

## AVALIAÇÃO DE INSERTOS DE METAL DURO TEXTURIZADOS A LASER NO TORNEAMENTO DE AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO

### Tatiana Dias Santana

\*Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, 13566-590, São Carlos/SP  
tatianasantana@usp.br

### Wagner de Rossi

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Lasers e Aplicações, 05508-000, São Paulo/SP  
wderossi@ipen.br

### Marcelo Bertoletto Carneiro\*

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Mecânica, 29075-910, Vitória/ES  
marcelo.b.carneiro@ufes.br

**Resumo.** O correto entendimento dos aspectos que podem influenciar a usinagem dos materiais é fator crítico na busca de aumentar o rendimento do processo, melhorar a qualidade das peças fabricadas e reduzir os impactos ambientais. No processo de usinagem convencional, as condições de atrito na interface cavaco-ferramenta interferem nos esforços de corte, uma vez que estes dependem da resistência do material da peça, mas também das áreas formadas nas zonas de cisalhamento primária e secundária durante a formação do cavaco. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento do par ferramenta-peça, durante a operação de torneamento cilíndrico externo, na qual foi usado ferramentas de corte texturizadas com laser de femtossegundos (textura reta e zig-zag) e não-texturizada (referência). As peças de trabalho foram barras de aço inoxidável martensítico. A comparação entre as ferramentas foi realizada a partir da avaliação do desempenho da força de usinagem, potência de corte, desvios de forma (cilindricidade) e rugosidade ( $R_a$  e  $R_z$ ), para uma dada condição de corte fixa. Os resultados sugerem vantagem para a ferramenta com padrão de textura reta.

**Palavras chave:** Texturização. Laser de femtossegundos. Força de usinagem. Desvio geométrico. Rugosidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos que afetam a usinagem envolvem o conhecimento de questões que se relacionam com a física, química, comportamento mecânico dos materiais, aspectos tribológicos e de transferência de calor (Shaw, 2005). O uso de texturas em ferramentas de corte para a usinagem pode ser um meio eficiente para melhorar o par tribológico de formação e movimentação do cavaco sobre a ferramenta (Youqiang *et al.*, 2013), diminuindo os esforços de corte (Kawasegi *et al.*, 2009), reduzindo o consumo de energia, maximizando o ciclo de vida da ferramenta (Schultheiss *et al.* 2013). Buscar melhorias na produtividade dos processos de usinagem, bem como na qualidade das peças fabricadas são duas das principais metas associadas à fabricação e alto desempenho (Veldhuis *et al.*, 2009). Além disso, segundo Smith e Ball (2012) uma sociedade sustentável não pode ser alcançada sem avanços e tecnologias mais eficientes, sendo em partes, fornecidas através da fabricação.

Xie *et al.* (2013) texturizaram ferramentas de corte fazendo uso de um disco diamantado. Seus testes apontaram diminuição da temperatura de corte e da força de corte, devido ao a diminuição do atrito. Zhang *et al.* (2015) estudaram o comportamento das forças de corte, coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta, rugosidade da peça usinada e desgaste da ferramenta, no torneamento de aço temperado AISI 1045 usando ferramentas de metal duro texturizadas com laser de nanossegundos e revestidas com TiAlN. Comparando-as com ferramentas convencionais revestidas, descobriram que houve melhoria no desempenho para as texturizadas, especialmente, sob condição de uso com fluido de corte. Bertoletto *et al.* (2018) ao testarem diferentes padrões de texturas feitas com laser de femtossegundos em ferramentas de corte não revestidas, observaram considerável diminuição nas forças de usinagem e de atrito, além de melhorias no acabamento superficial da peça.

Youqiang *et al.* (2013) estudaram a influência da texturização com laser de nanossegundos sobre superfícies cerâmicas de  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiC}$  fazendo uso de ensaio tribológico com movimento alternativo bola contra disco em condição não lubrificada. Os resultados mostraram que superfícies texturizadas obtiveram menor coeficiente de atrito e desgaste em relação à superfície lisa. Os autores citam que os resultados tribológicos dependem da forma, dimensão e densidade das texturas sobre a superfície. Segu *et al.* (2013) promoveram texturas com laser de nanossegundos combinando círculos e elipses multi-escalas em pinos de aço AISI 52100 para executar ensaios tribológicos lubrificadas pino contra disco. Os autores

notaram menor coeficiente de atrito nas superfícies texturizadas devido a lubrificação hidrodinâmica, todavia isso depende da profundidade da textura e da velocidade de deslizamento. Shum *et al.* (2013) texturizaram aço-rápido M2 com laser de Nd:YAG, depois revestiram com DLC e executaram ensaio tribológico com movimento alternativo esfera (metal duro) contra plano (M2). Os resultados mostraram diminuição do coeficiente de atrito e da taxa de desgaste em relação a superfície revestida lisa, porém estes dependem da densidade de textura e da dimensão da mesma.

Sistemas de laser de pulsos com duração de femtossegundos ( $10^{-15}$  s) são capazes de produzir um feixe de luz com centenas de microjoules de energia, mas com intensidade de potência muito alta, devido a duração temporal do pulso ser muito curta, sendo o suficiente para promover a ablação (remoção) de qualquer material (Wang *et al.*, 2010; He *et al.*, 2015). Deste modo os átomos da região ablacionada podem ser ionizados e ejetados, ocorrendo a vaporização da matéria, sem que o excesso de energia seja transferido para as regiões vizinhas. Isso implica em mínima zona afetada pelo calor, presença de material fundido e ondas de choque, o que preserva as propriedades do material, além disso lasers de femtossegundos são capazes de fabricar estruturas em micro e nanoescala, o que favorece a texturização de superfícies (Gamaly *et al.*, 2002; Samad *et al.*, 2012).

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento do par ferramenta-peça, sendo que as ferramentas foram texturizadas com laser de femtossegundos em dois padrões, reto e zig-zag, alternativamente foi utilizada uma ferramenta não texturizada como referência. A avaliação ocorreu em torneamento cilíndrico externo de aço inoxidável martensítico com condições de corte fixa. Para tanto, a comparação do desempenho das ferramentas considerou: força de usinagem, potência de corte, desvio de forma (cilindricidade) e rugosidade (Ra e Rz).

## 2. METODOLOGIA

As ferramentas de corte foram texturizadas em uma estação de laser de femtossegundos de Ti:Safira, modelo 10k do fabricante Femtolasers. O sistema de laser gerou pulsos com duração temporal de 30 fs, comprimento de onda de 785 nm e taxa de repetição de 10 kHz. A energia utilizada foi de 4  $\mu$ J, com o feixe focado na superfície da peça por uma lente com distância focal de 20 mm.

A especificação da ferramenta de corte utilizada neste trabalho foi TPUN 160304, classe BA55 do fabricante Brassinter. De acordo com o fabricante, esta classe corresponde a ISO P25-P45, indicada também para operações que requeiram tenacidade na usinagem de aço inoxidável, fundido e forjado. O uso dessa ferramenta também se justifica por ser a única encontrada no mercado sem revestimento e capaz de usinar a peça de trabalho. Assim, os resultados foram influenciados apenas pela presença ou não da textura na interface cavaco-ferramenta.

Foram executados dois padrões de textura, reta e zig-zag. As dimensões de profundidade e largura das texturas foram avaliadas em um microscópio 3D óptico da marca Mahr, modelo CM Explorer, fazendo uso de lente de 50x.

As ferramentas foram montadas em um suporte CTGPL 2020 K16 da Sandvik, o que conferiu uma geometria de corte semi-ortogonal, com ângulos de posição ( $\chi_r$ ) de 91°, de saída ( $\gamma_o$ ) de 6°, de folga ( $\alpha_o$ ) de 11° e de inclinação ( $\lambda_s$ ) de 0°. Na Figura 1 é mostrado os esquemas das ferramentas e dos padrões de textura.

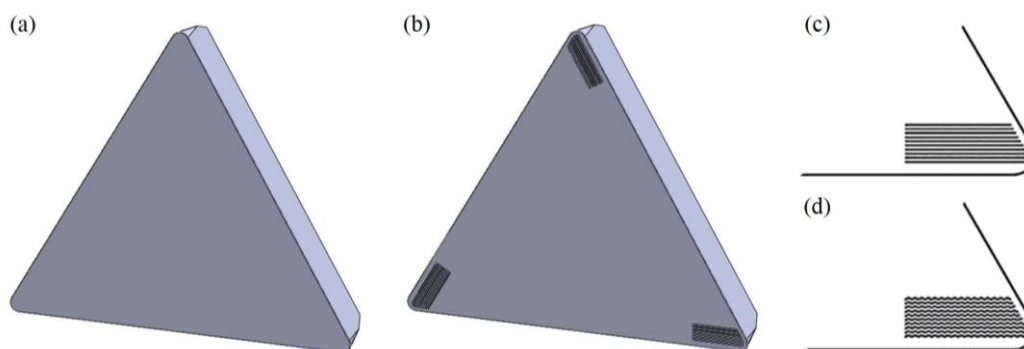


Figura 1. Representação esquemática dos padrões de ferramenta avaliados. (a) Referência; (b) Texturizada; (c) Reta; (d) Zig-zag

As peças de trabalho utilizadas foram três barras de aço inoxidável martensítico (VSM13) da Villares Metals S.A., com dureza média de 274 HV30, comprimento de 160 mm e diâmetro de 62 mm. Cada barra foi utilizada com uma ferramenta de corte específica.

Para a operação de torneamento usou-se um Torno CNC Centur 35D da marca Romi, ver Fig. 2 (a). Os parâmetros de corte foram mantidos fixos em: velocidade de corte ( $v_c$ ) em 100 m/min; avanço em 0,2 mm/rev e profundidade de corte em 2 mm. A usinagem foi executada a seco e o percurso de avanço ( $L_f$ ) foi de 20 mm.

A fixação das peças no torno foi feita com o uso de uma placa de castanhas pneumáticas, sendo que as peças permaneceram em balaço durante o corte, conforme mostrado na Fig. 2 (b). Dessa forma, foram feitos três experimentos

variando as ferramentas de corte (referência, textura reta e zig-zag), cada um foi repetido duas vezes, ou seja, foram feitos teste (T), réplica 1 (R1) e réplica (R2).

A Força de usinagem ( $F_u$ ) em Newton foi avaliada a partir do monitoramento das componentes ortogonais dos esforços de corte, conforme Eq. (1). Para tanto, utilizou-se um sistema dinamométrico composto de plataforma piezoelétrica modelo 9129, condicionador de sinal modelo 5080A e sistema de aquisição de dados modelo 5697A1, todos da marca Kistler, ver Fig. 2 (c). A taxa de aquisição foi de 1000 pontos/segundo. A Potência de corte ( $N_c$ ) em quilowatt foi estimada a partir da Força de corte ( $\vec{F}_c$ ), conforme Eq. (2). Como a geometria do corte foi ortogonal, compreende-se  $\vec{F}_c$  como sendo a componente  $\vec{F}_y$  adquirida pelo dinamômetro.

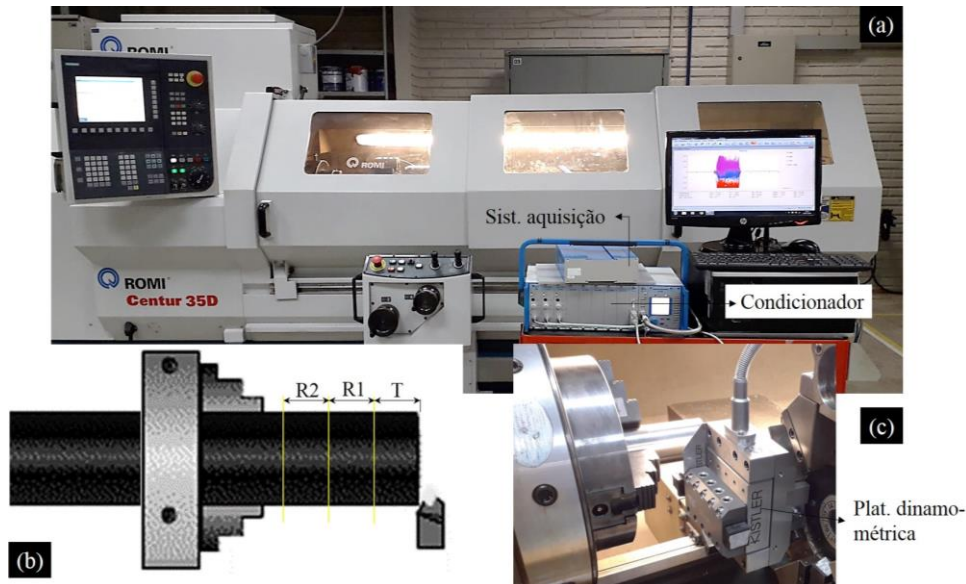


Figura 2. Experimento de usinagem. (a) Torno; (b) Representação esquemática da fixação da peça e da execução de cada experimento: Teste (T); réplica 1 (R1) e réplica (R2); (c) Sistema dinamométrico

$$\vec{F}_u = \vec{F}_x + \vec{F}_y + \vec{F}_z \quad (1)$$

$$N_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (2)$$

Para a avaliação do desvio de forma de cilíndricidade foram feitas medidas em 5 posições diferentes, espaçadas em 2 mm para cada região de experimentação (T, R1 e R2). O equipamento usado foi um medidor erros de formas circulares modelo MMQ 400-2 da marca Mahr, ver Fig. 3 (a). As medições foram feitas conforme norma ISO 1101:2017.

Para a caracterização da rugosidade foi utilizado um rugosímetro modelo PS 10 da marca Mahr, ver Fig. 3 (b). O cutoff escolhido para a avaliação foi de 0,8 mm, comprimento de avaliação de 4 mm, conforme norma ABNT NBR ISO 4288:2008. Os parâmetros  $R_a$  e  $R_z$  foram medidos 4 vezes, equidistantes em 90° para cada região de análise e para cada experimento.

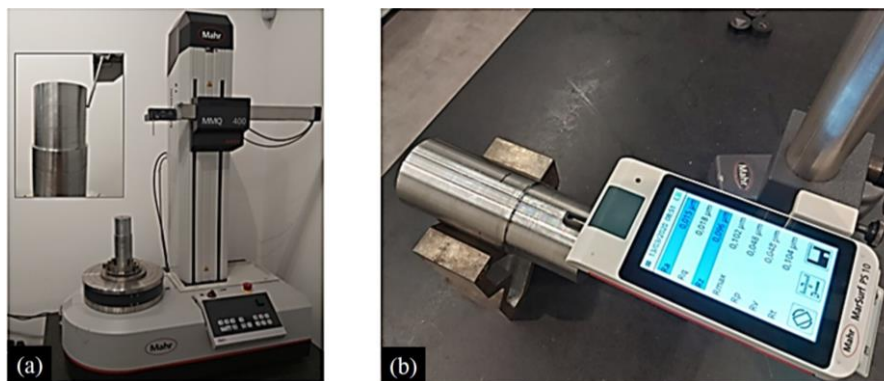


Figura 3. (a) Peça posicionada na máquina de medir formas; (b) Rugosímetro posicionado sobre a peça para a medição do acabamento

### 3. RESULTADOS

Na Figura 4 tem-se uma imagem feita pelo microscópio óptico de medição 3D para a avaliação dimensional dos padrões de textura.

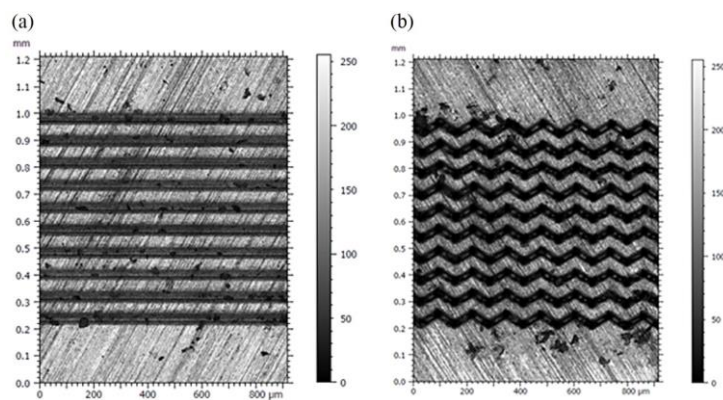


Figura 4. Caracterização por microscopia óptica 3D. (a) Textura reta; (b) Textura zig-zag

A aquisição dos pontos ocorreu em três posições distintas na área de avaliação (à esquerda, meio e à direita), o que totalizou mais de 90 pontos por ferramenta. Na Tabela 1 tem-se uma média da largura e profundidade das texturas.

Tabela 1. Caracterização dimensional das texturas

Padrões de textura	Largura [ $\mu\text{m}$ ]	Profundidade [ $\mu\text{m}$ ]
Reta	$28,43 \pm 4,17$	$8,58 \pm 3,71$
Zig-zag	$25,45 \pm 2,38$	$12,29 \pm 3,33$

A análise dos dados médios das ferramentas para cada padrão de textura mostra que a largura para a textura reta foi 11,7% (ou  $2,98 \mu\text{m}$ ) maior, essa diferença é pequena e está dentro do desvio-padrão dos dados, logo não é significativa. Embora, a profundidade para a textura zig-zag seja 43,2% (ou  $3,71 \mu\text{m}$ ) maior, os desvios se interceptam, não sendo estatisticamente significativa. Nota-se que os valores dos desvios-padrão são pequenos, o que está de acordo com a literatura (Gamaly *et al.*, 2002; Samad *et al.*, 2012), que destaca a capacidade do laser de femtossegundos produzir estruturas com grande precisão em escala micro e nanométrica.

Na Figura 5 tem-se o comportamento da  $F_u$  para as ferramentas avaliadas considerando valores médios e intervalo de confiança (IC) de 95%.

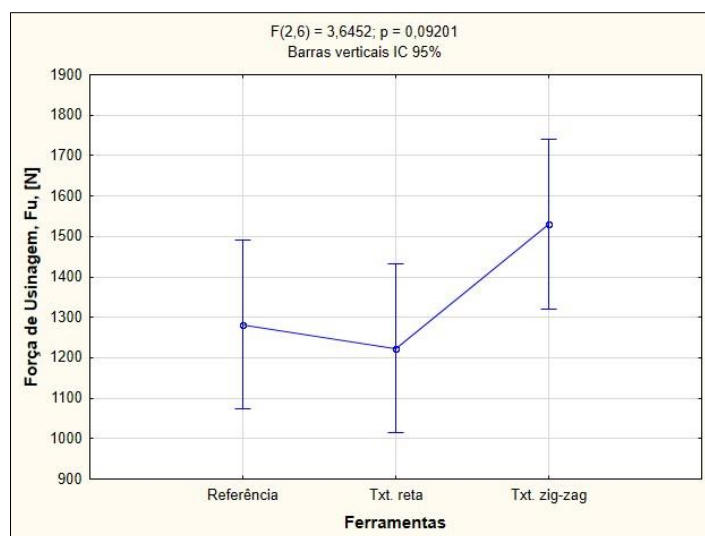


Figura 5. Figura 8. Comportamento das ferramentas testadas em relação à  $F_u$

A Ferramenta com textura reta proporcionou em média uma redução de  $F_u$  em relação à ferramenta de referência de 4,6%. Enquanto a Ferramenta com textura zig-zag, teve um aumento de 19,4% em relação à referência. Comparando as texturas reta e zig-zag, a primeira produziu  $F_u$  20% inferior à segunda. Todavia, ao realizar uma análise de variância (ANOVA) para um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, notou-se que não existe diferença estatística significativa entre as ferramentas para a variável em análise. Isso também se justifica pela quantidade de pontos observados,  $N = 3$  (testes, réplicas 1 e 2), e pela própria dispersão dos dados, fazendo com que os ICs sejam grandes. Ao avaliar os esforços de corte em separado, notou-se que a ferramenta com textura reta possibilitou diminuição dos esforços de corte nas três componentes ortogonais (força passiva, de avanço e de corte) em relação à ferramenta de referência, o que influenciou no resultado de menor valor médio de  $F_u$ . Enquanto que a ferramenta com textura zig-zag proporcionou maior força passiva, similar força avanço e força de corte ligeiramente menor, quando comparado com os valores de referência. A  $F_u$  foi maior para a ferramenta zig-zag, porque esta gerou maior desvio-padrão nos resultados de força, de modo que isto influenciou no cálculo da resultante feito a partir de todos os dados de força e não da média das componentes. A redução nas forças de corte a partir do uso de ferramentas texturizadas também foi observada por Deng et al. (2013). Em seu estudo, as forças de corte para a ferramenta texturizada foram reduzidas entre 22 e 13% em comparação com ferramenta convencional (sem textura). Seu estudo contemplou também o uso de ferramentas texturizadas e revestidas com  $WS_2$ , nas quais as forças de corte foram reduzidas entre 25 e 44% em comparação com a convencional.

Na Figura 6 é mostrado os valores estimados de  $N_c$  para as ferramentas avaliadas. Pela figura nota-se uma redução média na potência de corte estimada de 6,2%, quando se utiliza a ferramenta com textura reta em relação à ferramenta de referência. Para a ferramenta com textura zig-zag a redução foi de 1,7%.

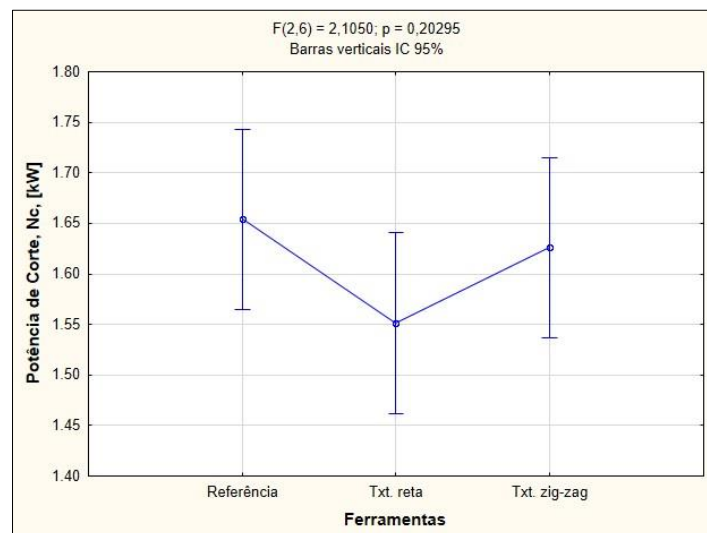


Figura 6. Comportamento das ferramentas testadas em relação à potência de corte

Apesar da diferença entre as ferramentas não ser estatisticamente significativa para  $\alpha = 5\%$ , devido à dispersão dos dados e ao número ainda pequeno de observações, pode-se especular que a ferramenta com textura reta pode impactar em alguns aspectos relacionados a sustentabilidade do processo de usinagem, tais como, redução do consumo de energia e aumento da vida da ferramenta, devido à redução da  $N_c$  e  $F_u$ , respectivamente. Para Goindi e Sarkar (2017), grande parte da energia e recursos naturais consumidos são devidos à atividade manufatureira. Para Schultheiss et al. (2013) a diminuição do consumo de energia durante as atividades de manufatura são características de um processo sustentável. Assim, pode-se questionar se uma redução de 6% de potência, devido a uma modificação na superfície da ferramenta, pode não ser economicamente significativo.

Na Figura 7 tem-se a avaliação do desvio de forma de cilindridade das peças, após a usinagem com as ferramentas de referência, textura reta e textura zig-zag. A avaliação da cilindridade pelo método ANOVA, mostrou que as ferramentas influenciaram significativamente nos resultados para um  $\alpha = 5\%$ , ou seja, o nível de significância calculado ( $p$ ) foi menor do que o estipulado como critério,  $p < \alpha$  ou  $0,012 < 0,05$ . Notou-se que a ferramenta com textura reta proporcionou uma redução no desvio de circularidade de 108,7% e a ferramenta com textura zig-zag 55,2% em relação à referência. Novamente, o resultado reforça aspectos sustentáveis, como menciona Hergab et al. (2018), ao processo de usinagem. A de melhora na qualidade geométrica da peça implica em menores custos de fabricação, possivelmente, menos operações de acabamento, menor quantidade de refugo, ou desperdício de matéria prima, consequentemente menor consumo de energia. Os desvios de cilindridade podem estar associados aos esforços de corte, uma vez que as componentes  $F_c$  e  $F_f$  apresentaram redução para ambas ferramentas texturizadas, todavia com maior intensidade para a ferramenta com textura reta.

Os resultados de rugosidade para o parâmetro Ra estão apresentados na Fig. 8. Pode-se notar que a ferramenta com textura zig-zag se diferencia das demais, justificando a diferença significativa entre as ferramentas. A textura zig-zag proporcionou valor médio 8,6% maior do que a ferramenta de referência, que pode ser consequência da maior  $F_u$ . Enquanto que a ferramenta com textura reta causou valor médio 3% inferior à referência.

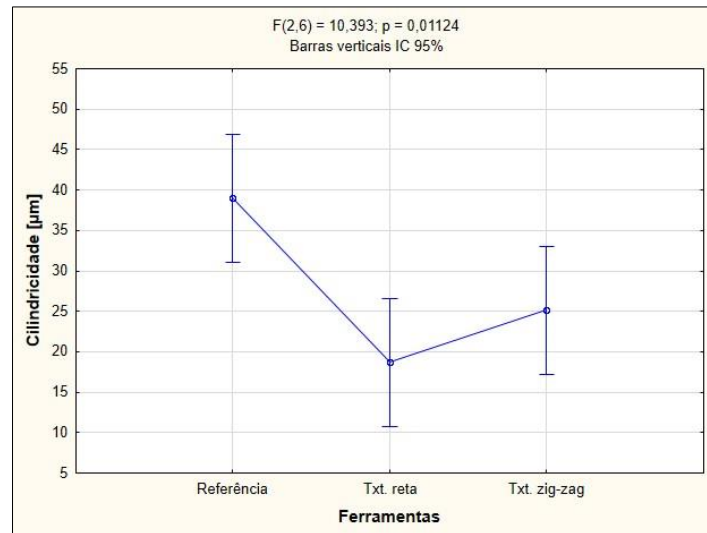


Figura 7. Resultado das medições de cilindridade das peças após usinagem

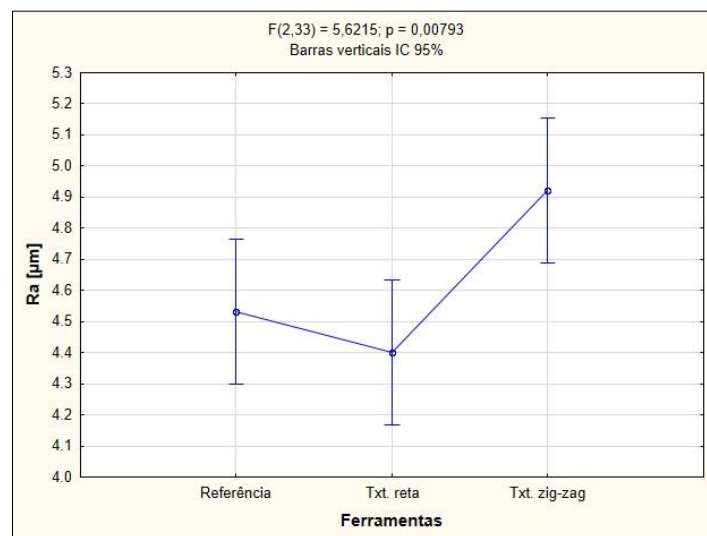


Figura 8. Avaliação do efeito das ferramentas sobre o parâmetro de rugosidade Ra

Na Fig. 9 tem-se o comportamento do parâmetro Rz, que mede o afastamento médio aritmético entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos dentro do comprimento de avaliação. Embora não exista diferença significativa entre as ferramentas sobre a variável de resposta, o valor médio de Rz para a ferramenta com textura reta foi 6,1% menor do que a de referência, enquanto que a ferramenta com textura zig-zag foi 0,6% maior do que a referência. Bertoletti *et al.* (2018) testaram ferramentas texturizadas e observaram redução na rugosidade superficial de 46% para Ra e de 28% para Rz, em comparação com a ferramenta de referência. A diferença entre os resultados está certamente relacionada às dimensões das texturas e às condições de corte utilizadas.

#### 4. CONCLUSÃO

Embora não tenha havido diferença significativa entre as ferramentas, exceto para o desvio geométrico de cilindridade e rugosidade Ra, os resultados mostraram que a ferramenta com textura reta proporcionou melhores valores médios, em relação às ferramentas de referência e com textura zig-zag, para as variáveis de resposta avaliadas: força de usinagem, potência de corte, cilindridade e rugosidade Ra e Rz.

Considerando que os sistemas de laser estão inclusos no processo de fabricação de ferramentas de corte, e que existe tecnologia que permite lasers de elevada densidade de potência, permitindo que a operação seja veloz, nota-se a viabilidade da texturização e que esta pode influenciar no desempenho das ferramentas de corte, com possibilidade de impactar em aspectos sustentáveis do processo.

Finalmente, os resultados de caracterização da textura confirmaram que o laser de femtossegundos é capaz de remover material com precisão e dispersão micrométrica, sendo uma tecnologia vantajosa em operações de microssinagem.

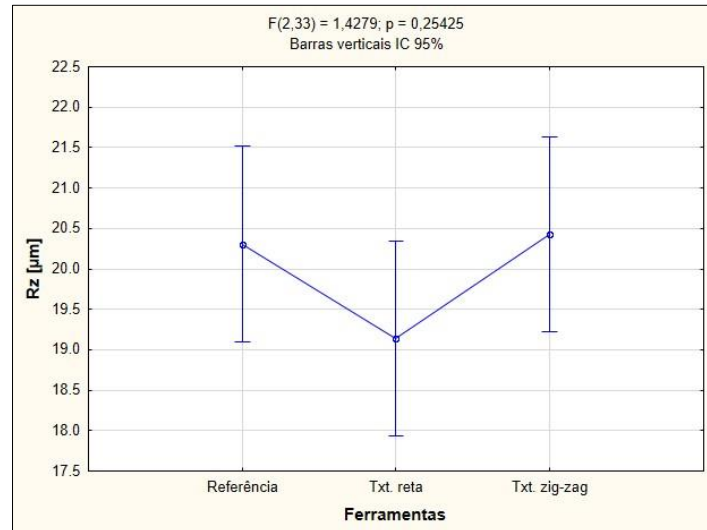


Figura 9. Avaliação do efeito das ferramentas sobre o parâmetro de rugosidade Rz

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (2013/26113-6), à FAPES (144/2020), ao CNPq e à CAPES pelo fomento à pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. ABNT NBR ISO 4288:2008 Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Regras e procedimentos para avaliação da rugosidade, 10 p.
- 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”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 98, p. 2653-2664.
- Deng, J., Lian, Y., Wu, Z. e Xing, Y., 2013. “Performance of femtosecond laser-textured cutting tools deposited with WS<sub>2</sub> solid lubricant coatings”. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 222, p. 135-143.
- Gamaly, E.G., Rode, A.V., Tikhonchuk, V.T. e Luther-Davies, B. “Ablation of solids by femtosecond lasers: ablation mechanism and ablation thresholds for metals and dielectrics”. *Physics of Plasmas*, Vol. 9, p. 949-957.
- Goindi, G.S. e Sarkar, P. 2017. Dry machining: A step towards sustainable machining – Challenges and future directions. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 165, p. 1557-1571.
- He, F., Ni, J., Zeng, B., Cheng, Y. e Sugioka, K., 2015. “15 - Spatiotemporal Manipulation of Ultrashort Pulses for Three-Dimensional (3-D) Laser Processing in Glass Materials”. In *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Laser Surface Engineering*, Woodhead Publishing, p. 383-404.
- Hegab, H.A., Darras, B. e Kishawy, H.A., 2018. “Towards sustainability assessment of machining processes”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 170, p. 694-703.
- International Organization for Standardization, 2011. “ISO 1101:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out”. 145 p.
- Kawasegi, N., Sugimori, H., Morimoto, H., Morita, N. e Hori, I., 2009. “Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior”. *Precision Engineering*, Vol. 33, p. 248-254.
- Samad, R.E.; Machado, L.M.; Vieira Jr., N.D.; de Rossi, W., 2012. “Ultrashort laser pulses machining”. In *Laser Pulses – Theory, technology and applications*. Prof. Igor Peshko, editor, IntechOpen, p.143-174.
- Schultheiss, F., Zhou, J., Gröntoft, E. e Ståhl, J.E.. 2013. “Sustainable Machining through Increasing the Cutting Tool Utilization”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 59, p. 298-307.
- Segu, D.Z., Choi, S.G., Choi, J. e Kim, S.S. “The effect of multi-scale laser textured surface on lubrication regime”. *Applied Surface Science*, Vol. 270, p. 58-63.
- Shaw M. C., 2005. *Metal cutting principles*. Oxford University Press, New York, 2<sup>nd</sup> Ed., 672 p.

- Shum, P.W., Zhou, Z.F. e Li, K.Y. “Investigation of the tribological properties of the different textured DLC coatings under reciprocating lubricated conditions”. *Tribology International*, Vol. 65, p. 259–264.
- Veldhuis, S.C., Dosbaeva, G.K. e Yamamoto, K., 2009. “Tribological Compatibility and Improvement of Machining Productivity and Surface Integrity”. *Tribology International*, Vol. 42, p. 1004–1010.
- Xie, J., Luo, M.J., Wu, K.K., Yang, L.F. e 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*, Vol. 73, p. 25-36.
- Youqiang, X., Jianxin, D., Xiuting, F. e Sheng, Y., 2013. “Effect of laser surface texturing on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/TiC ceramic sliding against steel under dry friction”. *Materials and Design*, Vol. 52, p. 234-245.
- Wang, X.C., Zheng, H.Y., Chu, P.L., Tan, J.L., Teh, K.M., Liu, T., Ang, B.C.Y. e 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. e 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 Inserts Textured by Laser in Martensitic Stainless Steel Turning

## Tatiana Dias Santana

\*São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, Department of Production Engineering, 13566-590, São Carlos/SP  
tatianasantana@usp.br

## Wagner de Rossi

Nuclear and Energy Research Institute, Center for Laser and Applications, 05508-000, São Paulo/SP  
wderossi@ipen.br

## Marcelo Bertolete Carneiro\*

Federal University of Espírito Santo, Department of Mechanical Engineering, 29075-910, Vitória/ES  
marcelo.b.carneiro@ufes.br

**Abstract.** *The right understanding of features that can influence the materials machining is a critical issue to increase the efficiency of process, improve the quality of parts and reduce environmental impacts. In the conventional machining process, the friction conditions at the chip-tool interface interfere with cutting forces, since they depend on workpiece material strength, in addition to the area of primary and secondary shear zones during chip formation. Thus, the aim of this work was to evaluate the behaviour of tool-workpiece pair, during cylindrical external turning operation, in which was used textured cutting tools by femtosecond laser (straight and zig-zag texture) and non-textured (reference). The workpieces were martensitic stainless steel bars. The comparison among cutting tools was carried out from the assessment of machining force performance, cutting power, form tolerance (cylindricity) and surface roughness (Ra and Rz), for such a constant cutting condition. The results suggest an advantage for the cutting tool with a straight texture pattern.*

**Keywords:** *Texturing, Femtosecond laser, Machining force, Geometric tolerancing, Surface roughness*

## RESPONSIBILITY NOTICE

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