

## EFEITO DA TEXTURIZAÇÃO POR LASER DE PULSOS ULTRACURTOS NO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE CORTE DE METAL DURO: EVOLUÇÃO DO DESGASTE E RUGOSIDADE

Elton Mesquita de Almeida, [eltonmesquitaalmeida@gmail.com](mailto:eltonmesquitaalmeida@gmail.com)<sup>1</sup>

Fabiano Gonçalves Coelho Junior, [fabiano\\_junior18@hotmail.com](mailto:fabiano_junior18@hotmail.com)<sup>1</sup>

Marcelo Bertolete Carneiro, [bertolete@sc.usp.br](mailto:bertolete@sc.usp.br)<sup>2</sup>

Ricardo Elgul Samad, [resamad@ipen.br](mailto:resamad@ipen.br)<sup>3</sup>

Nilson Dias Vieira Júnior, [nilsondv@ipen.br](mailto:nilsondv@ipen.br)<sup>3</sup>

Wagner de Rossi, [wderossi@ipen.br](mailto:wderossi@ipen.br)<sup>3</sup>

Patrícia Alves Barbosa, [patricia.a.barbosa@ufes.br](mailto:patricia.a.barbosa@ufes.br)<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Tecnologia Mecânica, Av. Fernando Ferrari, 514, 29075-910, Vitória/ES, Brasil

<sup>2</sup>Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Engenharia de Produção – Av. Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590, São Carlos/SP, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Centro de Lasers e Aplicações, Av. Lineu Prestes, 2242, 05508-000, São Paulo/SP, Brasil

**Resumo:** A modificação das características das superfícies promovida por lasers de pulsos ultracurtos pode ter aplicação relevante para o setor ferramenteiro. Assim, pretendeu-se aplicar esta técnica avançada de fabricação com o objetivo investigar a influência da texturização por pulsos ultracurtos com duração próxima a 30 femtossegundos ( $10^{-15}$  s) sobre a superfície de saída de insertos de metal duro através da avaliação da evolução do desgaste da ferramenta e rugosidade da superfície usinada. Ensaios de torneamento a seco foram executados em aço inoxidável austenítico (V304UF), mantendo-se as condições de corte constantes em 100 m/min para a velocidade de corte; 0,2 mm/volta para o avanço e 2,0 mm de profundidade de corte. Foram comparadas ferramentas de metal duro sem revestimento texturizada e sem texturização (referência). Os resultados mostraram que o inserto texturizado apresentou melhor desempenho durante a usinagem do V304UF. A ferramenta texturizada apresentou desgaste de flanco menor do que o desenvolvido na de referência. Nesta última houve falha catastrófica da ponta de corte para um tempo de corte de 1,54 min. Os valores de rugosidade para os parâmetros  $R_a$  e  $R_t$  apresentaram relação com a curva de desgaste, sendo que os maiores valores ocorreram no início e no final dos testes. Além disso, os valores de  $R_a$  para a ferramenta texturizada se mantiveram mais próximos do teórico do que para a ferramenta de referência.

**Palavras-chave:** texturização, laser de pulsos ultracurtos, vida da ferramenta, desgaste, rugosidade

### 1. INTRODUÇÃO

Na última década, lasers de pulsos ultracurtos (com duração entre  $10^{-13}$  a  $10^{-15}$  s) têm despertado grande interesse, apresentando-se como uma nova possibilidade para a microusinagem (Samad et al, 2012). Dessa forma, a capacidade do laser de femtossegundos ( $10^{-15}$  s) na modificação das características das superfícies através de uma ablação não seletiva, com preservação das propriedades da vizinhança do material atacado; alta eficiência e controle preciso da geometria (Liang et al, 2003 e Samad et al, 2012) pode ter aplicação de grande importância para o setor ferramenteiro, contribuindo para o desenvolvimento de ferramentas de corte com desempenho melhorado.

Dentre os métodos de avaliação do desempenho das ferramentas de corte a evolução do desgaste é um parâmetro muito importante, expressando o quanto o material e o processo exigem da ferramenta de maneira mais completa (Ferraresi, 2011 e Machado et al, 2011).

No que diz respeito ao acabamento da peça, os parâmetros de rugosidade fornecem informações quantitativas bastante sensíveis às variáveis do processo de fabricação e, portanto, auxiliam na avaliação do desempenho da ferramenta (ABNT NBR ISO 4288, 2008; Ferraresi, 2011). Dentre os parâmetros avaliados a rugosidade média ( $R_a$ ) é utilizada como padrão de controle, estando relacionada muitas vezes com o desgaste da ferramenta (Machado et al., 2011). Em alguns casos, é necessário ainda especificar a distância entre picos e vales da topografia, fazendo com que o parâmetro  $R_t$  (rugosidade total), que é diretamente influenciado por qualquer defeito ou irregularidade, também seja

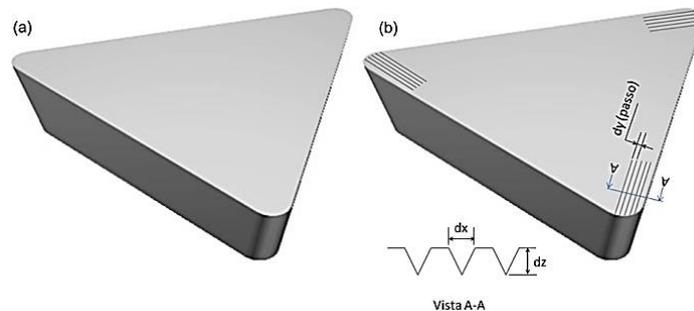
considerado na avaliação de superfícies usinadas (ABNT NBR ISO 4287, 2002; Gadelmawla et. al., 2002 e Machado et al., 2011).

Diante disso, o objetivo do trabalho visa investigar o efeito da texturização, por laser de femtossegundos, sobre a superfície de saída ( $A_\gamma$ ) de insertos de metal duro, avaliando a evolução do desgaste e a rugosidade da superfície durante o torneamento cilíndrico externo do aço inoxidável austenítico (V304UF).

## 2. METODOLOGIA

Ensaio de torneamento semi ortogonal a seco foram executados mantendo as condições de corte constantes em 100 m/min; 0,2 mm/volta e 2,0 mm de profundidade de corte. O material da peça de trabalho foi um aço inoxidável austenítico V304UF no estado solubilizado fornecido pela Villares Metals S.A. (Barbosa, 2014).

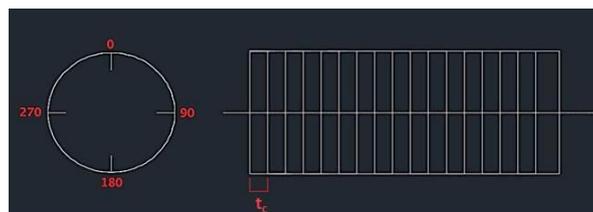
Foram avaliadas duas ferramentas de corte comerciais de metal duro classe H13A da Sandvik sem revestimento, com geometria triangular TPUN 160304. Para a execução dos ensaios de usinagem estes insertos foram montados em porta-ferramenta CTGPR 2525 M16, conferindo um ângulo de inclinação ( $\lambda_s$ ) de  $0^\circ$ , ângulo de saída positivo ( $\gamma_0$ ) de  $6^\circ$  e ângulo de posição ( $\chi_r$ ) de  $91^\circ$ . Uma ferramenta de corte sem textura foi utilizada como referência. O outro inserto teve a superfície de saída ( $A_\gamma$ ) texturizada em um sistema de laser de pulsos ultracurtos de Ti-Safira, modelo Femtopower Compact Pro HR/HP da Femtolasers, utilizando energia de 12  $\mu\text{J}$ , largura temporal de, 30 fs, comprimento de onda centrado em 785 nm, taxa de repetição controlada de 4 kHz, distância focal de 38 mm e velocidade de varredura do feixe de 6 mm/min. O padrão da microtextura produzido sobre  $A_\gamma$  consistiu de canais paralelos em forma de “V”, com profundidade (dz), distância entre os canais - passo (dy) e largura (dx) médias de 30, 60 e 33  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Estes canais foram dispostos paralelamente à aresta principal de corte (S) cobrindo uma área de 2,5  $\text{mm}^2$ , iniciando a 300  $\mu\text{m}$  de S, como mostrado no esquema da Fig. 1.



**Figura 1. Configuração esquemática das ferramentas de corte avaliadas. (a) Ferramenta de referência (sem textura) e (b) Ferramenta texturizada, destacando as distribuições e formato do padrão da microtextura.**

A evolução do desgaste foi monitorada a cada percurso de avanço ( $L_f$ ) de 10 mm, que corresponde a um tempo de corte ( $t_c$ ) de 0,11 min, em Lupa estereoscópica ZEISS Discovery V12 e software Axiovision de captura e análise de imagens. Foram registradas imagens da superfície principal de folga ( $A_u$ ), superfície secundária de folga ( $A'_u$ ), superfície de saída ( $A_\gamma$ ), e ponta da ferramenta. Devido à indisponibilidade de equipamento para se medir a profundidade do desgaste de cratera (KT), o desgaste de flanco médio foi definido neste trabalho como critério de fim de vida,  $VB_B=0,3$  mm (ISO 3685, 1993).

A rugosidade da superfície usinada foi mensurada utilizando um rugosímetro Surftronic 3+ da Taylor Robson. Para tanto, foi utilizado o cut-off de 0,8 mm de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 4288(2008). As medições de rugosidade foram executadas a cada passada ( $t_c=0,11$  min), em quatro posições espaçadas de  $90^\circ$ , como demonstrado esquematicamente na Fig. 2. Os parâmetros avaliados de rugosidade da superfície gerada pelas ferramentas investigadas foram o desvio médio aritmético ( $R_a$ ) e a altura total do perfil ( $R_t$ ).



**Figura 2. Configuração esquemática do posicionamento dos planos de medição da rugosidade da superfície ao longo da barra de V304UF.**

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3, 4 e 5 mostram imagens representativas da evolução do desgaste da ferramenta de referência referentes às superfícies principal e secundária de folga, superfície de saída e a ponta da ferramenta.

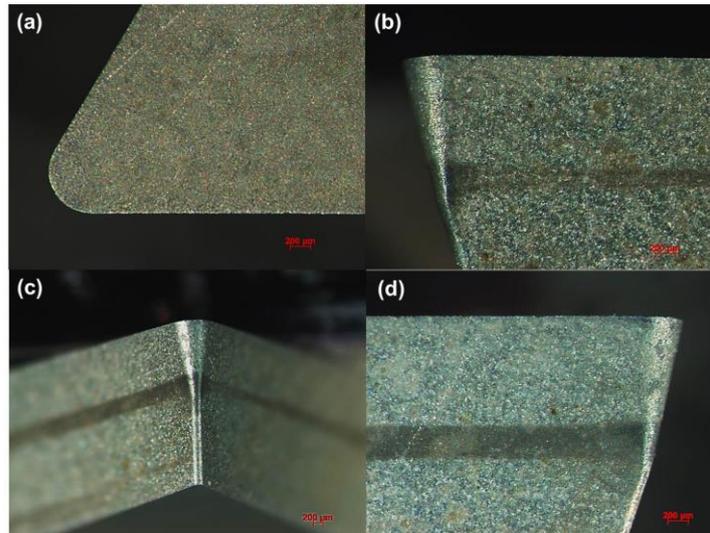


Figura 3. Ferramenta de referência nova. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ )

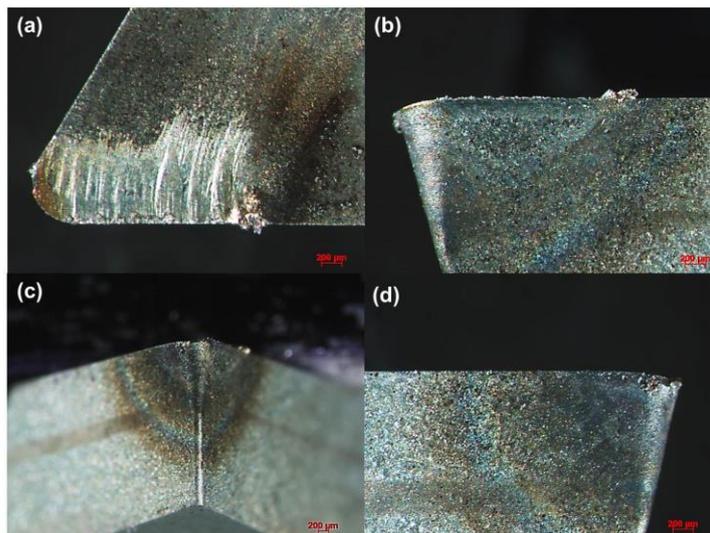
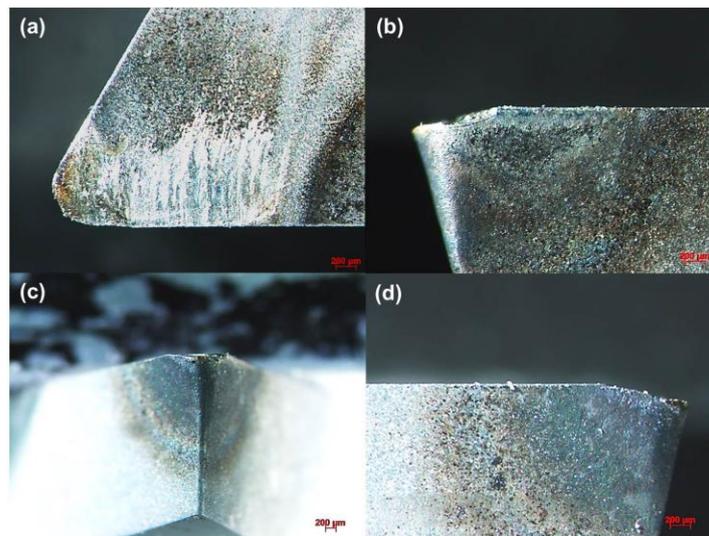


Figura 4. Ferramenta de referência após tempo de corte de 0,77 min. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).



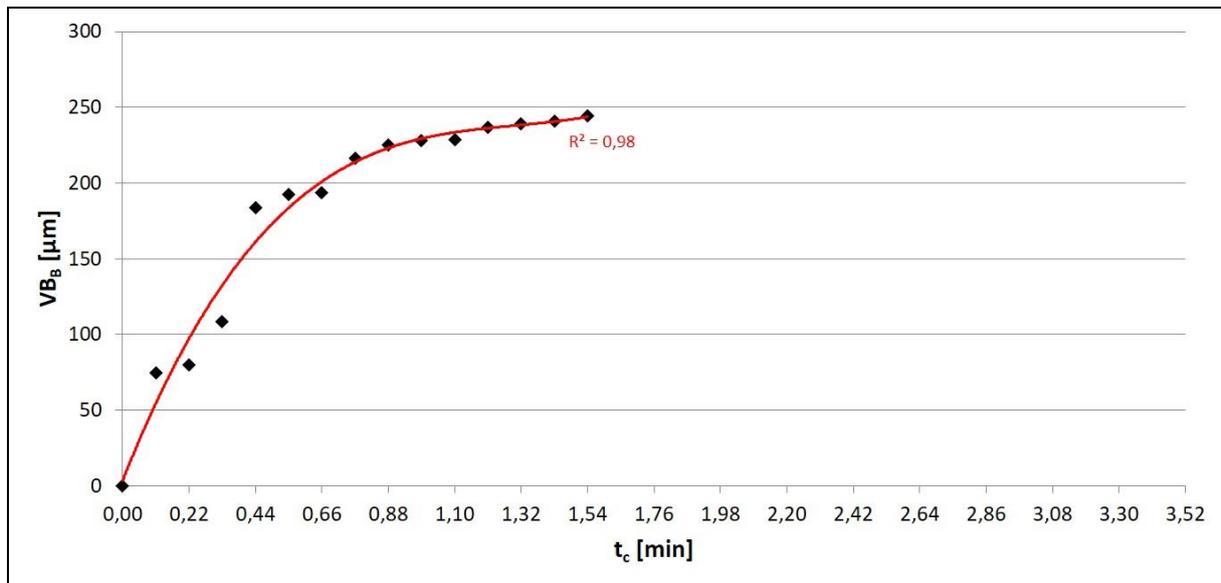
**Figura 5. Ferramenta de referência após tempo de corte de 1,54 min. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).**

A Figura 6 mostra uma vista em perspectiva destacando a falha catastrófica com a perda da ponta de corte da ferramenta de referência após  $t_c=1,54$  min.



**Figura 6. Falha Catastrófica da ponta da ferramenta de referência após o tempo de corte de 1,54 min.**

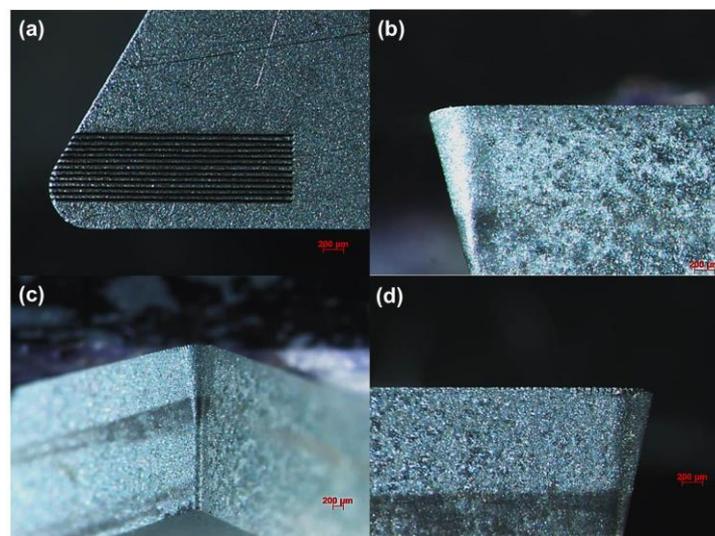
A partir das imagens representativas da evolução do desgaste da ferramenta de referência (sem textura), Figs. 3, 4, 5 e 6, pôde-se observar que, no decorrer do teste de vida, houve um aumento gradativo do desgaste de flanco na superfície principal de folga, acompanhado de perda progressiva de material (Figs. 4b e 5b), culminando em falha catastrófica, com o lascamento da ponta do inserto como destacado na Fig. 6. E conseqüentemente, o fim de vida da ferramenta de referência foi decretado após o tempo de corte ( $t_c$ ) de 1,54 min, o que correspondeu um desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) de 244,55  $\mu\text{m}$  (0,245 mm), como pode ser visto no gráfico da evolução de  $VB_B$  em função do tempo de corte da Fig.7.



**Figura 7. Evolução do desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) da ferramenta de referência ao longo do tempo de corte.**

A evolução do desgaste da ferramenta de referência é apresentada na Fig. 7, onde pode ser observado um desgaste de flanco acelerado durante até um tempo de corte de 0,44 min natural da adequação do sistema tribológico ao processo de usinagem (Machado et al, 2011). A partir de 0,66 min, a taxa do desgaste de flanco se aproximou de constante até 1,32 min. Entre 1,43 e 1,54 min verificou-se uma lasca considerável na ponta da ferramenta, como destacado na Fig. 4, momento em que foi decretado fim de vida por falha catastrófica, o que correspondeu um desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) de 244,55  $\mu\text{m}$ , não atingindo o critério de fim de vida para  $VB_B$  de 300  $\mu\text{m}$  (0,3 mm), sugerido pela Norma ISO 3685 (1993).

As Figuras 8, 9, 10 e 11 mostram imagens representativas da evolução do desgaste da ferramenta texturizada. Como no inserto de referência, foram monitoradas as superfícies principal e secundária de folga, bem como a superfície de saída e a ponta da ferramenta.



**Figura 8. Ferramenta texturizada nova. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).**

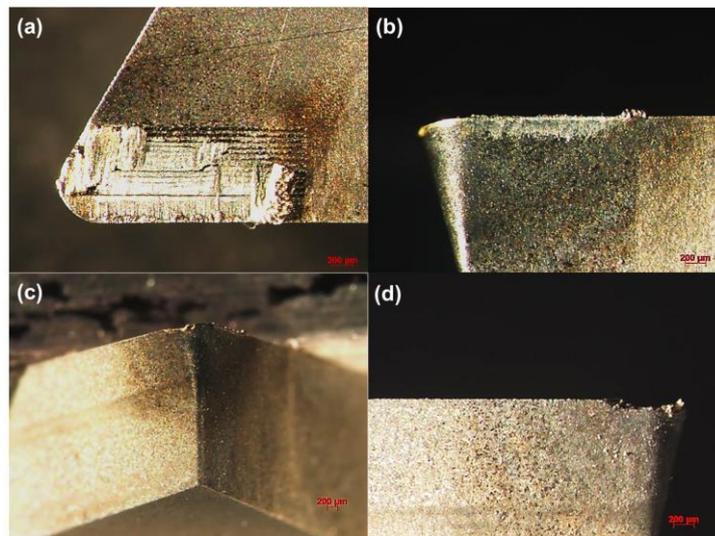


Figura 9. Ferramenta texturizada após o tempo de corte de 0,77 min. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).

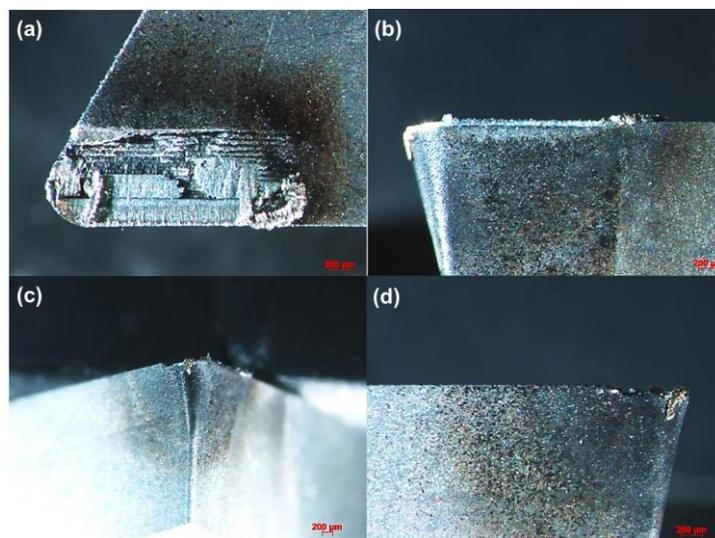


Figura 10. Ferramenta texturizada após o tempo de corte de 1,54 min. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).

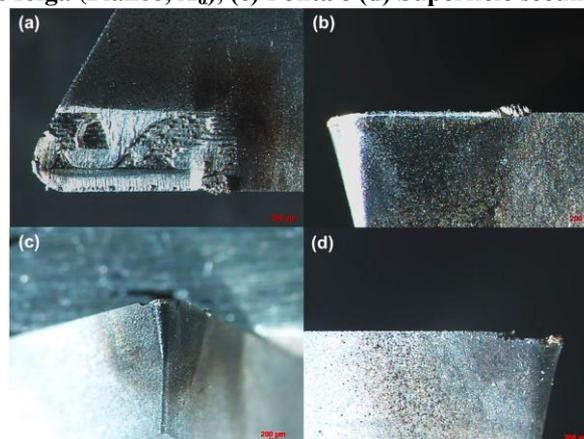
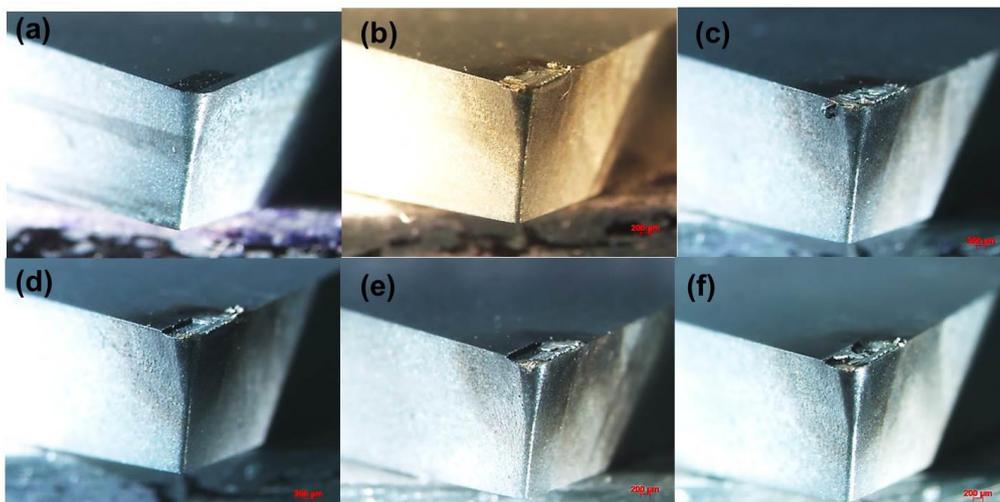


Figura 11. Ferramenta texturizada após o tempo de corte de 3,30 min. (a) Superfície de saída ( $A_\gamma$ ), (b) Superfície principal de folga (Flanco,  $A_\alpha$ ), (c) Ponta e (d) Superfície secundária de folga ( $A'_\alpha$ ).

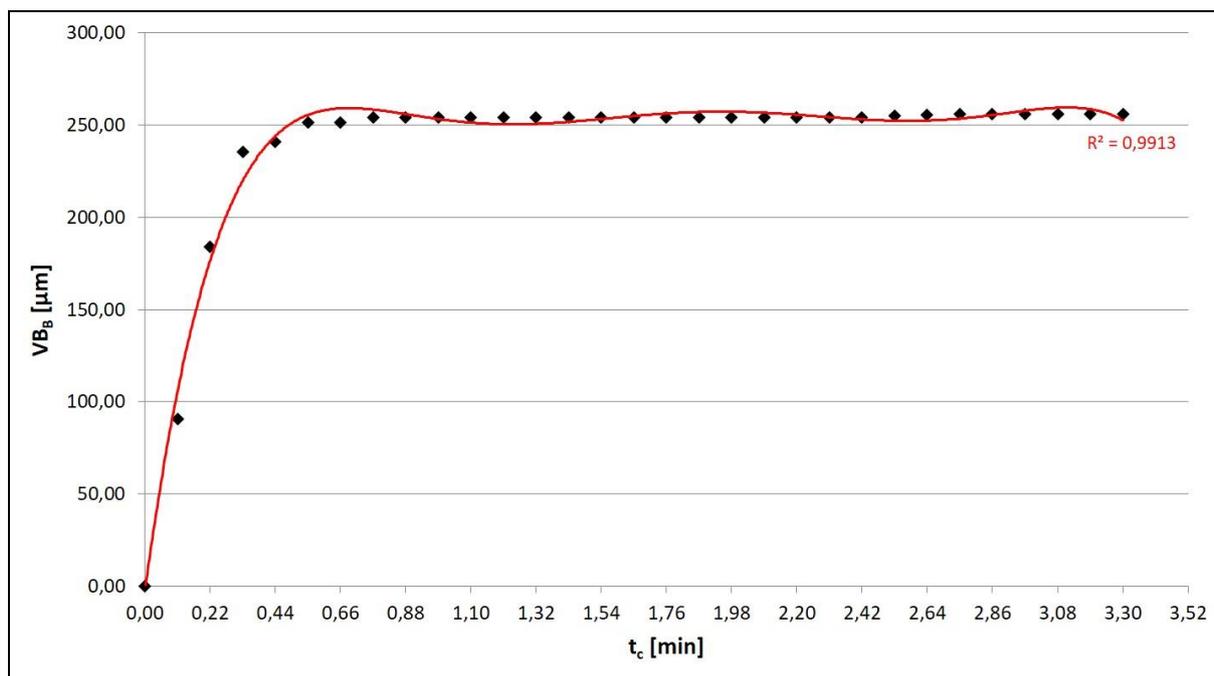
A Figura 12 apresenta imagens representativas de vistas em perspectiva da ferramenta texturizada destacando a evolução do desgaste de cratera.



**Figura 12. Evolução do desgaste de cratera na ferramenta texturizada. (a) ferramenta nova; e após a usinagem de: (b)  $t_c = 0,77$  min, (c)  $t_c = 1,21$  min, (d)  $t_c = 1,54$  min, (e)  $t_c = 2,75$  min e (f)  $t_c = 3,30$  min.**

A evolução do desgaste da ferramenta com a superfície de saída texturizada mostrou aumento gradativo do desgaste de flanco na superfície principal de folga, Figs. 8b a 11b. Apesar do desenvolvimento do desgaste de cratera, como visto na Fig. 12, a aresta principal de corte (S), manteve-se íntegra, com desgaste de flanco médio alcançando um valor de 255,47  $\mu\text{m}$  (0,255 mm) para um tempo de corte de 3,30 min, momento em que o teste foi interrompido, devido ao término do comprimento útil de usinagem da barra.

A Figura 13 apresenta o gráfico da evolução do desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) da ferramenta texturizada em função do tempo de corte ( $t_c$ ).



**Figura 13. Evolução do desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) da ferramenta de corte de texturizada em função do tempo de corte ( $t_c$ ).**

Observou-se através do gráfico da evolução do desgaste da ferramenta texturizada em função de  $t_c$  uma aceleração do desgaste de flanco médio, devido à adequação do sistema tribológico ao processo de usinagem (Machado et al., 2011) até o tempo de corte de 0,44 min; após esse intervalo o desgaste manteve-se aproximadamente constante em 250  $\mu\text{m}$  (0,250 mm), até a interrupção do teste. Em vista disto, e de acordo com os critérios sugeridos pela a Norma ISO 3685 (1993), pode-se considerar que a ferramenta texturizada não atingiu o critério de fim de vida estabelecido para  $VB_B$  no tempo de corte total avaliado. Isto mostra, para as condições avaliadas, que a texturização pode atuar de maneira benéfica, aumentando a vida do inserto, uma vez que a aresta principal de corte se manteve íntegra.

Essa melhoria no desempenho da ferramenta texturizada pode estar relacionada a uma mudança no sistema tribológico, devido ao ancoramento de material da peça na  $A_y$ . Este ancoramento de material pode ser atribuído a um fenômeno tribológico denominado “clogging”, que consiste no preenchimento de um material macio sobre uma superfície dura abrasiva, influenciando na redução do atrito, da carga e do desgaste (Gählin; Jacobson, 1999).

As Figuras 14 e 15, apresentam os gráficos dos parâmetros de rugosidade,  $R_a$  e  $R_t$ , respectivamente, em função do tempo de corte para as condições avaliadas.

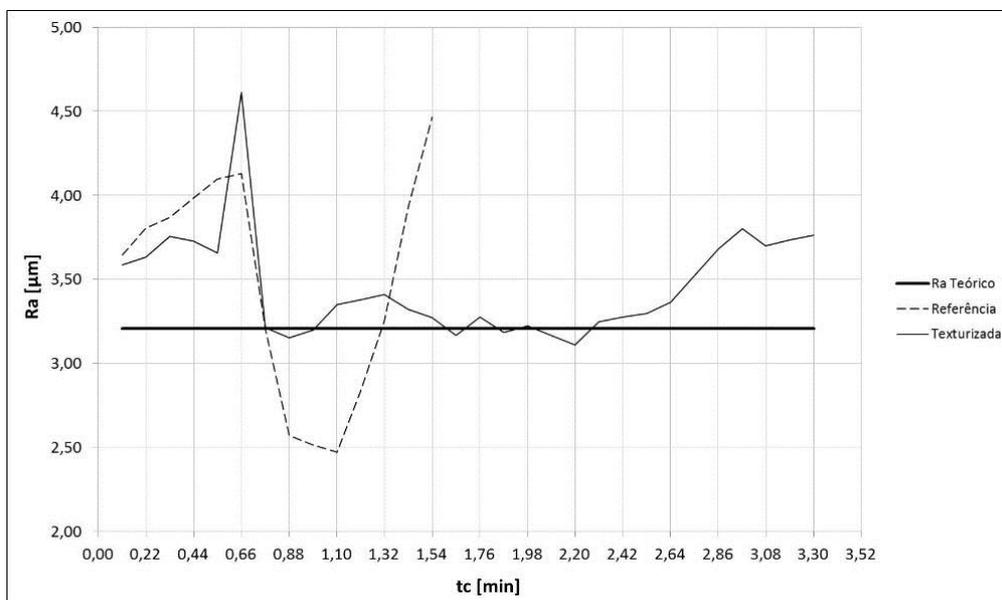


Figura 14. Rugosidade média ( $R_a$ ) em função do tempo de corte ( $t_c$ ) para os testes utilizando ferramentas sem textura (referência) e texturizada.

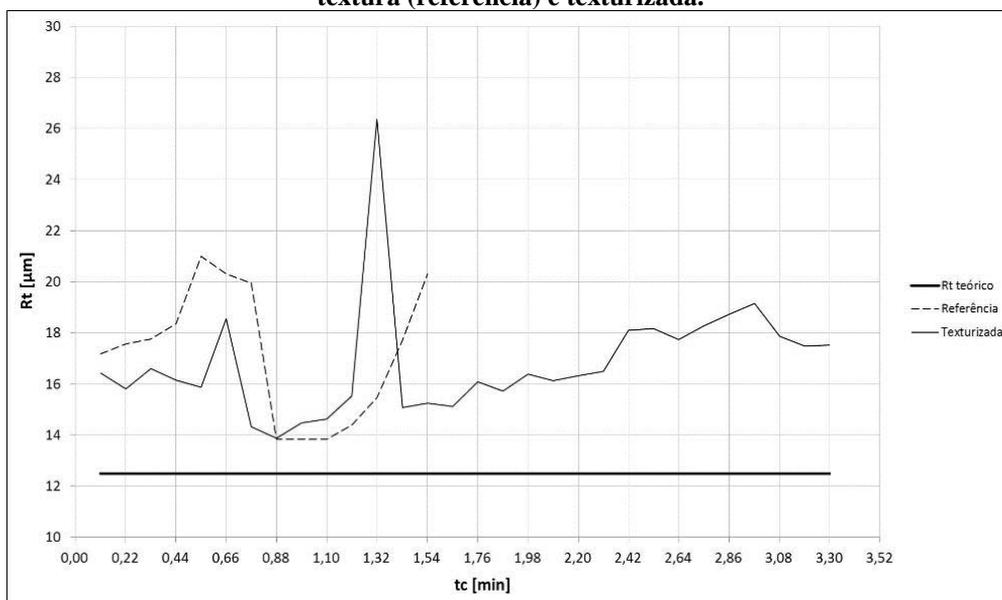


Figura 15. Rugosidade total ( $R_t$ ) em função do tempo de corte ( $t_c$ ) para os testes utilizando ferramentas sem textura (referência) e texturizada.

Os gráficos de rugosidade (Figs. 14 e 15) indicaram, de maneira geral, uma relação direta com a curva de desgaste, mostrando valores bem elevados até  $t_c=0,66$  min, devidos à adequação da ferramenta ao corte, com posterior decaimento ao longo do tempo. A partir de 0,77 min, os valores de  $R_a$  para a ferramenta texturizada permaneceram aproximadamente constantes em torno de 3,21  $\mu\text{m}$ , que corresponde ao valor teórico de  $R_a$ , voltando a se elevar a partir de 2,32 min em função do desgaste da ferramenta. A ferramenta de referência, apesar da queda abrupta de  $R_a$ , em 0,66 min, atingindo um valor mínimo de 2,50  $\mu\text{m}$ , abaixo do  $R_a$  teórico, não conseguiu manter o acabamento da superfície, fazendo com que em pouco tempo, a partir de 1,10 min a rugosidade apresentasse um aumento acentuado até a falha catastrófica. Apesar da variação de  $R_a$  ao longo da vida os valores apresentados estão próximos aos encontrados na literatura (Barbosa et al., 2015). O pico acentuado de  $R_t$  (Fig. 15), para a ferramenta texturizada no tempo de corte de 1,32 min, pode ser devido ao destacamento do tribofilme formado sobre a superfície de saída da ferramenta.

Possivelmente, a camada de material aderida sobre a textura causada pelo fenômeno “clogging” não permanece sobre a ferramenta ao longo do tempo. Periodicamente, esse tribofilme pode ser destacado da ferramenta, e junto com ele a textura vai se fraturando, fazendo com que se desenvolva uma cratera ao longo da vida do inserto. Assim, os picos localizados e o aumento no valor de  $R_t$ , pode ser atribuído a esse destacamento de material, fazendo com que a rugosidade apresente alteração na distância entre os picos e vales na superfície da peça usinada.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a texturização por laser de femtossegundos mostrou-se promissora na melhoria do desempenho da ferramenta de corte de metal duro durante a usinagem do aço inoxidável austenítico V304UF, promovendo uma maior vida útil da ferramenta, e melhor acabamento da superfície usinada, com  $R_a$  aproximadamente constante em torno do valor de  $R_a$  teórico durante 46,6% do tempo de vida.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao fomento à pesquisa através dos processos CNPQ (405707/2013-4, 150490/2014-3 e 150188/2015-3); FAPESP (2013/26113-6) e PIIC/PIBIC/FAP-UFES 2017-2018.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4287, 2002, “Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade”, 18p.
- Associação Brasileira ABNT NBR ISO 4288, 2008, “Especificações geométricas do produto (GPS)- Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”, 10p.
- Barbosa, P.A., 2014, “Estudo do comportamento mecânico na usinagem dos aços inoxidáveis”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ferraresi, D., 2011, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 14ª reimpressão, 751p.
- Gadelmawla, E.S, Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M. and Soliman, H.H., 2002, “Roughness Parameters”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.123, pp. 133-145.
- Gählin, R.; Jacobson, S., 1999, “The particle size effect in abrasion studied by controlled abrasive surfaces”, *Wear*, 224, pp. 118-125.
- ISO 3685: 1993 (E), 1993, “Tool-life testing with single-point turning tools”,. 48p.
- Liang, W.L., Ngoi, B.K.A., Lim, L.E.N., Venkatakrisnan, K. and Hee, C.W., 2003, “Micromachining of circular ring microstructure by femtosecond laser pulses”, *Optics & Laser Technology*, Vol.35, pp. 285- 290.
- Machado, Á.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T. e Da Silva, M.B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2.ed., 397 p.
- Samad, R.E., Machado, L.M., Junior, N.D.V. and de Rossi, W., 2012, “Ultrashort laser pulses machining. In Laser Pulses – Theory, technology and applications”, Ed. InTech, pp.143-174

#### 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# TEXTURING EFFECT BY FEMTOSECOND LASER PULSES ON THE CEMENTED CARBIDE TOOLS PERFORMANCE: WEAR EVOLUTION AND SURFACE ROUGHNESS

Elton Mesquita de Almeida, eltonmesquitaalmeida@gmail.com<sup>1</sup>

Fabiano Gonçalves Coelho Junior, fabiano\_junior18@hotmail.com<sup>1</sup>

Marcelo Bertolete Carneiro, bertolete@sc.usp.br<sup>2</sup>

Ricardo Elgul Samad, resamad@ipen.br<sup>3</sup>

Nilson Dias Vieira Júnior, nilsondv@ipen.br<sup>3</sup>

Wagner de Rossi, wderossi@ipen.br<sup>3</sup>

Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Federal University of Espírito Santo, Department of Mechanical Engineering, CT III, Vitória/ES, 29075-910, Brazil

<sup>2</sup> School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, 13566-590, São Carlos/SP, Brazil

<sup>3</sup> Nuclear and Energy Research Institute, Center for Lasers and Applications, São Paulo, 05508-000, Brazil

**Abstract.** *The surface topography characteristics modification promoted of ultrashort laser pulses can be relevant importance for toolmakers industry. In the sense, it was intended to apply this advanced manufacturing technique to investigate the effect of texturing the rake face of uncoated cemented carbide tools by femtosecond laser pulses (about  $30 \times 10^{-15}$  s) on the wear evolution and surface roughness. Dry semi-orthogonal turning tests on austenitic stainless steel (V304UF) were performed. The cutting conditions ( $v_c=100$  m/min;  $f=0.2$  mm/rev;  $a_p=2.0$  mm) were kept constant. Non-textured (reference) and textured tools were investigated. The results showed evidences of improving performance during machining austenitic stainless steel with textured insert. and the textured tool presented lower flank wear level than the reference one. The reference tool (non-textured) failed catastrophically with tool tip breakage for a shorter cutting time compared to textured insert. The surface roughness results are directly related to the wear curve. The textured tool presented Ra approximately equal to the Ra theoretical.*

**Keywords:** *texturing, femtosecond laser, life tool, wear evaluation, surface roughness.*

## RESPONSIBILITY NOTICE

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