

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FERRAMENTA DE METAL DURO TEXTURIZADA POR LASER DE PULSOS ULTRACURTOS

Gustavo Severino de Almeida<sup>1</sup>

Reginaldo Teixeira Coelho<sup>1</sup>

Marcelo Bertolete Carneiro<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 13566-590, São Carlos/SP  
gustavo.severino.almeida@usp.br; rtcoelho@sc.usp.br; bertolete@sc.usp.br

Patrícia Alves Barbosa<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Mecânica, 29075-910, Vitória/ES  
patricia.a.barbosa@ufes.br; marcelo.b.carneiro@ufes.br

Wagner de Rossi<sup>3</sup>

Ricardo Elgul Samad<sup>3</sup>

Nilson Dias Vieira Júnior<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Lasers e Aplicações, 05508-000, São Paulo/SP  
wderossi@ipen.br; resamad@ipen.br; nilsondv@ipen.br

Álisson Rocha Machado<sup>4</sup>

<sup>4</sup>Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Graduação em Engenharia Mecânica, 80215-901, Curitiba/PR  
alisson.rocha@pucpr.br

**Resumo:** A texturização por laser de pulsos ultracurtos provoca uma ablação com mínimo dano térmico, preservando as características adjacentes do material ablatado. Deste modo, torna-se possível gerar microtexturas na superfície de saída da ferramenta de usinagem, buscando melhoria de desempenho. Este trabalho realiza uma comparação entre duas ferramentas de corte de metal-duro, TPUN 160304, sendo uma texturizada e a outra de referência (não-texturizada), durante o torneamento de um aço inoxidável austenítico (V304UF). Para isto, os parâmetros de corte foram mantidos constantes. Avaliou-se a força de usinagem, o desgaste de flanco da ferramenta, além da rugosidade produzida sobre a peça. Os resultados mostraram um melhor comportamento para ferramenta texturizada.

**Palavras chave:** Laser de Pulsos Ultracurtos. Texturização. Metal-Duro. Usinagem. Aço Inoxidável Austenítico.

### 1. INTRODUÇÃO

A ciência metalomecânica está fortemente atrelada a geração de riqueza mundial, uma vez que os processos de fabricação, como a usinagem, estão amplamente difundidos nas mais variadas indústrias (Trent; Wright, 2000; Shaw, 2005; Childs *et al.*, 2010). Sendo assim, qualquer melhoria em algum destes processos tem impacto imediato na economia e na sociedade. Deste modo, a texturização de ferramentas de corte para usinagem contribui para o desenvolvimento do processo, uma vez que visa o aumento do seu desempenho, melhorando aspectos tribológicos na interface cavaco-ferramenta, como maior adesão de revestimentos, redução das forças de corte, de atrito, da temperatura, do desgaste da ferramenta e da rugosidade produzida na peça (Kawasegi *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2015; Bertolete *et al.*, 2018).

De acordo com Gachot *et al.* (2017), o laser é uma das formas mais comuns de se fabricar superfícies texturizadas, porém existem outras técnicas, como o uso de feixe de íons, ataque químico ou eletroquímico, brunimento, jateamento e microcunhagem, que também proporcionam vantagens e desvantagens em relação ao primeiro. A texturização à laser tem a vantagem de poder ser empregada para uma ampla gama de materiais (Shum *et al.*, 2013). Os lasers pulsados de nanossegundos ( $10^{-9}$  s) geram pulsos de alta frequência, o que permite aumento na velocidade da texturização e exatidão. Todavia, com esse tipo de laser é mais comum encontrar material fundido e zona afetada pelo calor, o que pode levar a tensão residual e microtrincas (Gachot *et al.*, 2017). No entanto, os lasers de pulsos ultracurtos que possuem período de pulso da ordem de picossegundos ( $10^{-12}$  s) a femtossegundos ( $10^{-15}$  s), garantem durações de pulsos extremamente curtas, inferior ao período de vibração térmica da rede cristalina do material, o que minimiza alterações nas propriedades do material durante a ablação (Wang *et al.*, 2010; Samad *et al.*, 2012).

Dentre as formas de avaliação de desempenho de uma ferramenta de corte, destacam-se o monitoramento dos esforços de corte presentes no processo de usinagem, capazes de evidenciar o comportamento tribológico do sistema; a medição da rugosidade obtida na superfície usinada; além do acompanhamento do desgaste da ferramenta ao longo do tempo (Diniz *et al.*, 2000; Trent; Wright, 2000; Machado *et al.*, 2015).

Assim, o objetivo deste trabalho é comparar o desempenho de duas ferramentas de metal duro, uma texturizada e uma de referência (não-texturizada), durante o torneamento de um aço inoxidável austenítico. Para tanto, foram executados ensaios de usinagem de longa duração para o levantamento da curva de desgaste, monitorando simultaneamente os esforços de corte e a rugosidade obtida na peça.

## 2. METODOLOGIA

As ferramentas de corte utilizadas eram de metal duro com especificação TPUN 160304, fornecida pela Sandvik, com designação do fabricante H13A. O uso destas ferramentas se justifica por não receberem revestimento, não interferindo, dessa forma, nos resultados monitorados. Os insertos foram montados em suporte, também da Sandvik, cuja especificação era CTGPR 2020K 16. Isto conferiu um corte semi-ortogonal, formação do cavaco no plano bidimensional, com ângulos de posição ( $\chi_r$ ) de 91°, de inclinação ( $\lambda_s$ ) de 0°, de saída ( $\gamma_o$ ) de 6° e de folga ( $\alpha_o$ ) de 11°. A texturização foi realizada em um sistema de laser Ti:Safira de pulsos ultracurtos, modelo Femtopower Compact Pro HR/HP da Femtolasers. Para tanto, foi utilizado 12  $\mu$ J de energia, duração do pulso de 30 fs, taxa de repetição de 4 kHz, distância focal de 38 mm e velocidade de varredura do feixe de 6 mm/min.

As ferramentas texturizadas e de referência (não-texturizadas) foram caracterizadas em um microscópio confocal LEXT OLS4100 da Olympus, ver Fig. 1. Este permitiu a medição precisa e sem contato da profundidade, largura e distância entre os canais gerados na texturização (passo). Para uma melhor análise, dividiu-se a região texturizada em 3 partes e para cada uma destas, realizou-se a medição dos três parâmetros.

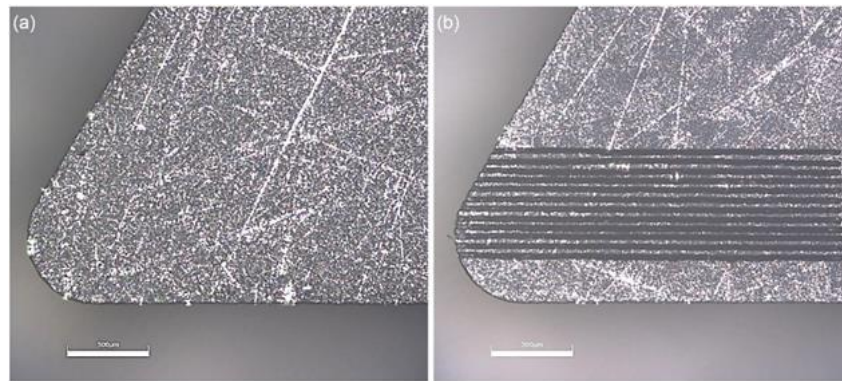


Figura 1. Ferramentas ensaiadas. (a) Referência; (b) Texturizada

Os ensaios de usinagem foram realizados em um torno CNC, modelo GL 240M da ROMI. Para determinar a força de usinagem (resultante das componentes) durante o torneamento, foi utilizado um dinamômetro modelo 9121 e um amplificador de sinais modelo 5019B, ambos da Kistler. O material da peça de trabalho foi um aço inoxidável austenítico, V304UF, da Villares Metals. Os parâmetros de corte utilizados durante os 36 passes de 10 mm por ferramenta testada foram: velocidade de corte ( $v_c$ ) = 100 m/min, avanço ( $f$ ) = 0,2 mm/volta e profundidade de corte ( $a_p$ ) = 2 mm. Durante cada passe, o dinamômetro mediu os esforços de corte. Ao término do passe, retirava-se a ferramenta da máquina e com o auxílio do microscópio, avaliava-se o desgaste de flanco, conforme ISO 3685:1993. A peça teve o parâmetro de rugosidade média aritmética  $R_a$  medido fazendo uso de um rugosímetro SJ-201 da Mitutoyo, com comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm, conforme ABNT NBR ISO 4288:2008. O procedimento foi repetido para todos os passes e para todas as ferramentas.

## 3. RESULTADOS

Na Tabela 1 tem-se os resultados da caracterização das texturas. Após a realização das medições, obteve-se a média dos três parâmetros estudados para cada uma das arestas da ferramenta texturizada.

Tabela 1. Caracterização das texturas da ferramenta.

| Parâmetros              | Aresta 1         | Aresta 2         | Aresta 3         | Nº de Medidas |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| Profundidade [ $\mu$ m] | 25,30 $\pm$ 2,67 | 22,67 $\pm$ 3,21 | 24,60 $\pm$ 3,18 | 36            |
| Largura [ $\mu$ m]      | 34,00 $\pm$ 2,15 | 35,46 $\pm$ 1,70 | 33,79 $\pm$ 1,95 | 36            |
| Passo [ $\mu$ m]        | 59,20 $\pm$ 4,20 | 58,78 $\pm$ 3,24 | 59,35 $\pm$ 5,34 | 33            |

O dimensionamento das texturas indica que o laser gera canais precisos, com pequeno desvio-padrão, conforme cita a literatura (Wang *et al.*, 2010; Samad *et al.*, 2012; Gachot *et al.*, 2017).

Os resultados de força de usinagem, determinados a partir da resultante das componentes ortogonais medidas pelo dinamômetro, estão plotados em um gráfico comparativo para ambas as ferramentas ensaiadas ao longo do percurso de avanço, ver Fig. 2.

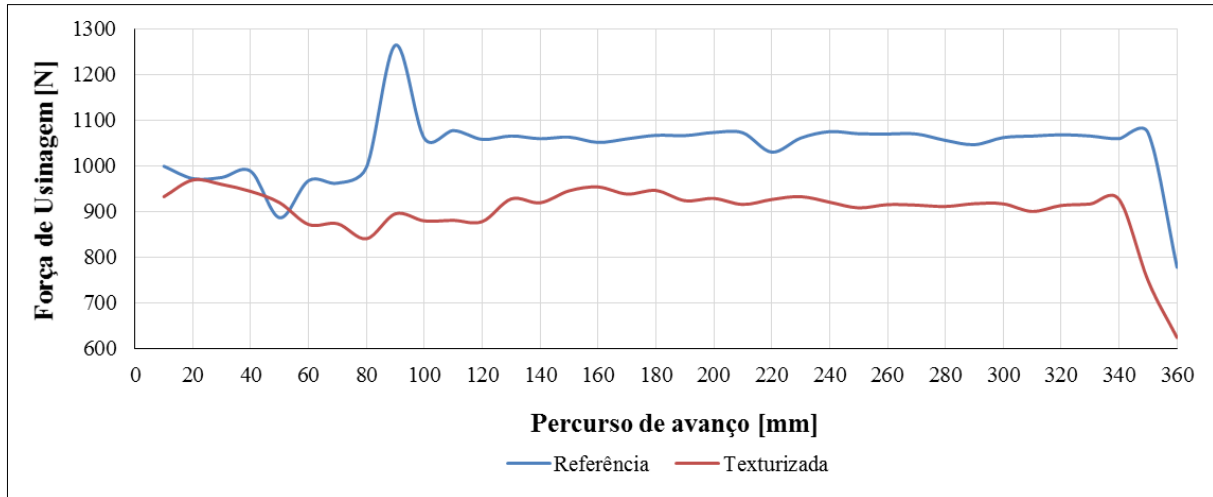


Figura 2. Resultado de força de usinagem

Durante o início do corte, ambas as ferramentas tiveram comportamento semelhante devido a um breve período de adaptação destas à operação de torneamento. Posteriormente, nota-se que a ferramenta texturizada sempre apresentou valores de força de usinagem menores do que a ferramenta de referência, que provavelmente está relacionado a uma diminuição das áreas nos planos de cisalhamento primário e secundário, bem como aumento do ângulo de cisalhamento (Trent; Wright, 2000). Em média obteve-se uma redução de 13%. Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa *et al.* (2015) usinando também o V304UF e por Bertotele *et al.* (2018) usinando aço inoxidável martensítico.

Na Figura 3 é mostrado o comparativo da evolução do desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) para as ferramentas testadas.

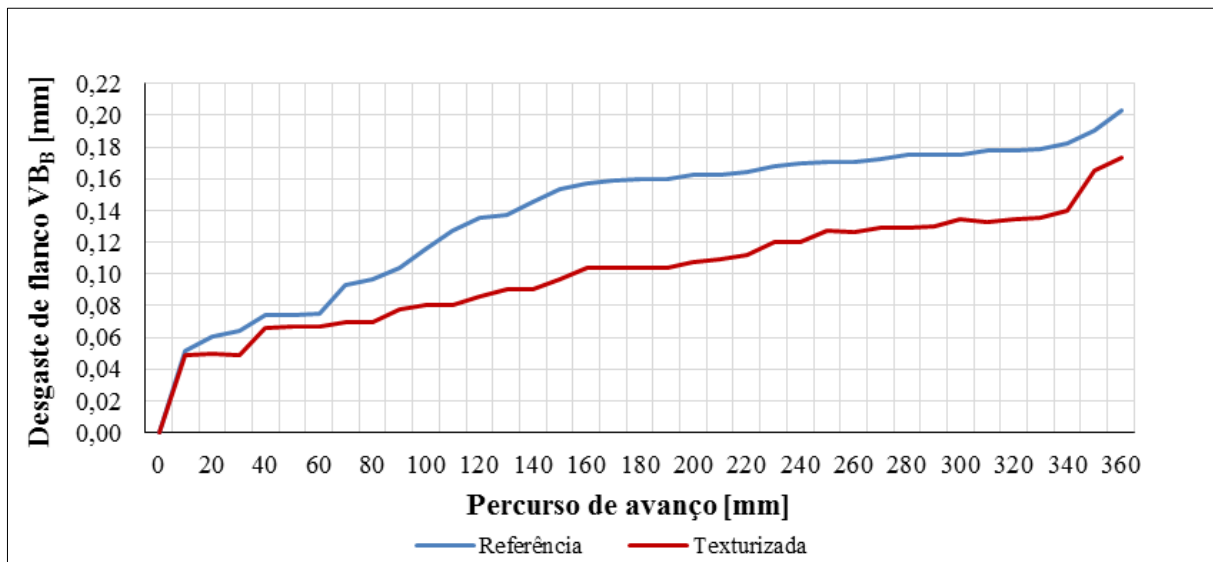


Figura 3. Resultado da evolução do desgaste de flanco médio ( $VB_B$ )

Nota-se que ambas as ferramentas seguem o mesmo comportamento, passando por um acentuado desgaste inicial, seguido de uma etapa de taxa de desgaste constante, até a etapa final com um novo aumento no desgaste, indicando o fim da vida da ferramenta. No entanto, nota-se que o desgaste foi maior para ferramenta de referência do que para a texturizada. Xie *et al.* (2013) também observou menor desgaste em ferramenta texturizada.

Para cada um dos passes, em quatro pontos diferentes da seção da barra de trabalho, realizou-se a medição da rugosidade aritmética média (Ra), a fim de evidenciar as diferenças no acabamento realizado pelas ferramentas ao longo do ensaio, ver Fig. 4.

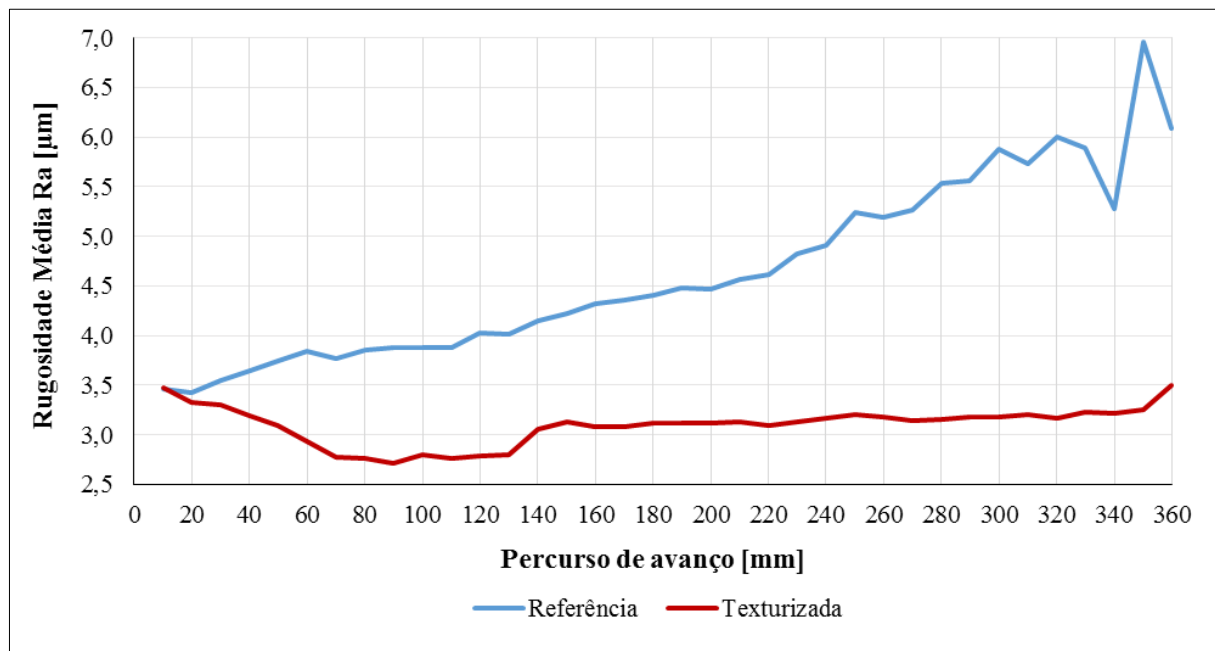


Figura 4. Resultado de rugosidade média (Ra)

Para todos os passes percebe-se que a ferramenta texturizada não só apresentou valores mais baixos de rugosidade, como também se comportou de maneira mais estável, em relação à ferramenta de referência, a qual apresentou um crescimento mais evidente nos seus valores. Resultados semelhantes foram observados por Barbosa *et al.* (2015) e Bertolete *et al.* (2018).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam que a texturização pode ser capaz de reduzir a força de usinagem. Quando isso ocorre, tem-se a possibilidade das texturas também influenciar na redução do desgaste da ferramenta. Da mesma forma, pode-se melhorar o acabamento da peça, devido a diminuição dos valores de rugosidade.

#### 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq (157547/2017-5; 800585/2016-0; 405707/2013-4) pelo fomento à pesquisa, à CAPES, à FAPESP (2013/26113-6) e ao LAPRAS – Laboratório de Processos Avançados e Sustentabilidade – pelo suporte ao trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 4288, 2008, “Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil-regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”.
- Barbosa, P.A.; Bertolete, M.; Samad, R.E.; Vieira Junior, N.D.; Machado, I. F.; Machado, A.R.; Vilar, R.M.C.S. and Rossi, W., 2015. “Investigation of Femtosecond Laser Texturing in Cemented Carbide Cutting Tools”. In *Proceedings of Lasers in Manufacturing Conference*. Munich, Germany.
- Bertolete, M.; Barbosa, P.A.; Machado, Á.R.; Samad, R.E.; Vieira Jr., N.D.; Vilar, R.; de Rossi, W., 2018. “Effects of texturing the rake surfaces of cemented tungsten carbide tools by ultrashort laser pulses in machining of martensitic stainless steel”. *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, v. 98, p. 2653-2664.
- Childs, T.; Katsuhiko, M.; Toshiyuki, O.; Yasuo, Y., 2000. *Metal Machining; theory and applications*. Arnold, London.
- Diniz, A.; Marcondes, F.; Coppini, N., 2000. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. Editora Artliber, São Paulo, 2ª Edição.
- Gachot, C.; Rosenkranz, A.; Hsu, S.M.; Costa, H.L., 2017. “A critical assessment of surface texturing for friction and wear improvement”. *Wear*, 372-373 p. 21–41.

- International Organization for Standardization. ISO 3685, 1993. Tool-life testing with single-point turning tools. 2<sup>nd</sup> ed.
- Kawasegi, N.; Sugimori, H.; Morimoto, H.; Morita, N.; Hori, I., 2009. "Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior". *Precision Engineering*, 33, p. 248-254.
- Machado, A.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; da Silva, M.B., 2015. *Teoria da usinagem dos materiais*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2<sup>a</sup> Edição.
- Samad, R.E.; Machado, L.M.; Vieira Junior, N.D.; de Rossi, W., 2012. Ultrashort laser pulses machining. In: *Laser Pulses – Theory, technology and applications*. Prof. Igor Peshko, editor, InTech, p.143-174.
- Shaw, M.C., 2005. *Metal cutting principles*. Oxford University Press, New York, 2<sup>nd</sup> Edition.
- Shum, P.W.; Zhou, Z.F.; Li, K.Y., 2013. Investigation of the tribological properties of the different textured DLC coatings under reciprocating lubricated conditions. *Tribology International*, vol. 65, p. 259-264.
- Trent, E.M. e Wright, P.K., 2000. *Metal cutting*. Butterworth-Heinemann, Boston, 4<sup>th</sup> Edition.
- Xie, J.; Luo, M.J.; Wu, K.K.; Yang, L.F. and Li, D.H., 2013, "Experimental study on cutting temperature and cutting force in dry turning of titanium alloy using a non-coated micro-grooved tool". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 73, p. 25-36.
- Wang, X.C.; Zheng, H.Y.; Chu, P.L.; Tan, J.L.; The, K.M.; Ang, B.C.Y.; Tay, G.H., 2010. "High Quality Femtosecond Laser Cutting of Alumina Substrates". *Optics and Laser in Engineering*, vol. 48, p. 657-663.
- Zhang, K., Deng, J., Xing, Y., Li, S. and Gao, H., 2015, "Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions". *Applied Surface Science*, vol. 326, p. 107-118.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

## Evaluation of Cemented Carbide Tool Texturized by Ultrashort Laser Pulses

**Gustavo Severino de Almeida<sup>1</sup>**

**Reginaldo Teixeira Coelho<sup>1</sup>**

**Marcelo Bertolete Carneiro<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 13566-590, São Carlos/SP  
gustavo.severino.almeida@usp.br; rtcoelho@sc.usp.br; bertolete@sc.usp.br

**Patrícia Alves Barbosa<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Federal University of Espírito Santo, Mechanical Engineering Department, 29075-910, Vitória/ES  
patricia.a.barbosa@ufes.br; marcelo.b.carneiro@ufes.br

**Wagner de Rossi<sup>3</sup>**

**Ricardo Elgul Samad<sup>3</sup>**

**Nilson Dias Vieira Júnior<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Nuclear and Energy Research Institute, Center for Laser and Applications, 05508-000, São Paulo/SP  
wderossi@ipen.br; resamad@ipen.br; nilsondv@ipen.br

**Álisson Rocha Machado<sup>4</sup>**

<sup>4</sup>Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Mechanical Engineering Graduate Program, 80215-901, Curitiba/PR  
alisson.rocha@pucpr.br

**Abstract.** The texturing obtained by ultrashort pulse lasers is capable to produce an ablation with minimal thermal damage, preserving the surrounding material's properties. Thus, it is possible to generate microtextures on the rake face of cutting tool to improve its performance. This paper aims to realize a comparison between two cemented carbide cutting tools, TPUN 160304, being one textured and another reference (non-textured), during austenitic stainless steel (V304UF) turning. The cutting parameters were kept constant. As comparison criteria, one measured the machining force, the flank wear of the tools and the arithmetic roughness along machining tests. The results point that the texturized tool presented a better overall behavior when compared to the reference tool.

**Keywords:** Ultrashort Laser pulses. Texturing. Cemented Carbide. Machining. Austenitic Stainless Steel.

## RESPONSIBILITY NOTICE

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