

## APLICAÇÃO DE INSERTOS DE CORTE TRIBOLOGICAMENTE ADAPTADOS NO TORNEAMENTO DA LIGA Ti-15Mo

**Lara Souza Martins Fernandes**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

[larafernandes@estudante.ufscar.br](mailto:larafernandes@estudante.ufscar.br)

**Pedro A. R. Rosa**

IDMEC, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal

[pedro.rosa@tecnico.ulisboa.pt](mailto:pedro.rosa@tecnico.ulisboa.pt)

**Carlos Eiji Hirata Ventura**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

[ventura@ufscar.br](mailto:ventura@ufscar.br)

**Resumo:** A evolução do desgaste da ferramenta em processos de usinagem é comumente descrita por uma curva dividida em três regiões principais: (i) desgaste inicial acelerado, (ii) desgaste com crescimento a uma taxa constante e (iii) desgaste final acelerado. Os mecanismos de desgaste que atuam na primeira zona causam perda de material e a alteração da geometria da ferramenta, e conseqüentemente condicionam o sistema tribológico da segunda região com aumentando da taxa de desgaste. O presente estudo caracterizou a geometria resultante após o término da primeira região transiente da curva de desgaste e aplicou insertos de corte preparados com tal geometria no torneamento da liga Ti-15Mo. Este material apresenta uma excelente biocompatibilidade com aplicação em próteses, mas é de difícil usinabilidade promovendo a necessidade da otimização da geometria de ferramenta a fim de prolongar a sua vida útil. Os resultados mostram que é possível aumentar a vida útil da ferramenta através da utilização de insertos adaptados, reduzindo a primeira região transiente e aumentando a duração da segunda região da curva de desgaste.

**Palavras-chave:** Usinagem; Torneamento; Ferramenta de corte; Desgaste de ferramenta.

### 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, as indústrias aeronáutica e de equipamentos médicos beneficiaram-se de um rápido desenvolvimento a partir do uso das ligas de titânio, amplamente conhecidas pelas suas propriedades, como elevada resistência à corrosão, boa resistência à oxidação, biocompatibilidade, elevada relação resistência/peso e capacidade de suportar elevadas temperaturas mantendo sua resistência mecânica (Leyens e Peters, 2006; Khan e Maity, 2017). Entretanto, este material também é conhecido por sua baixa usinabilidade. Segundo Machado *et al.* (2015), a dificuldade na usinagem do titânio é diretamente proporcional ao aumento do teor dos elementos de liga e ao aumento da fase  $\beta$  dispersa na matriz do material.

Com base em diferentes composições de fase, as ligas de titânio são normalmente categorizadas em quatro tipos principais: ligas  $\alpha$ , ligas de titânio próximo a  $\alpha$ , ligas  $\alpha + \beta$  e ligas  $\beta$  (Leyens e Peters, 2006). As ligas de titânio  $\beta$  são mais densas e apresentam alta resistência em baixas temperaturas de operação (Arrazola *et al.*, 2009). Assim, são amplamente utilizadas em componentes críticos, como grandes peças forjadas de trem de pouso, e vem substituindo a utilização dos aços *maraging* nos últimos anos (Cotton *et al.*, 2015).

Durante o torneamento das ligas de titânio  $\beta$ , as propriedades do material, como alta resistência a temperaturas elevadas, alta temperabilidade por trabalho combinada com baixa condutividade térmica, levam a altas temperaturas na interface ferramenta/cavaco e altas pressões na aresta de corte (Odelros, 2012), o que causa um rápido desgaste e limita os valores de velocidade de corte. Como a maioria dos componentes de titânio requer usinagem intensiva (em alguns casos, 95% do material da peça bruta são removidos), os custos com ferramentas são elevados e o tempo de espera para a produção dos componentes é longo (Graves *et al.*, 2021). Além disso, no torneamento das ligas  $\beta$ , a aresta postiça é frequente, ao mesmo tempo em que velocidades de corte baixas são recomendadas a fim de se evitar desgaste prematuro da ferramenta (Arrazola *et al.*, 2009).

Dessa forma, torna-se relevante o estudo da otimização das ferramentas de corte, de maneira a se manter altas taxas de remoção a menores níveis de desgaste, fazendo com que o torneamento das ligas de titânio  $\beta$  seja um processo economicamente atrativo e mais eficiente. Para isso, os mecanismos de desgaste da ferramenta devem ser caracterizados e compreendidos. O mecanismo de desgaste de ferramentas de metal duro no torneamento da liga de titânio  $\beta$  pode ser considerado uma combinação de abrasão e adesão, ambos facilitados pela interação química e mecânica entre ferramenta

e cavaco (Ezugwu e Wang , 1997). Durante o torneamento da liga de titânio  $\beta$ , Jawaida *et al.* (1999) notaram que a abrasão foi predominante na superfície de folga da ferramenta e o desgaste máximo de flanco foi o fator que controlou sua vida útil. Mais recentemente, Pivotto (2020) também observou a predominância do desgaste de flanco como parâmetro de fim de vida da ferramenta no torneamento da liga Ti-15Mo. Este tipo de desgaste apresenta um comportamento característico, a partir do qual, de acordo com Machado *et al.* (2015), podem ser destacadas três regiões: (I) região de desgaste acelerado, de adequação do sistema tribológico; (II) região de desgaste constante, com a ferramenta já adaptada ao processo; (III) nova região de desgaste acelerado em níveis elevados, com a ferramenta próxima ao colapso, devido às elevadas tensões e temperaturas. A perda de material da ferramenta na primeira região causa alteração de sua geometria e a adapta ao sistema tribológico, preparando-a para a segunda região e aumentando o nível total do desgaste.

Em geral, o atrito instável e a taxa de desgaste durante esta primeira etapa produzem mudanças significativas na topografia da superfície, causam possíveis deformações viscoelásticas e induzem flutuações de temperatura logo após o início do contato deslizante entre as superfícies sólidas não desgastadas (Blau, 2005). Conseqüentemente, ignorar os aspectos da primeira fase transiente da curva de desgaste significa negligenciar informações importantes para o entendimento do desempenho do inserto (Mortazavi e Khonsari, 2016). Páczelt e Mróz (2005) demonstraram que, após o final da fase transiente inicial, obtém-se uma ótima geometria de contato, na qual a taxa de desgaste se torna uniforme e passa a ser mínima. Dessa forma, o projeto de uma geometria de contato que minimize a ocorrência da fase transiente inicial e assegure uma taxa uniforme de desgaste desde o início permite evitar concentrações de tensão na zona de contato (Argatov e Chai, 2019) e contribui com um melhor desempenho da ferramenta (Argatov e Chai, 2020).

Considerando a ocorrência frequente de desgaste de flanco em insertos de metal duro durante o torneamento de ligas de titânio  $\beta$  e tendo como base a evolução de sua curva de desgaste, o presente estudo tem como principal objetivo a determinação do desempenho de insertos de corte com geometria adaptada (obtida após a primeira fase transiente do desgaste) com base no aumento da vida da ferramenta, evitando-se a primeira região transiente da curva de desgaste e comparando seu desempenho ao de ferramentas com geometria afiada.

## 2. METODOLOGIA

Insertos de corte de metal duro (95%p WC e 5%p Co) foram preparados com geometria SBGN120408 (quadrado, ângulo de folga de  $5^\circ$ , raio de ponta de 0,8 mm, sem chanfro ou raio de aresta) numa retificadora CNC com quatro eixos Agathon DOM Plus (potência máxima de 16 kW e rotação máxima de 3400 rpm), equipada com rebolo diamantado do tipo copo, com ligante resinoide, tamanho de grão de  $46 \mu\text{m}$  e concentração C100. Nesta operação de retificação foram utilizados os seguintes parâmetros operativos: velocidade de corte de 20 m/s, velocidade de avanço axial do rebolo de 6 mm/min, velocidade de rotação do inserto para retificação do raio de ponta de  $2075 \text{ }^\circ/\text{min}$  e óleo integral mineral. Antes da retificação de cada inserto, o rebolo foi condicionado por um dressador de óxido de alumínio, também do tipo copo, com granulometria 180 # e parâmetros de dressagem constantes: velocidade de corte do dressador de 10 m/s, velocidade de avanço do dressador de  $3 \mu\text{m/s}$  e percurso de dressagem de  $15 \mu\text{m}$ .

Após esta etapa, os insertos foram caracterizados no microscópio para análise tridimensional de imagens Alicona InfiniteFocus SL (aumento máximo de 500x com as lentes disponíveis). A partir da média de 100 perfis perpendiculares à direção de retificação foi possível determinar o valor da rugosidade máxima da superfície,  $R_z$  (média das distâncias de pico a vale em cinco diferentes trechos do comprimento de amostragem) e medir o lascamento da aresta  $\Delta r$  (média da menor distância entre os perfis real e ideal da geometria em diferentes seções).

Em seguida, com os insertos preparados, foram realizados três testes de vida em um torno CNC Romi Centur 30D (potência máxima de 9 kW e rotação máxima de 4000 rpm), sendo, para isso, usinados corpos de prova da liga Ti-15Mo, com diâmetro inicial de 35 mm e comprimento de 150 mm. Os parâmetros de usinagem utilizados nos experimentos foram: velocidade de corte de  $v_c = 100 \text{ m/min}$ , avanço de  $f = 0,2 \text{ mm/rotação}$ , profundidade de usinagem  $a_p = 0,5 \text{ mm}$  e aplicação de emulsão com concentração de 10%. Os insertos foram fixados num porta-ferramenta CSDBN 2020 K12, com ângulo de posição de  $45^\circ$ , ângulos de saída e inclinação de  $0^\circ$  e fixação por grampo.

Após a usinagem de cada trecho do corpo de prova, com 30 mm de comprimento longitudinal, o inserto era removido do suporte e o desgaste de flanco avaliado no microscópio confocal. Para cada medição, cinco perfis foram posicionados perpendicularmente à reta tangente ao raio de ponta, na região em que ocorreu o maior desgaste de flanco e o perfil médio era obtido. Apesar da adesão do material, a superfície desgastada pôde ser detectada a partir das linhas de referência do inserto novo, como mostra a Figura 1. Definiu-se como critério de fim de ensaio um desgaste de flanco máximo de 0,3 mm.

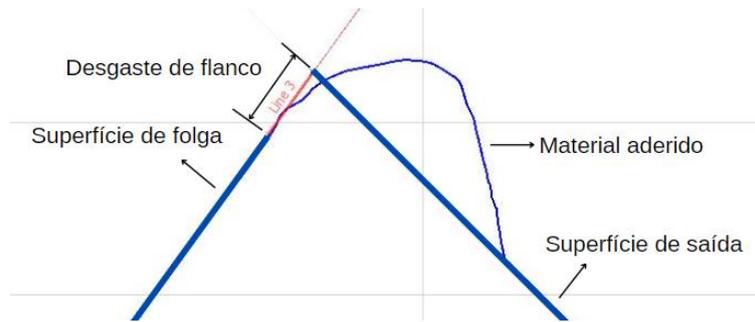


Figura 1 - Exemplo de medição de desgaste de flanco

Com base nas imagens coletadas durante os testes de vida da ferramenta com geometria afiada, foi possível a determinação de um perfil médio da geometria do inserto logo após o término da primeira região transiente da curva de desgaste. Na segunda etapa, novos insertos de metal duro foram preparados com tal geometria e testados no processo de torneamento, seguindo a mesma metodologia supracitada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização e aplicação de insertos com geometria afiada

A Figura 2 apresenta os valores de rugosidade máxima  $R_z$  e do lascamento de aresta  $\Delta r$  obtidos para cada ponta dos insertos de corte preparados. Nela, verifica-se que o referido parâmetro de rugosidade teve um valor médio de  $2,7 \mu\text{m}$  e se manteve dentro de uma faixa entre  $2,3 \mu\text{m}$  e  $3,1 \mu\text{m}$ . Em relação aos resultados relacionados ao lascamento de aresta  $\Delta r$ , nota-se que a média obtida foi de  $2,2 \mu\text{m}$  e que os valores variaram entre  $1,6 \mu\text{m}$  e  $2,7 \mu\text{m}$ . Observa-se que o desvio nos valores de  $\Delta r$  foi cerca de 46% maior que aquele medido para  $R_z$ , o que é decorrente do menor ancoramento dos grãos de carbeto de tungstênio (WC) na matriz de cobalto (Co) na região da aresta, levando ao arrancamento de grupos de grãos durante a retificação (Cruz et al., 2020). Apesar das variações de ambos os parâmetros, não há registros de que elas afetem de forma significativa a vida da ferramenta. Além disso, evoluções diferentes do desgaste em função das características iniciais dos insertos devem ser consideradas para a obtenção da geometria adaptada requerida.

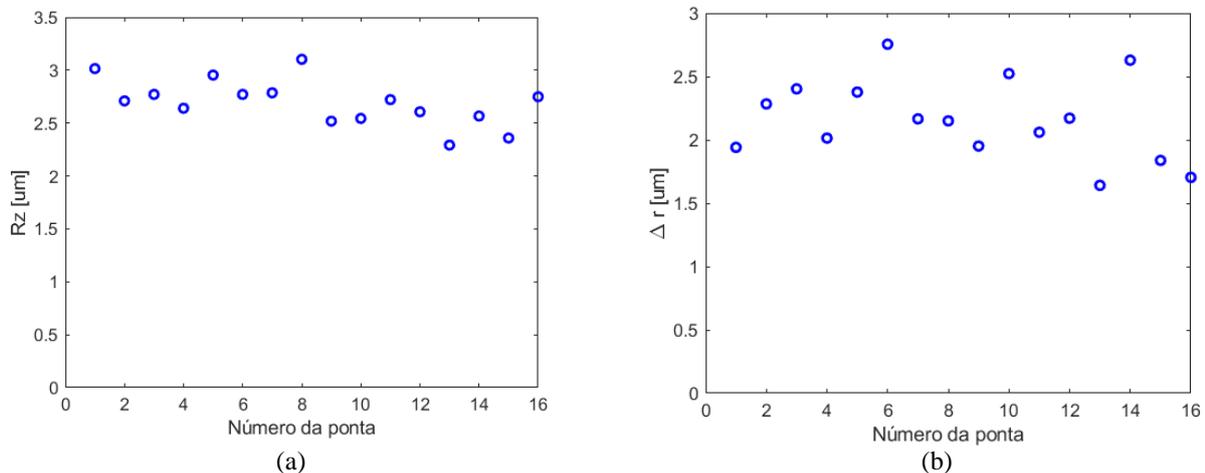


Figura 2 - Valores de (a) rugosidade máxima  $R_z$  e (b) lascamento de aresta  $\Delta r$  para cada ponta preparada (geometria afiada)

Após esta análise, foram escolhidas as pontas 5, 6 e 9 para a obtenção das curvas de desgaste da ferramenta de corte, as quais são apresentadas nas Figuras 3a, 3b e 3c, respectivamente. Para cada teste, retas auxiliares foram ajustadas a partir do método da matriz de Vandermonde para determinação dos diferentes trechos de desgaste e, principalmente, para definição do limite entre o primeiro trecho, de desgaste acelerado, e o segundo, com taxa constante.

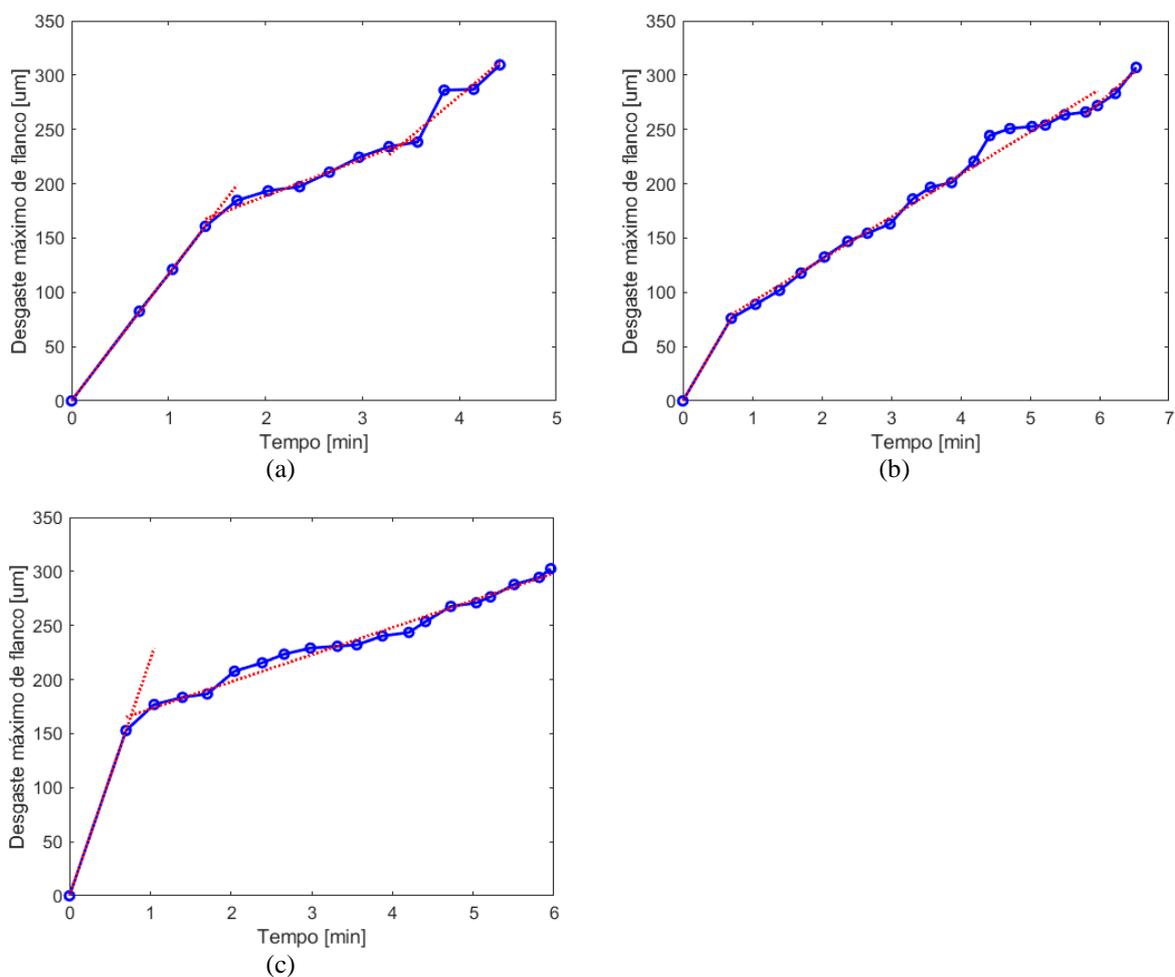


Figura 3 - Curvas de desgaste da ferramenta: (a) Teste 1 / Ponta 5, (b) Teste 2 / Ponta 6, (c) Teste 3 / Ponta 9

O Teste 1 atingiu o critério de fim de ensaio com 4,4 min, o Teste 2, com 6,5 min, e o Teste 3, com 5,9 min. Logo, o tempo médio de vida do inserto é de  $5,6 \pm 1,1$  min. Considerando-se as três curvas, verifica-se que apenas o Teste 3 não apresentou o terceiro trecho de desgaste, com taxa de crescimento mais elevada.

Analisando-se os gráficos, para o Teste 1, verifica-se que o final do trecho inicial ocorre em 1,4 min e o final do segundo trecho em 3,6 min. Já para o Teste 2, tem-se que o final do trecho inicial ocorre em aproximadamente 0,7 min e o final do segundo trecho em 5,8 min. Por fim, no Teste 3, o primeiro trecho termina em aproximadamente 0,7 min. A partir disso, observa-se que o inserto utilizado no Teste 1 permaneceu mais tempo no trecho inicial com desgaste acelerado e atingiu o critério de fim de ensaio mais rapidamente. Portanto, em convergência com Lijesh e Khonsari (2019), infere-se que a duração do trecho inicial de desgaste desempenha um papel significativo na vida útil da ferramenta. Além disso, o nível de desgaste atingido no final do trecho inicial também afeta a vida da ferramenta, visto que os insertos utilizados nos Testes 2 e 3 permaneceram o mesmo tempo no trecho inicial, porém, o Teste 3 atingiu o critério de fim de ensaio mais rápido. Pode-se relacionar sua menor vida ao maior desgaste de flanco ( $\sim 170$  µm) obtido no final do trecho inicial quando comparado àquele medido no Teste 2 ( $\sim 80$  µm). Essa análise vai de encontro ao que foi observado por Yang (2005), que concluiu que o volume de desgaste na parte transiente da curva está diretamente relacionado à vida da ferramenta.

Com base nas imagens obtidas durante os ensaios, logo após o término da primeira região transiente das curvas de desgaste geradas, foi possível a determinação de um perfil médio da geometria do inserto, como apresentado na Figura 4. Sendo verificada predominantemente a ocorrência do desgaste de flanco, uma superfície com recuo de 27,7 µm (valor nominal) a partir da aresta afiada e ângulo de  $88,1^\circ$  (valor nominal) a partir da superfície de saída foi retificada nas arestas de novos insertos de metal duro, os quais foram posteriormente aplicados no processo de torneamento.

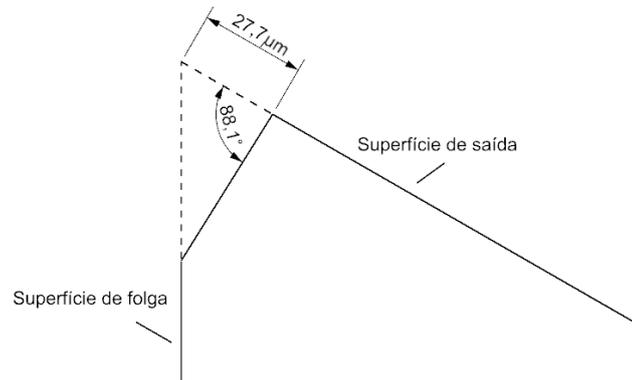


Figura 4 - Perfil médio da geometria do inserto após o término da primeira região transiente

### 3.2. Caracterização e aplicação de insertos com geometria adaptada

A Figura 5 apresenta os valores de rugosidade máxima  $R_z$  e do lascamento na aresta  $\Delta r$  obtidos para cada ponta dos insertos de corte preparados com geometria adaptada. Verifica-se que o referido parâmetro de rugosidade teve um valor médio de  $4,63 \mu\text{m}$  e se manteve dentro de uma faixa entre  $4,36 \mu\text{m}$  e  $4,92 \mu\text{m}$ . Já os resultados relacionados ao lascamento na aresta  $\Delta r$  indicam uma média de  $3,36 \mu\text{m}$  e variação entre  $2,93 \mu\text{m}$  e  $3,40 \mu\text{m}$ . Observa-se que o desvio nos valores de  $\Delta r$  foi cerca de 50% maior que aquele obtido para  $R_z$ , dado o menor ancoramento dos grãos de carbeto de tungstênio (WC) na matriz de cobalto (Co) na região da aresta, como visto para os insertos com geometria afiada.

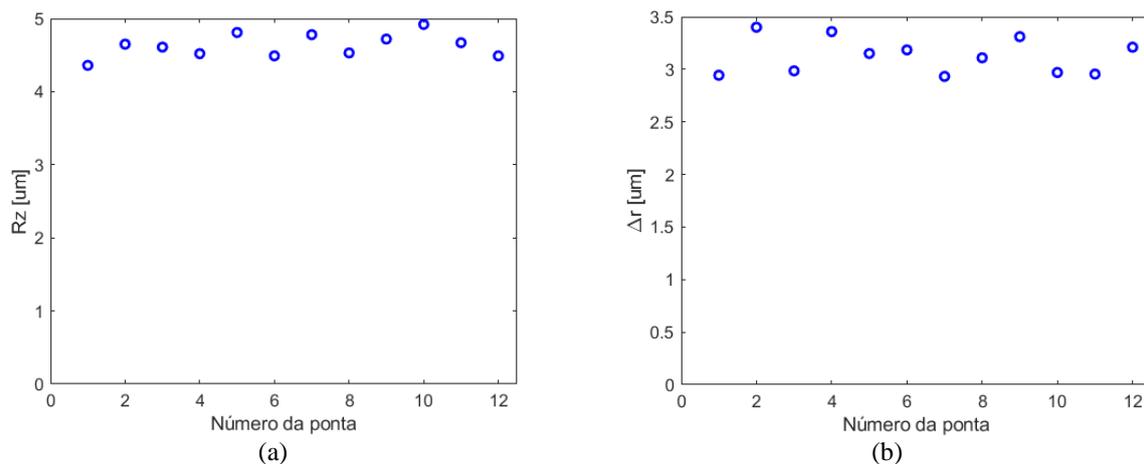


Figura 5 - Valores de (a) rugosidade máxima  $R_z$  e (b) lascamento de aresta  $\Delta r$  para cada ponta preparada (geometria adaptada)

Para a obtenção das curvas de desgaste nos testes de torneamento, foram escolhidas as pontas 1, 3 e 5, cujas geometrias são apresentadas na Figura 6. Comparando as geometrias obtidas à geometria adaptada ideal, apresentada na Figura 4, observa-se que a geometria do inserto do Teste 1 possui cota linear  $10,22 \mu\text{m}$  maior e cota angular  $0,6^\circ$  menor do que a esperada. Da mesma forma, na geometria do inserto utilizado no Teste 2, a cota linear é  $10,04 \mu\text{m}$  maior do que a esperada e a cota angular é  $2,5^\circ$  menor. Por fim, a geometria do inserto do Teste 3 possui cota linear  $10,89 \mu\text{m}$  maior e cota angular  $2,1^\circ$  menor do que a esperada. Tais erros podem estar relacionados a desvios de posicionamento dos eixos da máquina durante o processo de retificação (Denkena *et al.*, 2013), deformações elásticas entre inserto e rebolo (Ventura *et al.*, 2014) e variações da protrusão do grão abrasivo, já que a camada de material a ser removida na região da aresta é de mesma proporção.

Apesar da diferença das cotas lineares da geometria dos insertos serem relativamente pequenas em aspectos macroscópicos, tem-se que o desvio médio das cotas lineares em relação à geometria adaptada ideal é de  $10,38 \mu\text{m}$ , o que representa 37,5% da cota linear ideal. Nesse sentido, Wang e Liu (2018) observaram que a variação dos parâmetros geométricos do inserto de corte no torneamento do titânio afeta a deformação do material e o comportamento de remoção dentro na zona de corte. Portanto, a diferença entre a geometria adaptada ideal e as retificadas pode distanciar os resultados obtidos dos resultados esperados.

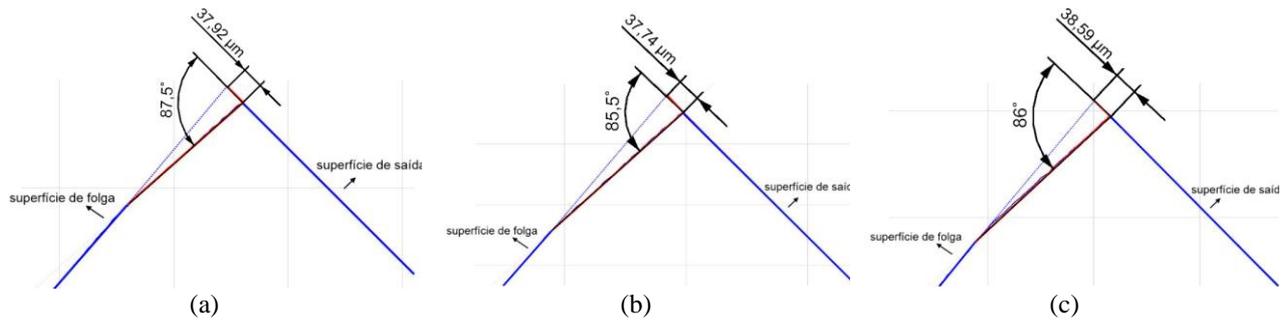


Figura 6 - Caracterização das geometrias dos insertos adaptados: (a) Teste 1 / Ponta 1, (b) Teste 2 / Ponta 3, (c) Teste 3 / Ponta 5

No que se refere aos testes de vida da ferramenta, todas as arestas de corte apresentaram um grande volume de material aderido, o que, algumas vezes, impossibilitou a medição do desgaste de flanco. Na Figura 7, pode-se observar um exemplo do material aderido à aresta de corte em momentos distintos.

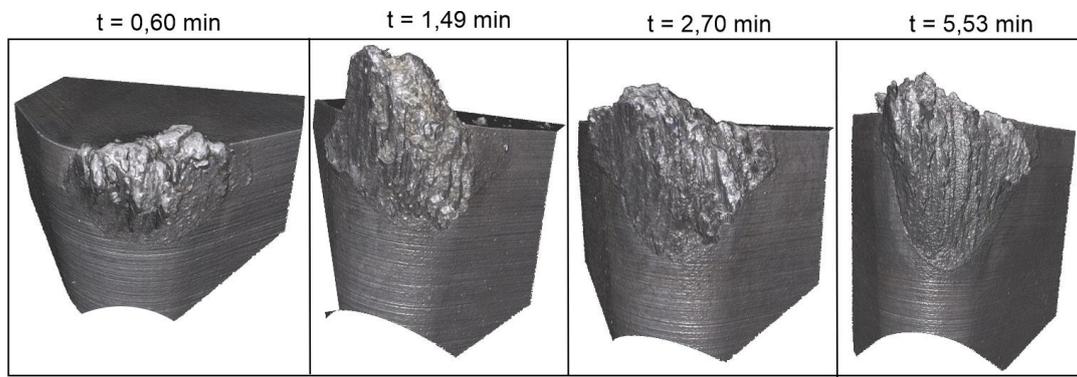


Figura 7 - Material aderido ao inserto de corte em diferentes intervalos de usinagem (Teste 1)

As curvas de desgaste dos insertos adaptados são apresentadas na Figura 8.

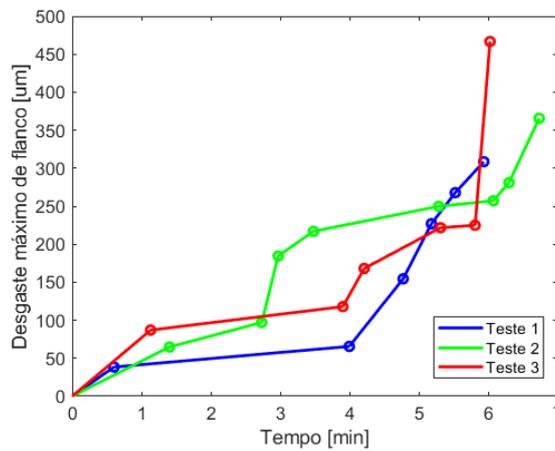


Figura 8 - Curvas de desgaste das ferramentas preparadas com geometria adaptada

O Teste 1 atingiu o critério de fim de ensaio com 5,94 min, o Teste 2, com 6,74 min, e o Teste 3, com 6,03 min. Logo, o tempo médio de vida do inserto adaptado foi de  $6,24 \pm 0,43$  min, 0,64 min maior do que o tempo médio de vida do inserto afiado. Além disso, percebe-se que o desvio padrão do tempo médio de vida foi reduzido de 1,1 min para 0,43 min, o que representa uma redução de 61%.

Analisando as curvas de desgaste, pode-se dizer que a utilização da geometria adaptada tribologicamente não levou à total supressão da primeira região transiente em todos os casos, sendo esse fenômeno mais claro para o Teste 2, o qual, apesar do aumento exagerado do desgaste no tempo de corte próximo a 3 min, manteve sua taxa de crescimento aproximadamente constante até 6 min, o que explica seu maior tempo de vida total. O crescimento abrupto mencionado está ligado à formação de aresta postiça de corte, que pode ter provocado remoção de maior quantidade de material da ferramenta, sem que, no entanto, houvesse crescimento do desgaste de flanco propriamente. Já os Testes 1 e 3, embora tenham apresentado região transiente de desgaste, deve-se destacar que seus intervalos e amplitudes foram, em geral,

reduzidos (0,6 min e 40 µm para o Teste 1 e 1,4 min e 90 µm para o Teste 3) em comparação aos testes com ferramentas afiadas.

Sabe-se que a fase da curva de desgaste mais importante é aquela em que o desgaste evolui a uma taxa constante, pois, segundo Bhushan (2013), esta fase representa a duração da vida útil da ferramenta. Tendo isso em vista, nota-se que as curvas de desgaste dos insertos com geometria adaptada apresentaram maior duração desta fase, a qual foi, em média, 0,85 min maior que a duração com a aplicação dos insertos afiados. Além disso, quando se compara as curvas de desgaste dos insertos afiados e adaptados, apresentadas na Figura 9, observa-se que os valores iniciais (primeira região transiente) de desgaste de flanco máximo obtidos para os insertos adaptados são consideravelmente menores. Portanto, conforme o trabalho de Yang (2005) e os resultados obtidos, conclui-se que, quanto menor o valor de desgaste de flanco máximo alcançado no início da curva de desgaste, assim como quanto menor o tempo associado à primeira região transiente, maior será o tempo total de vida da ferramenta.

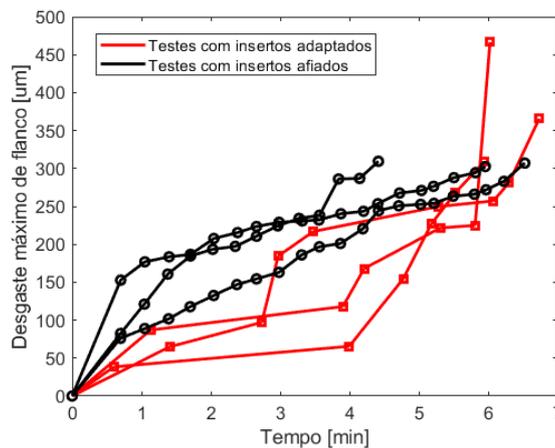


Figura 9 - Curvas de desgaste das ferramentas com geometria afiada e adaptada

Ainda analisando-se a Figura 9, nota-se que as curvas de desgaste dos insertos adaptados possuem taxas menores em relação às curvas dos insertos afiados. De acordo com Deng *et al.* (2022), curvas de desgaste com baixas taxas de crescimento levam a uma vida útil ideal da ferramenta. De forma complementar, quando se limita as curvas de desgaste dos insertos adaptados e afiados até o tempo médio de vida dos insertos afiados, nota-se que o desempenho dos insertos adaptados é, de maneira geral, melhor que o dos insertos afiados.

#### 4. CONCLUSÕES

A presente investigação comprova a influência dos mecanismos de desgaste no tempo de vida da ferramenta. A geometria adaptada proposta mostrou ser uma alternativa viável para ultrapassar o período inicial em que ocorre uma taxa de desgaste mais elevada. Ainda que seja espectável um aumento das forças de corte, importa lembrar que este tipo de geometria permite proteger a quebra prematura da aresta e manter a integridade do revestimento para o segundo período de desgaste. Esta condição tribológica mais favorável, combinada uma taxa de desgaste constante, mostra ter elevado potencial para aumentar o tempo de vida total da ferramenta de corte e o desempenho do processo de usinagem. Esta abordagem será tema de trabalhos futuros.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processos nº 2015/15622-2, 2017/12304-5, 2017/12309-7, 2018/24614-1 e 2021/08039-0) pelo suporte financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Argatov, I.; Chai, Y., 2019. Fretting wear accumulation in partial-slip circular Hertzian contact. *Mechanics Research Communications*, v. 96, p. 45-48.
- Argatov, I.; Chai, Y., 2020. A note on optimal design of contact geometry in fretting wear. *Internacional Journal of Mechanics and Materials in Design*, v. 16, p. 415-422.
- Arrazola, P.; Garay, A.; Iriarte, L.; Armendia, M.; Marya, S.; Maître, F., 2009. Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 2223-2230.
- Blau, P.J., 2005. On the nature of running-in. *Tribology International*, v. 38, p. 1007-1012.

- Bhushan, R. K., 2013. Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites. *Journal of cleaner production*, 39, 242-254, 2013.
- Cotton, D.; Briggs, R. D., Boyer, R.; Tamirisakandala, S.; Russo, P.; Shchetnikov, N.; Fanning, J.C., 2015. State of the art in beta titanium alloys for airframe applications. *JOM*, v. 67, p. 1281–1303.
- Cruz, D. C.; Sordi, V. L.; Ventura, C. E. H., 2020. Surface analysis of WC-5%Co cemented tungsten carbide cutting insert after plunge-face grinding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 108, p. 323-330.
- Deng, B.; He, Q.; DePaiva, J. M.; & Veldhuis, S. C., 2022. A novel approach to cutting tool edge design based on initial wear stage. *Journal of Materials Processing Technology*, 304, 117561.
- Denkena, B.; Köhler, J.; Ventura, C. E. H., 2013. Customized cutting edge preparation by means of grinding. *Precision Engineering*, v. 37, p. 590-598.
- Ezugwu, E.; Wang, Z., 1997. Titanium alloys and their machinability a review. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 68, p. 262–274.
- Graves, A.; Norgren, S.; Wan, W.; Singh, S.; Kritikos, M.; Xiao, C.; Crawforth, P.; Jackson, M., 2021. On the mechanism of crater wear in a high strength metastable  $\beta$  titanium alloy. *Wear*, v. 484-485, p. 203998.
- Jawaida, A.; Che-Harona, C.; Abdullah, A., 1999. Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 92-93, p. 329-334.
- Khan, A.; Maity, K., 2017. Comparative study of some machinability aspects in turning of pure titanium with untreated and cryogenically treated carbide inserts. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 28, p. 272-284.
- Leyens, C.; Peters, M., 2006. Titanium and titanium alloys - Fundamentals and applications. New York: Wiley.
- Lijesh, K.P.; Khonsari, M.M., 2019. On the onset of steady state during transient adhesive wear. *Tribology International*, v. 130, p. 378-386
- Machado, Á.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; Silva, M.B., 2015. *Teoria da usinagem dos materiais*. 3a ed. São Paulo: Blucher.
- Mortazavi, V., Khonsari, M., 2016. On the Prediction of Transient Wear. ASME. *Journal of Tribology*, v. 138(4), p. 041604.
- Odelros S., 2012. *Tool wear in titanium machining*. Dissertação de Mestrado. Uppsala University.
- Páczelt, I.; Mróz, Z., 2005. On optimal contact shapes generated by wear. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, v. 63, p. 1250-1287.
- Pivotto, L.B., 2020. *Aplicação de insertos de metal duro com diferentes acabamentos no torneamento da liga Ti-15Mo*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Yang, L.J., 2005. A test methodology for the determination of wear coefficient. *Wear*, v. 259, p. 1453–1461.
- Ventura, C. E. H.; Köhler, J.; Denkena, B., 2014. Strategies for grinding of chamfers in cutting inserts. *Precision Engineering*, v. 38, p. 749-758.
- Wang, B.; Liu, Z., 2018. Influences of tool structure, tool material and tool wear on machined surface integrity during turning and milling of titanium and nickel alloys: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 98, n. 5, p. 1925-1975.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

## APPLICATION OF TRIBOLOGICALLY ADAPTED CUTTING INSERTS IN TURNING OF Ti-15Mo ALLOY

**Lara Souza Martins Fernandes**

Department of Mechanical Engineering, Federal University of São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil

[larafernandes@estudante.ufscar.br](mailto:larafernandes@estudante.ufscar.br)

**Pedro A. R. C. Rosa**

IDMEC, Higher Technical Institute, University of Lisbon, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisbon, Portugal

[pedro.rosa@tecnico.ulisboa.pt](mailto:pedro.rosa@tecnico.ulisboa.pt)

**Carlos Eiji Hirata Ventura**

Department of Mechanical Engineering, Federal University of São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil

[ventura@ufscar.br](mailto:ventura@ufscar.br)

***Abstract.** The behavior of tool wear during machining processes is commonly described by a curve divided into three main regions: (I) accelerated initial wear, (II) wear at a constant growth rate and (III) accelerated final wear at high levels. The loss of material from the tool corresponding to the first region of the curve causes a change in its geometry and adapts it to the tribological system, preparing it for the second region and increasing the total wear level. In order to try to reduce this level and prolong tool life, the present study characterized the resulting geometry after the end of the first transient region of the wear curve and applied cutting inserts prepared with such geometry in turning of Ti-15Mo alloy. This material has excellent biocompatibility with application in prostheses, but it is difficult to machine, promoting the need to optimize the tool geometry in order to prolong its useful life. The obtained results showed that is possible increase the tool life through the use of adapted inserts, reducing the first transient region and increasing the duration of the second region of the wear curve.*

**Keywords:** Machining; Turning; Cutting tool; Tool wear.

### RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.