



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA GEOMETRIA DE FERRAMENTAS DE CORTE NA USINAGEM INTERNA DE IMPLANTES ODONTOLÓGICOS DE TITÂNIO GRAU 4

Ricardo Signorelli^{1*}, Ivan M. Baberge¹, Wellington E. do Nascimento¹, Cleiton L. F. de Assis², Juno Gallego¹

1 - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Avenida Brasil Centro, 56, Ilha Solteira, CEP 15385-000, SP.

r.signorelli@unesp.br

2 – Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Votuporanga, SP.

Resumo: O desempenho de ferramentas de corte na usinagem com geometria definida está relacionado ao material da ferramenta, recobrimento e geometrias. Considerando a usinagem de materiais de difícil usinabilidade, como o titânio, as limitações tecnológicas de materiais e recobrimentos limitam pesquisadores a abordar a geometria da cunha de corte, com alterações dos ângulos das superfícies e arestas de corte para redução das componentes da força de usinagem, do atrito e consequentemente do desgaste. Estudar o efeito de geometrias de ferramentas de corte em condições severas de usinagem resulta em aprimoramentos do processo produtivo e melhor compreensão de aspectos fenomenológicos inerentes ao mecanismo de remoção de material. O objetivo deste trabalho é avaliar o desgaste de ferramentas de corte, considerando a geometria, durante o processo de torneamento interno de implantes odontológicos. O material utilizado foi o Titânio Grau 4 (ASTM F67), comumente aplicado na fabricação de implantes biocompatíveis. Nos testes de usinagem foi empregado um Torno Tipo Suíço CNC de cabeçote móvel, marca Star, modelo SR20RII. As ferramentas de corte utilizadas são de metal duro, sem revestimento. Nas operações de usinagem foi comparado o desempenho de duas geometrias de corte distintas. Foram usinadas 3000 peças para análise do desgaste de cada ferramenta de corte. Microscopia ótica foi empregada nas análises de desgaste das ferramentas e superfície usinada. A rugosidade das peças também foi avaliada. Os resultados revelaram que uma cunha de corte de $74,5^\circ$ incorre em lascamento da ponta de corte e redução da rugosidade devido a escoamento lateral de material. O aumento do ângulo de cunha (90°) gera desgaste de cratera, porém com aumento da resistência mecânica da ponta de corte e formação de marcas de avanço definidas na superfície usinada. Uma combinação adequada de geometrias da ferramenta de corte tende a melhor controle da topografia da superfície usinada, possibilitando uma vida maior para a ferramenta de corte, culminando em maior produtividade e qualidade na fabricação de implantes dentários.

Palavras-chave: Implantes odontológicos; Torneamento interno; Titânio grau 4; Geometria de ferramenta; Desgaste.

INTRODUÇÃO

A demanda por implantes biomédicos manufaturados tem sido crescente ao longo das últimas décadas, principalmente com o aumento do mercado de biomateriais para as mais diversas

aplicações ⁽¹⁾. O titânio é um dos materiais utilizados na fabricação de implantes odontológicos, principalmente devido sua capacidade de integração óssea e boas propriedades mecânicas, resistência a corrosão em altas temperaturas, relação resistência-peso e biocompatibilidade ⁽²⁾. O titânio e suas ligas são classificados como materiais de difícil usinabilidade. Sendo assim, o acabamento das peças, produtividade e qualidade do processo de usinagem dependem do controle do desgaste das ferramentas de corte, o qual é mais intenso na interação com o titânio durante o corte ⁽²⁾. Estas características são devidas a baixa condutividade térmica, reatividade química a altas temperaturas e instabilidade termoplástica do material ⁽²⁻³⁾. Por esse viés, a necessidade de estudos voltados ao desempenho da ferramenta de corte e do processo de usinagem é relevante ⁽²⁾. Uma das abordagens desses estudos é a conciliação entre geometria de corte e uma seleção adequada dos parâmetros de corte ⁽²⁻³⁾.

A geometria da ferramenta de corte possui um papel considerável na solução de problemas relativos a materiais de baixa usinabilidade, principalmente quando submetidas a condições severas de usinagem ⁽⁴⁾. Com relação a fabricação de implantes dentários, a estabilidade do processo de usinagem é crucial para garantir que cada operação de usinagem não seja negativamente afetada pela operação anterior.

Os tipos de desgaste mais comuns na usinagem do titânio é o desgaste de flanco e de cratera ⁽⁵⁾. Nesse sentido, as geometrias estudadas visam minimizar esses tipos de desgastes, aumentando a vida útil da ferramenta e consequentemente estabilidade de processo, resultando em ganho produtivo ⁽⁶⁾.

O objetivo desse artigo é analisar o desempenho de ferramentas de corte para o torneamento interno de implantes de titânio grau 4 ASTM F67. Análises de microscopia óptica e rugosidade foram aplicadas na avaliação da integridade das ferramentas de corte e superfície usinada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Operações de torneamento interno foram realizadas com auxílio de um torno CNC, 5 eixos, da marca STAR, modelo SR20RII e rotação máxima do eixo-arvore de 7500 rpm. Nos ensaios de usinagem foi empregado fluido de corte em abundância, utilizando o óleo mineral ECOCUT 910, próprio para usinagem de titânio e suas ligas. As ferramentas de corte utilizadas são de metal duro K40, sem recobrimento, confeccionadas especificamente para esta pesquisa. Sendo assim, duas geometrias distintas de ferramentas de corte foram produzidas numa afiadora CNC da marca SCHUTTE, modelo 305, linear. Os rebolos de afiação são do tipo diamantado com tamanhos médios de grão de 64 µm para a operação de desbaste e 46 µm para a operação de acabamento. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática das ferramentas de corte. A principal diferença está na configuração geométrica da cunha de corte.

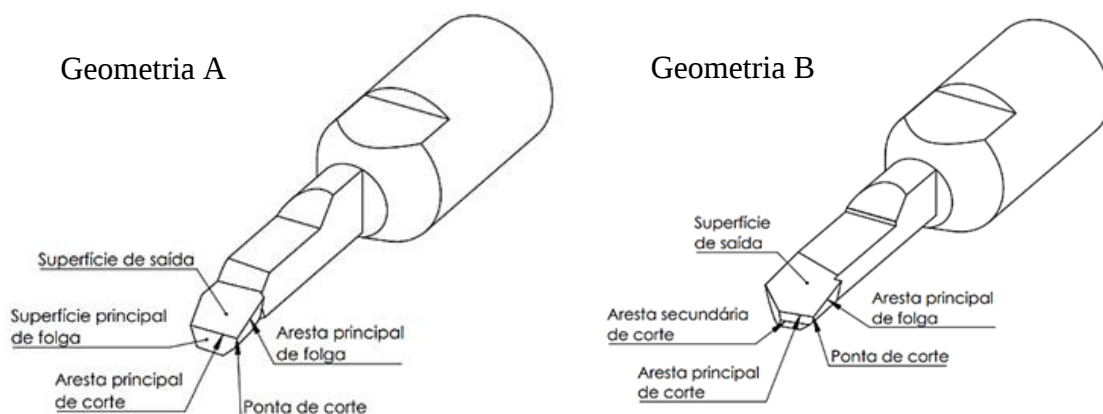


Figura 1: Representação esquemática das ferramentas de corte para o torneamento interno.

Os ângulos das ferramentas de corte são apresentados na Tabela 1, nomeadas de ferramentas de geometria A e geometria B. Os parâmetros de usinagem adotados para ambas ferramentas de corte foram velocidade de corte de 16 m/min, avanço de 0,015 mm/rot, profundidade de usinagem de 0,07 mm e comprimento de usinagem de 2,5 mm, os quais são comumente empregados na usinagem de implantes dentários pela indústria. Após a usinagem de 3000 peças, as ferramentas de corte e a superfície usinada das últimas 3 peças usinadas por cada ferramenta foram analisadas com auxílio de um microscópio da marca Leica, modelo DM750M, com ampliação máxima de até 1000 vezes.

Tabela 1: Ângulos de ferramenta de corte adotados nos experimentos de usinagem.

Geometria de corte [°]	Geometria A	Geometria B
Ângulo de folga (α)	12	6
Ângulo de cunha (β)	74,5	90
Ângulo de saída (γ)	3,5	-6

O material utilizado para fabricação dos implantes odontológicos foi o Titânio puro GRAU 4, conforme especificações da norma ASTM F67, fornecido no formato de barras cilíndricas retificadas, tratadas termicamente por recozimento e com tamanho médio de grão de 10 μm . As principais propriedades mecânicas são: limite de escoamento de 574 MPa, resistência à tração de 800 MPa, alongamento de 36%.

A rugosidade das superfícies usinadas foi avaliada com auxílio de um rugosímetro digital por contato da marca Mitutoyo, modelo SJ-210. Os parâmetros avaliados foram o Ra, Rq e Rz. Três medidas de rugosidade foram realizadas em cada um dos três corpos de prova de cada condição de usinagem para cálculo das médias, considerando um intervalo de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta imagens de microscopia óptica da superfície de saída das ferramentas de corte adotadas nos experimentos de torneamento interno. Considerando as geometrias adotadas, em ambas ferramentas houve arredondamento da ponta das ferramentas, indicando a possibilidade de desgaste de flanco na superfície de folga, a qual ainda requer maior investigação no desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, é possível identificar lascamento na ponta da ferramenta de geometria A e desgaste de cratera na superfície de saída da ferramenta de geometria B.

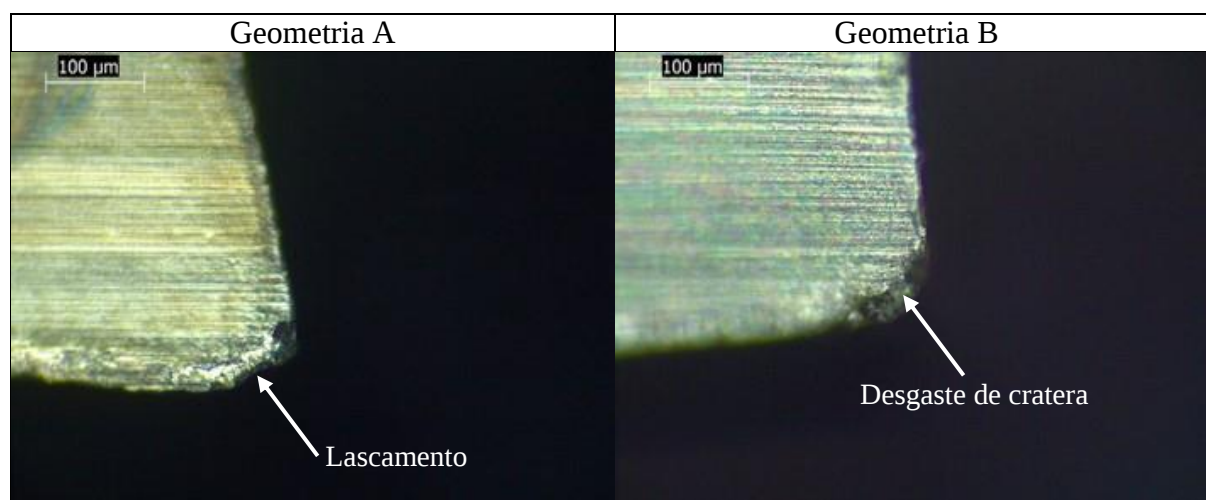


Figura 2: Imagens de microscopia óptica da superfície de saída das ferramentas de corte.

A Figura 3 apresenta as imagens de microscopia óptica da superfície usinada com ferramentas de corte de diferentes geometrias. A superfície usinada com a ferramenta de geometria B revelou a presença de marcas de avanço, indicando que o mecanismo de cisalhamento do material foi predominante durante o processo de corte, enquanto a superfície usinada com a geometria A apresentou riscos perpendiculares a direção do avanço da ferramenta e sem marcas de avanço definidas. O aumento do ângulo de cunha resultou em maior resistência mecânica da ponta da ferramenta durante o corte, enquanto o lascamento observado na ferramenta com menor ângulo de cunha resultou no surgimento de defeitos identificados na superfície usinada.

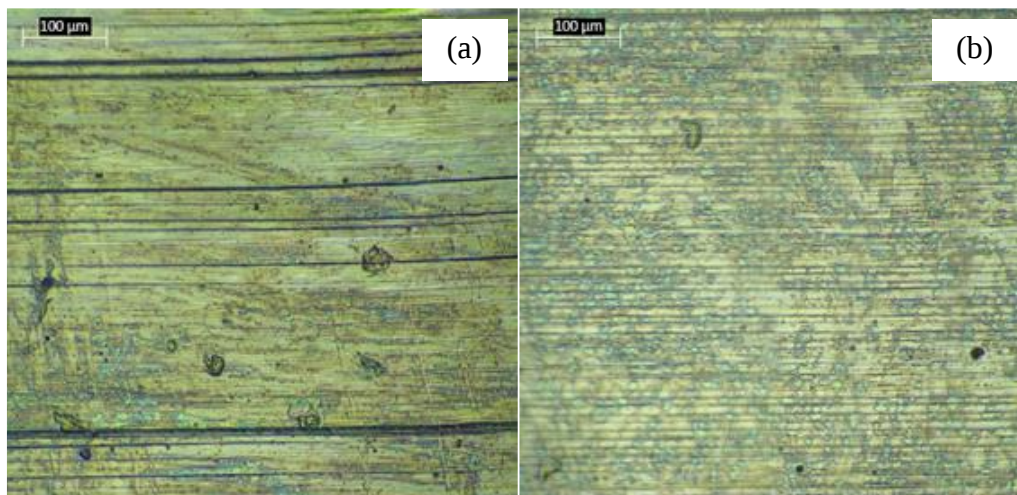


Figura 3: Imagens de microscopia óptica da superfície usinada com as ferramentas de (a) geometria A e (b) geometria B.

A rugosidade da superfície usinada também foi avaliada para auxiliar na compreensão e correlação entre formação da superfície da peça e o desgaste das ferramentas de corte. A análise da rugosidade R_a indicou uma rugosidade 30% menor na superfície usinada com ferramenta desgastada de geometria A, quando comparada a geometria B. O mesmo efeito do desgaste também é observado na análise do R_q , o qual considera os desvios em relação a rugosidade média e é estatisticamente mais confiável. Com relação ao R_z , não houve diferença estatística entre as médias, apesar de uma tendência da geometria A em formar uma superfície com topografia diferente a da geometria B. A usinagem de mais corpos de prova poderia revelar uma diferença estatística entre as médias, conforme o desgaste das ferramentas de corte aumentasse. Contudo, o procedimento afetaria a precisão geométrica das peças, prejudicando a produção da empresa apoiadora da pesquisa.

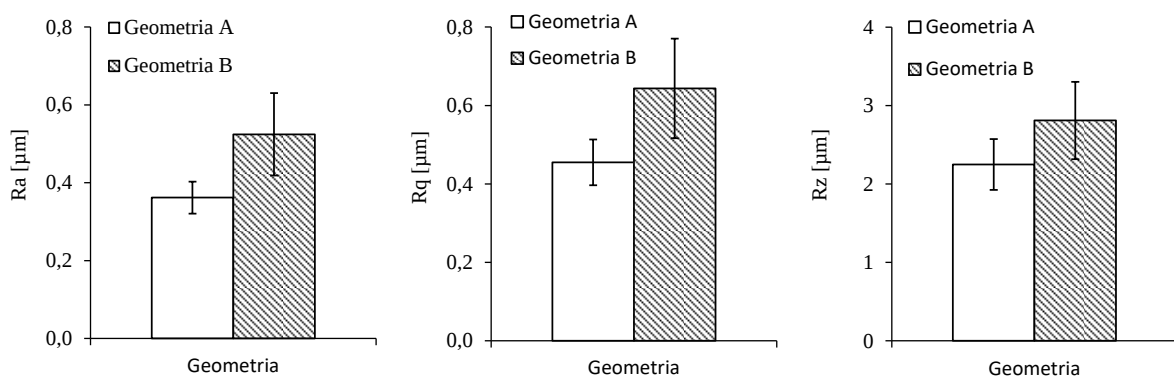


Figura 4: Gráficos da rugosidade das peças usinadas com diferentes geometrias de ferramentas de corte.

CONCLUSÕES

Ferramentas de metal duro com duas geometrias de corte distintas foram empregadas no torneamento interno de implantes dentários de titânio. Um ângulo de cunha de 74,5° apresenta lascamento da ponta de corte, resultando em possível deformação plástica da superfície usinada e presença de defeitos, enquanto o ângulo de 90° aumenta a resistência mecânica da ferramenta de corte, presença de desgaste de cratera, porém melhor controle de acabamento da peça, com presença de marcas de avanço definidas. Na continuidade deste trabalho, outros parâmetros de usinagem serão testados, visando identificar condições de usinagem para a ferramenta de geometria B que favoreçam a produtividade, conciliada com a qualidade do produto final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Implalife Biotecnologia Ltda pela infraestrutura, materiais e ferramentas de corte utilizados nos experimentos de usinagem.

REFERÊNCIAS

1. DAVIS, Rahul et al. A comprehensive review on metallic implant biomaterials and their subtractive manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 1-58, 2022.
2. PRAMANIK, Alokesh; LITTLEFAIR, Guy. Machining of titanium alloy (Ti-6Al-4V)—theory to application. Machining science and technology, v. 19, n. 1, p. 1-49, 2015.
3. PRAMANIK, Alokesh. Problems and solutions in machining of titanium alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 70, n. 5, p. 919-928, 2014.
4. CHE-HARON, C. H.; JAWAID, A. The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V. Journal of materials processing technology, v. 166, n. 2, p. 188-192, 2005.
5. LI, Guojian et al. Low adhesion effect of TaO functional composite coating on the titanium cutting performance of coated cemented carbide insert. Materials & Design, v. 110, p. 105-111, 2016.
6. FESTAS, António; RAMOS, Antonio; DAVIM, Joao Paulo. Machining of titanium alloys for medical application-a review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 236, n. 4, p. 309-318, 2022.

PERFORMANCE EVALUATION OF THE GEOMETRY OF CUTTING TOOLS IN THE INTERNAL MACHINING OF GRADE 4 TITANIUM DENTAL IMPLANTS

Abstract: *The performance of cutting tools in machining with defined geometry is related to tool material, coating and geometries. Considering the machining of difficult-to-machine materials, such as titanium, the technological limitations of materials and coatings limit researchers to approach the geometry of the cutting wedge, with changes in the angles of the surfaces and cutting edges to reduce the machining force components, friction and consequently wear. Studying the effect of cutting tool geometries in severe machining conditions results in improvements in the production process and a better understanding of phenomenological aspects inherent to the material removal mechanism. The objective of this work is to evaluate the wear of cutting tools, considering the geometry, during the internal turning process of dental implants. The material used was Titanium Grade 4 (ASTM F67), commonly used in the manufacture of biocompatible implants. In the machining tests, a Swiss-Type CNC Moving Head Lathe, Star brand, model SR20RII was used. The cutting tools used are uncoated carbide. In the machining operations, the performance of two different cutting*

geometries was compared. 3000 parts were machined to analyze the wear of each cutting tool. Optical microscopy was used in the analysis of tool wear and machined surface. The roughness of the pieces was also evaluated. The results revealed that a cutting wedge of 74.5° incurs chipping of the cutting edge and reduced roughness due to lateral flow of material. The increase in the wedge angle (90°) generates crater wear, but with an increase in the mechanical strength of the cutting tip and formation of defined feed marks on the machined surface. A suitable combination of cutting tool geometries tends to better control the topography of the machined surface, allowing a longer life for the cutting tool, culminating in higher productivity and quality in the manufacture of dental implants.

Keywords: *Dental implants; Boring in lathe; Grade 4 titanium; Tool geometry; Wear.*