com foco nas áreas cilíndricas de menor diâmetro.



Figura 3: Microscópio Confocal Alicona Infinity Focus.

Obtidos os parâmetros de interesse foi realizada uma análise de variância ANOVA, com verificação sobre quais fatores e suas interações influem num intervalo de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise no microscópio confocal, foram obtidas imagens tridimensionais da área usinada de cada corpo de prova produzido (Figura 5), a partir das quais foram obtidos os parâmetros R_a , R_{sk} e R_{ku} , posteriormente analisados através da análise ANOVA.

A partir da análise ANOVA dos dados foram obtidas as variáveis trabalhadas que influem em um intervalo de confiança de 95% para cada parâmetro de rugosidade analisado.

Para o parâmetro R_a o ângulo de folga (p-valor: 0,00004), o ângulo de chanfro (p-valor: 0,00003) e sua interação (p-valor: 0,00004), foram considerados influentes, como pode ser observado no gráfico das médias do R_a (Figura 6(a)) e no diagrama de efeitos principais (Figura 6(b)). Nesses resultados é importante ressaltar que a combinação de um ângulo de folga maior e a presença de chanfro na ferramenta produziram o corpo com pior resultado em termos de rugosidade média.

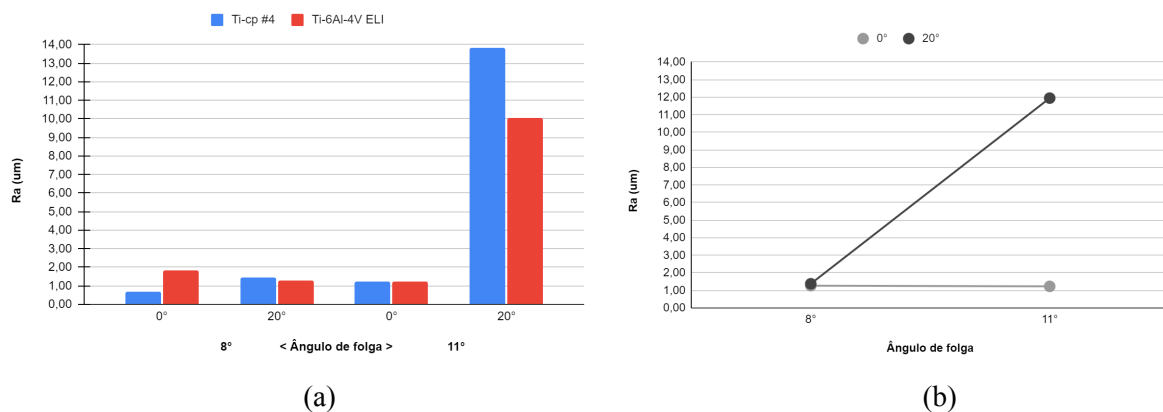


Figura 6: (a) Médias R_a (b) Diagrama de efeitos principais R_a

Para o parâmetro R_{sk} apenas o material do corpo de prova mostrou-se influente (p-valor: 0,044) sendo que as demais variáveis e suas interações não apresentam influência, tal efeito é evidenciado no gráfico das médias do fator (Figura 7), onde é possível observar que apesar de uma predominância de valores positivos, indicando vales mais largos que picos, os valores são evidentemente maiores para as amostras de Ti-6Al-4V ELI.

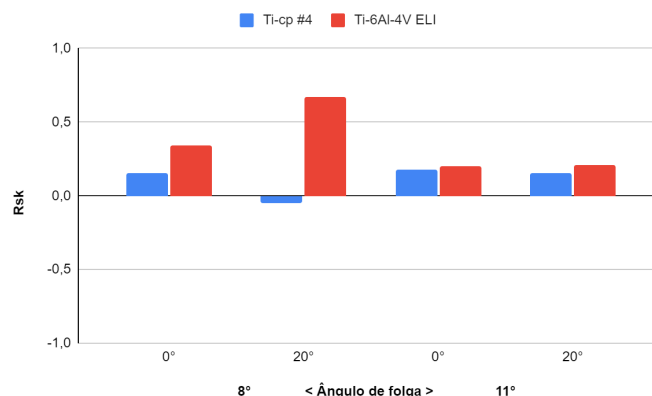


Figura 7: Média do fator R_{sk}

Para o parâmetro R_{ku} o fator de influência encontrado é o ângulo de folga (p-valor: 0,023) e sua interação com o ângulo de chanfro (p-valor: 0,049), fator evidenciado no diagrama de efeitos principais (Figura 8(a)). Observando o gráfico de médias (Figura 8(b)) para o parâmetro é possível também observar que a repetibilidade da distribuição entre picos e vales é aquém de uma distribuição normal, uma vez que, para todas as interações o parâmetro se manteve abaixo de 3.

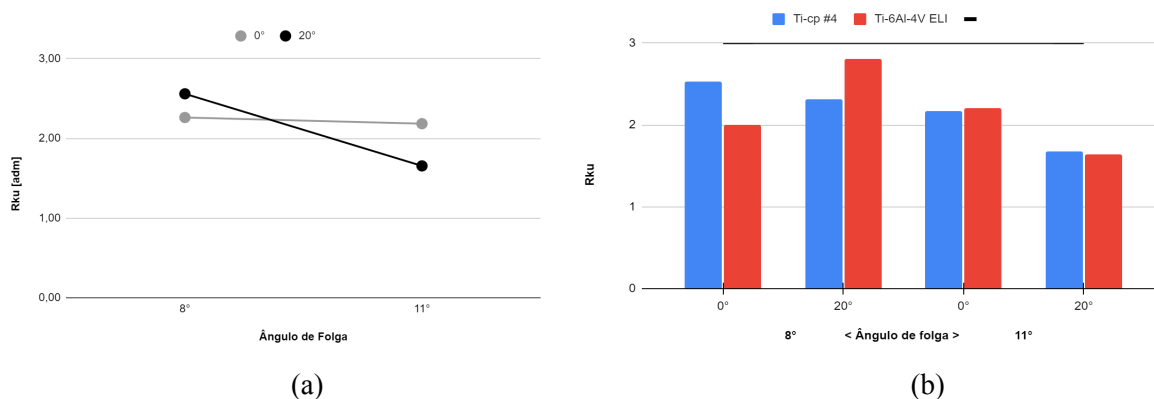


Figura 8: (a) Diagramas de efeitos principais R_{ku} (b) Médias do R_{ku}

CONCLUSÕES

A partir do trabalho e análise propostos foi possível identificar os principais fatores de influência sobre os parâmetros de rugosidade superficial alvo deste trabalho. Partindo da análise estatística dos parâmetros encontrados através da microscopia tridimensional, é passível de conclusão que a geometria de ferramenta tem forte influência sobre os parâmetros R_a e R_{ku} , ou seja afetam a rugosidade média e a repetibilidade da distribuição de picos e vales, enquanto o material é fator relevante para assimetria entre picos e vales (R_{sk}).

Com os resultados encontrados é possível ainda observar que a combinação de um ângulo de folga maior, 11°, e a presença de chanfro produziram não só o maior valor para rugosidade média (R_a), como também produziram a menor repetibilidade de distribuição entre picos e vales (R_{ku}), evidenciando uma correlação entre os dois parâmetros.

Portanto para fins de controle dos parâmetros R_a e R_{ku} é necessária uma análise sobre a geometria de ferramenta, enquanto para o controle do parâmetro R_{sk} a análise recai sobre o material escolhido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à FAPESP (Processos n° 2015/15622-2, 2017/12309-7 e 2017/12304-5) pela concessão do orçamento que permitiu a realização deste trabalho e a ao CNPq pela bolsa de fomento à pesquisa concedida.

REFERÊNCIAS

1. ZARB, G. A.; THOMAS, A. Osseointegration: a requiem for the periodontal ligament. International Journal Periodontics Restorative Dent, v. 11, n. 1, p. 88-91, 1991
2. BLACK, J.; HASTINGS, G. Handbook of Biomaterial Properties. 1. ed. USA: Chapman Hall, 1998.
3. BAI, J.; BA, Q.; TONG, Z. Experimental and multiscale numerical investigation of wear mechanism and cutting performance of polycrystalline diamond tools in micro-end milling of

- titanium alloy Ti-6Al-4V. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials., v.74, p. 40-51, 2018
4. OLIAEI, S. N.; KARPAT, Y. Investigating the influence of built-up edge on forces and surface roughness in micro scale orthogonal machining of titanium alloy Ti6Al4V. Journal of Materials Processing Technology., v. 235, p. 28-40, 2016
 5. LIU, B.; ZHOU, X.; ZHAN, X. Orthogonal machining introduced microstructure modification in AA7150-T651 aluminum alloy. Materials Characterization., v.123, p.91-98, 2017.
 6. SARAVANAMURUGAN, S.; SUNDAR, B. S.; SHANMUGASUNDARAM, A. Optimization of cutting tool geometry and machining parameters in turning process. Materials Today: Proceedings. v.38, n.5, p.3351-3357, 2021.
 7. ZHANG, W.; ZHUANG, K. Effect of cutting edge microgeometry on surface roughness and white layer in turning AISI 52100 steel. Procedia CIRP. v.87, p.53-58, 2020.
 8. ASTM INTERNATIONAL. B348/B348M: Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Bars and Billets. West Conshohocken, 2021
 9. ASTM INTERNATIONAL. F136-13: Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminum-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401). West Conshohocken, 2021
 10. ASTM INTERNATIONAL. F67-13: Standard Specification for Unalloyed Titanium, for Surgical Implant Applications (UNS R50250, UNS R50400, UNS R50550, UNS R50700). West Conshohocken, 2017.
 11. ASTM INTERNATIONAL. F746-04: Standard Test Method for Pitting or Crevice Corrosion of Metallic Surgical Implant Materials. West Conshohocken, 2021

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE TOOL GEOMETRY ON THE INTEGRITY OF TITANIUM SCREWS

ABSTRACT

Titanium alloys are widely used in the orthopedic environment in the manufacture of implants for bone restoration, and factors related to their surface integrity directly influence osseointegration, that is, formation of bone tissue cells integrating the implant into the patient's body. With this in mind, this study aims to evaluate the impacts of tool geometry, more specifically the clearance angle and chamfering, on the surface integrity of specimens machined from commercially pure titanium and titanium alloy Ti-6Al-4V ELI. The clearance angle of a cutting tool is directly linked to the part-tool friction and therefore to its wear, in addition to influencing the damping of vibrations inherent to the process; chamfering, in turn, is closely linked to the preservation of the cutting edge against damage. However, the influence of the combination of these variables on the surface integrity has not yet been explored. K10 class carbide inserts were used, previously ground and characterized with clearance angles of 8° and 11° and with a chamfer angle of 0° and 20°. The specimens, in the two mentioned alloys, were machined according to ASTM F746 and then submitted to analysis in an Alicona confocal microscope to characterize the surfaces of interest, targeting the roughness parameters R_a , R_{sk} and R_{ku} , the data were then processed using an ANOVA analysis. It was observed that both the clearance angle and the chamfer have an influence on the R_a factor, and the combination of a larger clearance angle with the presence of a chamfer is responsible for R_a values far above the other combinations, while the R_{ku} is mainly influenced by the chamfer. clearance angle and for R_{sk} only the material proved to be an influential variable.

Keywords: Grinding. Edge preparation. Threading. Roughness.