



## EFEITO DO RECOBRIMENTO DA FERRAMENTA NO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA USINAGEM DE TITÂNIO GRAU 4

Ivan M. Baberge<sup>1\*</sup>, Ricardo S. Signorelli<sup>1</sup>, Wellington E. do Nascimento<sup>1</sup>, Wyser J. Yamakami<sup>1</sup>, Cleiton L. F. de Assis<sup>2</sup>, Juno Gallego<sup>1</sup>

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

[ivanbaberge@unesp.br](mailto:ivanbaberge@unesp.br)

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

**Resumo:** *O titânio e suas ligas são considerados materiais de difícil usinabilidade e por essa razão representam um desafio para a produção de componentes biomédicos por usinagem. Baixa condutividade térmica, reatividade química a altas temperaturas e instabilidade termoplástica durante o corte tornam o titânio um material de baixa usinabilidade. Nesse sentido, a vida da ferramenta de corte é reduzida drasticamente durante a usinagem. Pesquisas científicas visam aplicar abordagens para melhorar a qualidade do processo de corte através de intervenções metalúrgicas no material da peça, alterações de geometria da cunha de corte e aplicação de revestimentos. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de ferramentas de corte no torneamento interno de implantes odontológicos de titânio grau 4. Foram testadas ferramentas de metal duro K40 com e sem cobertura para comparação e avaliação da eficiência da cobertura de nitreto de titânio (TiN) durante a usinagem. A análise das superfícies de saída e de folga das ferramentas de corte foram realizadas com auxílio de microscopia óptica. As rugosidades foram medidas com rugosímetro de contato. As ferramentas com cobertura de TiN revelaram maior desgaste de flanco, enquanto a ferramenta de corte sem cobertura, usinando a 11 m/min apresentou o menor desgaste. Este comportamento pode ser devido a reações químicas durante a abrasão entre o material da peça e a ferramenta de corte com cobertura durante a usinagem. Variações de rugosidade foram observadas na usinagem com maior velocidade de corte, revelando alterações na formação da superfície usinada. Este estudo permitiu identificar uma condição de usinagem adequada a fabricação de implantes dentários e a necessidade de mais experimentos de usinagem utilizando outros tipos de coberturas para ferramentas de corte, visando favorecer a produtividade e a qualidade do implante usinado.*

**Palavras-chave:** *Implantes odontológicos; Torneamento interno; Titânio grau 4; Revestimentos; Desgaste.*

### INTRODUÇÃO

O titânio tem se tornado um dos materiais mais utilizadas nos setores aeronáutico, automotivo, biológico, aeroespacial, biomédico, equipamentos esportivos, petrolífero, devido a suas boas propriedades mecânicas, físicas, resistências a corrosão em altas temperaturas, relação resistência-peso e biocompatibilidade. No entanto, o titânio e suas ligas são considerados matérias de difícil usinabilidade devido sua baixa condutividade térmica, reatividade química a altas temperaturas e instabilidade termoplástica. Nesse sentido, pesquisas voltadas ao aprimoramento do desempenho de ferramentas de corte para usagem do titânio e suas ligas são

necessárias, visando qualidade do processo de usinagem, da peça final e aumento de produtividade<sup>(1-4)</sup>.

Uma das formas de melhorar o desempenho das ferramentas de corte é a aplicação de coberturas com diferentes composições químicas. No caso das ferramentas de metal duro, as pesquisas aplicando coberturas a base de óxidos, nitretos e carbonetos, tais como AlTiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HfN, TiC, TiCN, TiN/TiC, TiN/TiC/TiN e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC, evidenciaram resultados pouco promissores e, em alguns casos, o metal duro sem revestimento apresentou uma melhor performance em relação à ferramenta revestida. Contudo, revestimentos a base de TiN, TiAlN, cBN+TiAlN, e TiN/TiCN/TiN apresentaram melhor desempenho na usinagem da liga de titânio TiAl6V4. Os tipos de desgaste mais comuns no processo de usinagem do titânio é o desgaste de flanco e de cratera<sup>(3-6)</sup>.

As coberturas estudadas visam minimizar o desgaste da ferramenta de corte, aumentando a vida útil e consequente ganho produtivo, com a redução das trocas de ferramenta e da necessidade de preparação da máquina ferramenta. Os revestimentos possuem características específicas. O TiN é geralmente aplicado para minimizar o atrito na interface cavaco-ferramenta; o TiC e o TiCN tendem a reduzir o desgaste de cratera e possuem maior dureza; o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> também reduz o desgaste de cratera e é refratário; o TiAlN possui alta dureza e resistência a oxidação<sup>(7)</sup>.

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho de ferramentas de corte de metal duro com cobertura de nitreto de titânio (TiN) no acabamento de implantes odontológicos de Titânio Grau 4, submetidos a operações de torneamento interno com diferentes velocidades de corte. Análises de microscopia óptica e rugosidade foram adotadas na avaliação do desgaste das ferramentas de corte e integridade superficial das peças.

## MATÉRIAS E MÉTODOS

Experimentos de torneamento interno foram realizados na empresa Implalife Biotecnologia Ltda com auxílio de um torno CNC, 5 eixos, da marca STAR, modelo 20R11. A rotação máxima da máquina-ferramenta é 7500 rpm. As ferramentas de corte utilizadas nos ensaios de usinagem são de metal duro K40 com e sem cobertura, produzidas em laboratório com uso de uma afiadora CNC da marca SCHUTTE, modelo 305 linear. O rebolo de afiamento das ferramentas de corte é do tipo diamantado com tamanhos de grão de 64 µm para a operação de desbaste e 46 µm para a operação de acabamento.

Os ensaios de usinagem foram realizados com aplicação de fluido de corte em abundância, utilizando um óleo mineral ECOCUT 910, próprio para usinagem de titânio e suas ligas. As ferramentas de corte foram avaliadas após a usinagem de 3000 peças por ferramenta.

As ferramentas de corte possuem ângulo de saída de 3,5°, ângulo de folga de 12° e ângulo de posição de 20°. Nos testes de usinagem foram empregadas ferramentas de corte para torneamento interno sem cobertura e revestidas com nitreto de titânio (TiN). Os parâmetros de usinagem adotados nos experimentos foram os mesmos para todas as ferramentas de corte e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de usinagem adotados nos experimentos de torneamento interno.

Parâmetros	Valores
Velocidade de corte [m/min]	11 e 16
Velocidade de avanço [mm/min]	17
Profundidade de usinagem [mm]	0,07
Comprimento de usinagem [mm]	2,5
Quantidade de peças usinadas por ferramenta	3000

O material utilizado para fabricação dos implantes odontológicos é um Titânio puro GRAU 4, conforme especificações da norma ASTM F67. Foi recebido na forma de barra redonda, com acabamento retificado e tratado termicamente por recozimento. As propriedades mecânicas são alongamento de 36%, limite de escoamento de 574 MPa e resistência a tração de 800 MPa. O tamanho médio de grão é de 10  $\mu\text{m}$ , medido conforme norma ASTM E112. A composição química do material é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química do material dos corpos de prova.

Elemento	C	Fe	O	N	Ti	H
%	0,052	0,17	0,36	0,007	Saldo	0,0030

A avaliação do acabamento das peças foi realizada com auxílio de imagens geradas por microscopia óptica, utilizando um microscópio da marca Leica, modelo DM750M, com ampliação máxima de até 1000 vezes. A rugosidade foi medida com auxílio de um rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo SJ-210. Foram considerados os parâmetros de rugosidade Ra e Rz. Três medidas de rugosidade foram feitas em cada peça para cálculo das médias e desvios padrão, considerando um intervalo de confiança de 95%. Três peças foram usinadas para cada condição de usinagem e ferramenta de corte, totalizando doze peças.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta imagens das superfícies de saída e de folga das ferramentas de corte aplicadas no torneamento interno do titânio grau 4 para produção de implantes dentários. Na usinagem com velocidade de corte de 11 m/min houve um arredondamento da ponta da ferramenta de corte com cobertura, a qual também apresentou maior desgaste de flanco quando comparada a ferramenta sem cobertura. Na usinagem com velocidade de corte de 16 m/min, ambas ferramentas apresentaram desgaste de flanco, porém um lascamento da ponta da ferramenta sem cobertura foi notado. Nesse sentido, as análises indicaram que o aumento da velocidade de corte e aplicação de cobertura de nitreto de titânio aceleraram o processo de desgaste da ferramenta de corte, prejudicando o processo de usinagem, antecipando a necessidade de troca da ferramenta, visando evitar desvios geométricos além do esperado nas peças.

Visando aprofundar a compreensão do efeito do desgaste das ferramentas de corte na integridade superficial dos implantes dentários, a Figura 2 apresenta o gráfico da rugosidade da superfície das peças usinadas. O gráfico referente ao parâmetro Ra indica que para a ferramenta com cobertura e velocidade de corte de 16 m/min, a rugosidade média foi 22% menor, resultado do arredondamento da ponta da ferramenta, a qual tende a alisar a superfície usinada. Por outro lado, quando o parâmetro Rz é analisado, a ferramenta sem cobertura, usinando com velocidade de corte de 16 m/min, tendeu a formar uma superfície com maior altura entre os picos e vales. O fenômeno pode ser associado ao lascamento da ponta da ferramenta de corte observado na análise da Figura 1, cujo resultado foi a formação de uma nova ponta de corte, alterando o mecanismo de formação da superfície usinada.

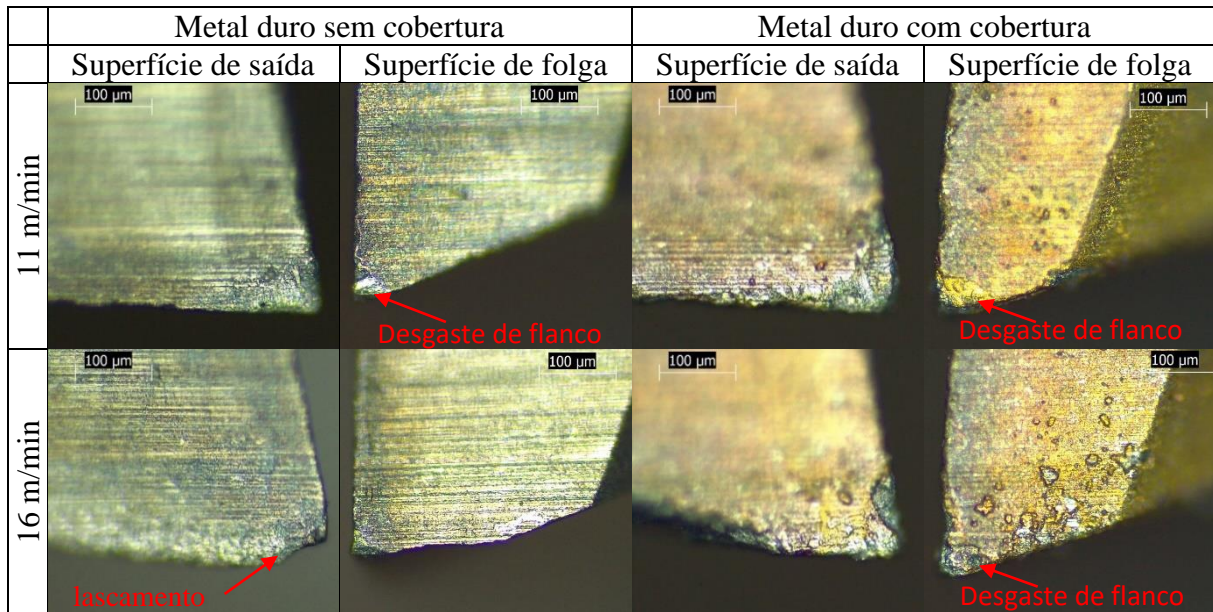


Figura 1: Imagens das superfícies de saída e de folga das ferramentas de corte.

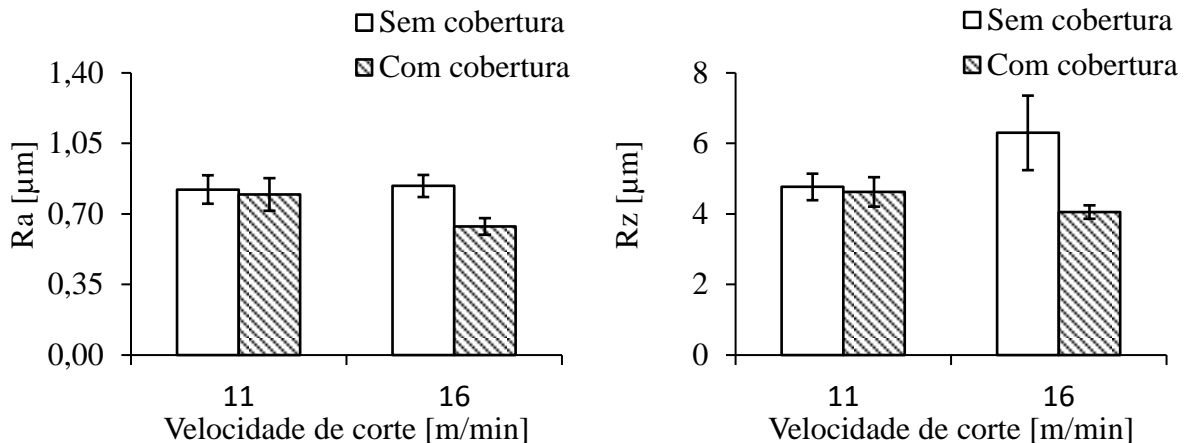


Figura 2: Gráfico do efeito das condições de usinagem no acabamento das peças.

## CONCLUSÕES

O tipo de desgaste predominante observado nas ferramentas de corte, com e sem cobertura de TiN, é o desgaste de flanco na superfície de folga. A ferramenta sem cobertura, usinando com velocidade de corte de 11 m/min, apresentou um menor desgaste dentre as condições de usinagem aplicadas. As ferramentas com cobertura TiN revelaram maior desgaste de flanco devido, provavelmente, às reações químicas durante a abrasão entre o material da peça e a ferramenta com cobertura. O aumento da velocidade de corte para 16 m/min, acelerou o desgaste da ferramenta com cobertura, prejudicando o processo de usinagem. Para velocidade de 11 m/min não se observa diferença nos parâmetros de rugosidade (Ra e Rz) para as ferramentas com e sem cobertura de TiN. Para velocidade de 16 m/min, a ferramenta com cobertura gerou rugosidades Ra e Rz menores que aquelas da ferramenta sem cobertura. Isto se deve, provavelmente, ao arredondamento ocorrido na ponta da ferramenta com cobertura, o qual tende a alisar a superfície usinada. Outro fator que levou a maiores rugosidades Ra e Rz observadas para a ferramenta sem cobertura foi o lascamento ocorrido nela para a velocidade de 16 m/min.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

1. ÇELIK, Yahya Hışman; KILICKAP, Erol; GÜNEY, Musa. Investigation of cutting parameters affecting on tool wear and surface roughness in dry turning of Ti-6Al-4V using CVD and PVD coated tools. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 39, n. 6, p. 2085-2093, 2017.
2. LI, Rui; SHIH, Albert J. Finite element modeling of 3D turning of titanium. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 29, n. 3, p. 253-261, 2006.
3. 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.
4. CHOWDHURY, M. S. I. et al. Investigation of the wear behavior of pvd coated carbide tools during Ti6Al4V machining with intensive built up edge formation. Coatings, v. 11, n. 3, p. 266, 2021.
5. RAHMAN RASHID, R. A. et al. Tool wear mechanisms involved in crater formation on uncoated carbide tool when machining Ti6Al4V alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 83, n. 9, p. 1457-1465, 2016.
6. CHOWDHURY, Mohammad Shariful Islam et al. Investigation of the wear performance of TiB2 coated cutting tools during the machining of Ti6Al4V alloy. Materials, v. 14, n. 11, p. 2799, 2021.
7. VERESCHAKA, Alexey et al. Effect of adhesion and tribological properties of modified composite nano-structured multi-layer nitride coatings on WC-Co tools life. Tribology International, v. 128, p. 313-327, 2018.

## EFFECT OF TOOL COATING ON SURFACE FINISHING IN GRADE 4 TITANIUM MACHINING

**Abstract:** *Titanium and its alloys are considered materials of difficult machinability and for this reason they represent a challenge for the production of biomedical components by machining. Low thermal conductivity, chemical reactivity at high temperatures and thermoplastic instability during cutting make titanium a material of low machinability. In this sense, the life of the cutting tool is drastically reduced during machining. Scientific research aims to apply approaches to improve the quality of the cutting process through metallurgical interventions in the workpiece material, changes in cutting wedge geometry and application of coatings. The objective of this work is to evaluate the performance of cutting tools in the internal turning of grade 4 titanium dental implants. K40 carbide tools with and without coating were tested to compare and evaluate the efficiency of the titanium nitride (TiN) coating during the machining. The analysis of the exit and clearance surfaces of the cutting tools were carried out with the aid of optical microscopy. The roughness was measured with a contact roughness meter. The TiN coated tools showed the highest flank wear, while the uncoated cutting tool, machining at 11 m/min, showed the lowest wear. This behavior may be due to chemical reactions during abrasion between the workpiece material and the coated cutting tool during machining. Roughness variations were observed in the machining with higher cutting speed, revealing changes in the formation of the machined surface. This study allowed us to identify a suitable machining condition for the manufacture of dental implants and the need for more*

*machining experiments using other types of coverings for cutting tools, in order to favor the productivity and quality of the machined implant.*

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