

ESTUDO PRELIMINAR DA INFLUÊNCIA DA TEXTURIZAÇÃO POR LASER DE PULSOS ULTRACURTOS NA FORÇA DE USINAGEM

Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br^{1,2}

Marcelo Bertotele Carneiro, bertotele@hotmail.com²

Ricardo Elgul Samad, resamad@ipen.br²

Nilson Dias Vieira Júnior, nilsondv@ipen.br²

Izabel Fernanda Machado, machadoi@usp.br³

Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br⁴

Rui Vilar, rui.vilar@ist.utl.pt⁵

Wagner de Rossi, wderossi@ipen.br²

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

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Centro de Lasers e Aplicações, Av. Lineu Prestes, 2242, 05508-000 – São Paulo/SP

³Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – Laboratório de Fenômenos de Superfície, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900 – São Paulo/SP

⁴Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Campus Santa Mônica, 38408-902 – Uberlândia/MG

⁵Instituto Técnico Superior – Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 – Lisboa/Portugal

Resumo: A texturização por laser de pulsos ultracurtos é uma proposta de tecnologia avançada de fabricação que pode contribuir para o desenvolvimento de ferramentas de corte com desempenho melhorado. Este tipo de radiação é capaz de produzir uma ablação muito mais precisa do que os lasers convencionais, pois a deposição de energia ocorre em tempos extremamente curtos, possibilitando a retirada de material antes que haja transferência de calor para a rede. Isto elimina qualquer zona afetada pelo calor, minimizando tensões residuais, que poderiam fragilizar a ferramenta, como pode ocorrer com lasers de pulsos longos. Nesse sentido, objetiva-se investigar preliminarmente o efeito da texturização por laser de femtossegundos sobre a superfície de saída de insertos de metal duro, sem revestimento, na resposta da força de usinagem. Para tanto, foram monitoradas as componentes da força de usinagem em ensaios de torneamento semi-ortogonal em aço inoxidável austenítico V304UF, mantendo as condições de corte constantes. Foram utilizadas arestas de corte com superfícies de saída sem textura (referência) e com dois tipos diferentes de microtexturas (tipo A e tipo B), dispostas paralelamente a aresta principal de corte. Os resultados mostraram uma redução média de 15% na força de usinagem para a textura tipo B, em relação à de referência; a textura tipo A produziu forças de usinagem superiores em relação à de referência (em média 11%); aderência e alteração da forma do cavaco, de longo para curto, também foram observadas.

Palavras-chave: texturização, laser de femtossegundos, ferramentas de metal duro, força de usinagem, usinagem de aço inoxidável austenítico

1. INTRODUÇÃO

Considerando o mercado mundial de ferramentas de corte, que movimentava bilhões de dólares anualmente, e a evolução exponencial da indústria metal-mecânica nas últimas décadas, observa-se que a produtividade tornou-se um fator determinante para a competitividade no âmbito global, fazendo com que as linhas de produção do setor ferramenteiro tenham que conviver com a necessidade periódica de inovar tecnologicamente para satisfazer a demanda do mercado (Trent e Wright, 2000; Dedalus Consulting, 2011; Suarez, 2012). Portanto, pesquisas com o intuito de aperfeiçoar o projeto de ferramentas de corte agregam valor e/ou reduzem custos.

A texturização a laser em ferramentas de corte, tem se mostrado relevante como técnica para melhorar a aderência dos revestimentos ao substrato (Neves, Diniz e Lima, 2006; Viana, 2009; Arroyo, Diniz e Lima, 2010; Neves, Diniz e Lima, 2013). Outra importante função da texturização, que está sendo investigada atualmente, relaciona a alteração na topografia da superfície de saída da ferramenta com desempenho tribológico na interface cavaco-ferramenta. Esta técnica mostra-se promissora para a diminuição do atrito por alterar a área de contato cavaco-ferramenta ou melhorar a lubrificação do sistema atuando como reservatório de fluidos de corte ou lubrificantes sólidos, e consequentemente aumentando a vida da ferramenta (Kawasegi et al., 2009; Obikawa et al., 2011; Suarez, 2012; Da Silva et al., 2013; Sugihara e Enomoto, 2013; Ze et al., 2012; Youqiang et al., 2013).

Na última década lasers de pulsos ultracurtos (com duração inferior a 10^{-12} s) têm despertado grande interesse, apresentando-se como uma nova possibilidade para a microusinagem (Samad et al., 2012). Muitos estudos têm

demonstrado várias vantagens dos lasers de femtossegundos (10^{-15} s) sobre os de pulsos mais longos, incluindo a preservação das propriedades da vizinhança do material atacado; limiar de ablação preciso; alta repetibilidade; eficiência, e controle altamente preciso da geometria de ablação. Adicionalmente, pulsos ultracurtos promovem uma ablação não seletiva permitindo a usinagem de todos os tipos de material com o mesmo laser (Liang et al., 2003; Samad et al., 2012).

Nesse contexto, a texturização por laser de pulsos ultracurtos, é uma proposta de tecnologia avançada de fabricação que pode contribuir para o desenvolvimento de ferramentas de corte com desempenho melhorado. Este tipo de radiação é capaz de produzir um corte muito mais preciso do que lasers convencionais, pois a deposição de energia ocorre em tempos extremamente curtos, possibilitando a retirada de material antes que haja transferência de calor para a rede. Isto elimina qualquer zona afetada pelo calor (ZAC), minimizando as tensões residuais, que poderiam fragilizar a ferramenta de corte, como ocorre quando se utiliza lasers de pulsos longos (Machado et al., 2007; Wang et al., 2010; Samad et al., 2012).

Baseado nisso, objetiva-se investigar de maneira preliminar o efeito da texturização por laser de femtossegundos sobre a superfície de saída de insertos de metal duro, sem revestimento, na resposta da força de usinagem. Tendo em vista, que um projeto maior nesta linha de pesquisa vem sendo desenvolvido no IPEN em parceria com o LEPU/UFU, UFES, LFS/EPUSP e IST/UTL, e novos resultados de análises adicionais deverão complementar as observações obtidas neste trabalho.

2. METODOLOGIA

Testes de torneamento semi-ortogonal foram executados a seco em um torno convencional S-30 da Romi/BRA, com 8 cv de potência e rotação máxima de 1800 rpm. A peça de trabalho utilizada consistiu de uma barra cilíndrica de aço inoxidável austenítico V304UF (Villares Metals/BRA) com diâmetro de 70 mm e 500 mm de comprimento. As condições de corte foram mantidas constantes em $v_c = 156$ m/min; $f = 0,205$ mm/volta; $ap = 2$ mm e $L_f = 10$ mm.

As variáveis de entrada consistiram na variação da superfície de saída de insertos triangulares de metal duro, sem revestimento, BA55 da Brassinter/BRA, TPUN 16 03 04, montados em um porta-ferramenta CTGPR 2525 M16 da Sandvik/BRA, o qual conferiu uma geometria de corte com ângulo de inclinação (λ_s) de 0° , ângulo de saída positivo (γ_0) de 6° e ângulo de posição (χ_r) de 91° . Foram executados dois testes para cada condição de superfície de saída da ferramenta: superfície de referência (superfície de saída sem textura) e dois tipos diferentes de microtexturas (textura tipo A e textura tipo B).

A texturização sobre a superfície de saída (A_f) das ferramentas foi executada por pulsos de $15 \mu\text{J}$ e 30 fs, com comprimento de onda centrado em 820 nm e taxa de repetição e 4 kHz, gerados por um laser de Ti:Safira, modelo Femtopower Compact Pro HR/HP da empresa Femtolasers/AUT. O feixe do laser foi focalizado sobre a superfície da ferramenta através de uma lente de comprimento focal de 38 mm. A Figura (1) ilustra o sistema do laser e a bancada de experimentação.

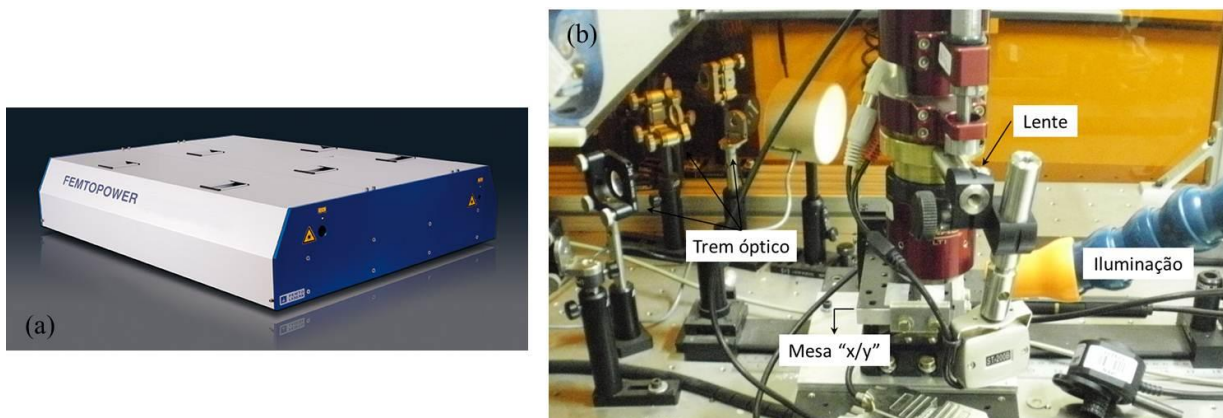


Figura 1. Aparato. (a) Sistema do laser; (b) Bancada de experimentação.

Canais paralelos e dispostos a $100 \mu\text{m}$ da aresta de corte (S) foram ablacionados com uma velocidade de avanço do feixe de 3 mm/min, abrangendo uma área de $2,5 \text{ mm}^2$, que correspondeu a 2,5 mm na direção da largura de corte e 1,0 mm na espessura de corte. A textura tipo A foi produzida em um único passe de laser, com distância entre canais de $60 \mu\text{m}$; na textura tipo B utilizou-se três passes de laser e distância entre canais de $90 \mu\text{m}$. A caracterização das texturas foi feita por microscopia eletrônica de varredura (TM3000, Hitachi/JAP), equipado com EDS (Quantax 70 Bruker/ALE) e por interferometria (ZeGage, Zygo/EUA).

As variáveis de saída compreenderam às componentes ortogonais da força de usinagem (F_c = Força de corte; F_f = Força de avanço e F_p = Força passiva) que foram monitoradas durante os ensaios de torneamento com o auxílio de um dinamômetro piezoelétrico modelo 9265B/9441B, condicionador de sinais 5070A 11100 e um software analisador

de sinais DynoWare 2825A1-2, ambos da Kistler/CHE, como esquematizado na Fig. (2). Após a usinagem, os cavacos foram coletados e analisados.

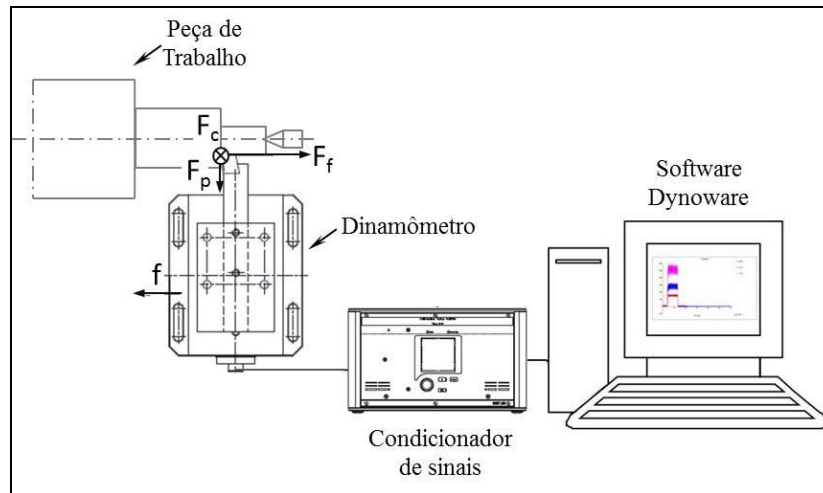


Figura 2. Montagem esquemática do sistema de aquisição de força (Adaptado de Kistler, 2009).

3. RESULTADOS

A Figura (3) mostra imagens em MEV dos dois tipos de texturas produzidas nas ferramentas de corte. Em (a) tem-se o inserto texturizado com um único passe do feixe de laser e distância entre canais de 60 μm (textura tipo A); em (b) tem-se uma ferramenta de corte, na qual a textura sobre a superfície de saída foi executada em três passes com distância entre canais de 90 μm (textura tipo B).

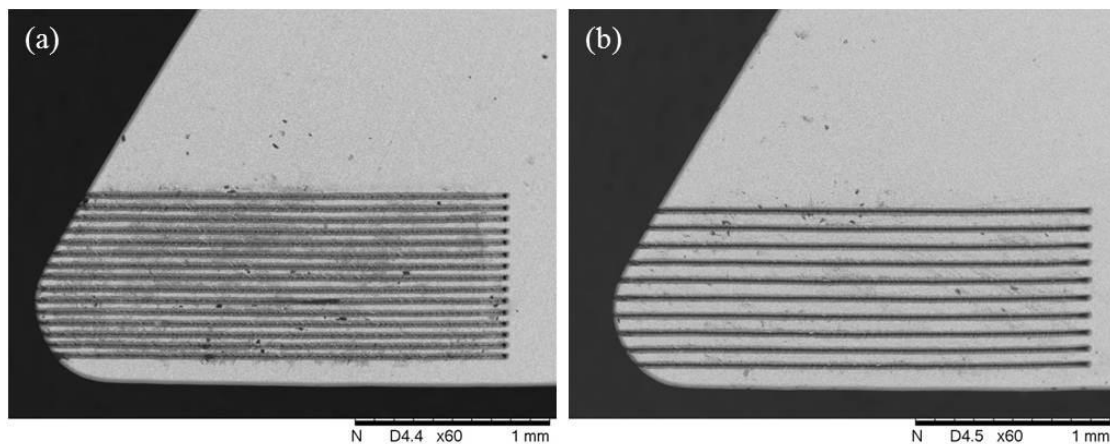


Figura 3. Micrografia da superfície de saída dos insertos texturizados. (a) Inseto com textura tipo A – Passe único e distância entre canais de 60 μm ; (b) Inseto com textura tipo B – Três passes e distância entre canais de 90 μm .

A Figura (4) apresenta a caracterização representativa, por interferometria, da seção transversal dos canais das superfícies texturizadas, evidenciando as dimensões da largura (dX) e profundidade (dZ). Pela Figura (4) observa-se que um único passe do feixe de laser com 15 μJ , largura temporal de 30 fs e a 3 mm/min produziu canais com largura e profundidade de aproximadamente 34 μm e 44 μm , respectivamente, enquanto que no de três passes estes foram maiores, com dimensões médias de 44 μm e 73 μm . Em ambos os casos verificou-se a forma do canal em “V”.

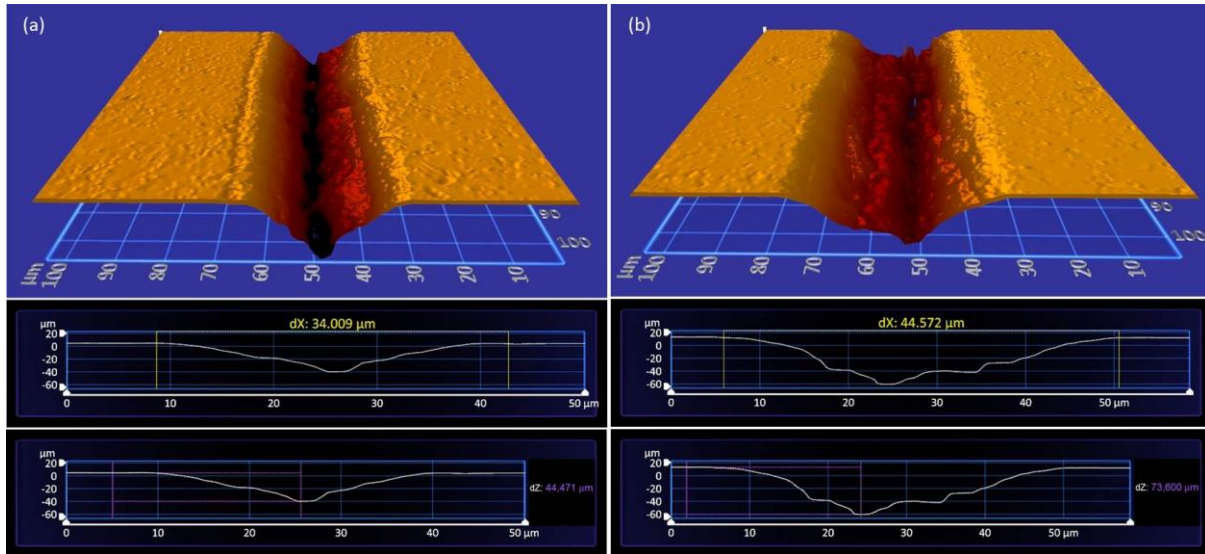


Figura 4. Interferometria da seção transversal do canal dos dois tipos de textura (área de análise 100 x 100 μm).
(a) textura tipo A – Passe único; (b) textura tipo B – Três passes.

Os resultados médios das componentes da força de usinagem são apresentados na Tab. (1).

Tabela 1. Resultados médios das componentes da força de usinagem para os diferentes tipos de texturas.

Textura	Fp [N]	Ff [N]	Fc [N]
Sem (referência)	360,40 \pm 46,82	702,8 \pm 54,24	941,92 \pm 38,74
tipo A	312,07 \pm 26,98	802,53 \pm 39,91	1061,69 \pm 30,50
tipo B	261,68 \pm 45,84	381,36 \pm 51,01	931,64 \pm 52,05

Os resultados da Tab. (1) mostraram uma redução mais pronunciada na força de avanço, em média de 45,75%, para o tipo de textura B em comparação com a condição de referência.

Na sequência, a Fig. (5) apresenta os resultados da força de usinagem, que é a resultante de suas componentes ortogonais. Por ela pode-se observar que houve uma redução de aproximadamente 15% para a textura B e um aumento de 11% para a A em relação à referência.

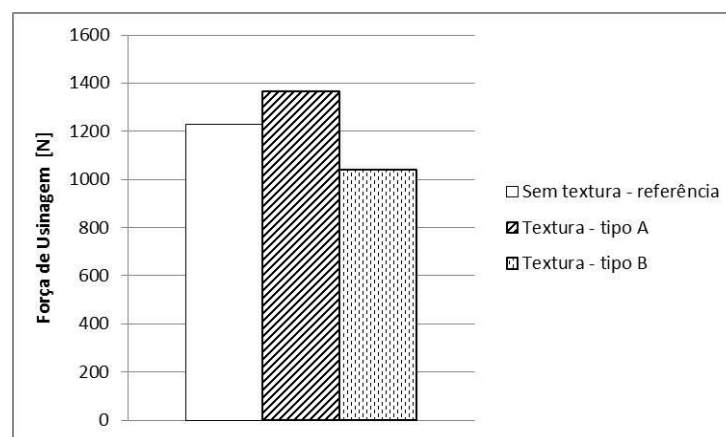


Figura 5. Força de usinagem. Condição de corte: $v_c = 156,14$ m/min; $f = 0,205$ mm/volta; $a_p = 2$ mm.

Os resultados apresentados acima, mostraram concordância com os de Kawasegi et al. (2009) que observaram uma redução mais efetiva nas componentes de Ff e Fp do que na Fc em ferramentas com textura nanométrica, torneando uma liga de alumínio em condições de acabamento ($v_c = 600$ m/min; $f = 0,1$ mm/volta e $a_p = 0,2$ mm). Também concordam com os resultados de Xie et al. (2013) que encontraram grande redução na força de usinagem no torneamento de desbaste ($v_c = 39$ m/min; $f = 0,3$ mm/volta e $a_p = 1$ mm) de uma liga de titânio com ferramenta de metal duro microtexturizada.

Os resultados de força podem ser interpretados relacionando-os com as condições de interface cavaco-ferramenta. Na Figura (6) observou-se condição de aderência mais escorregamento sobre a superfície de saída da ferramenta sem textura (referência).

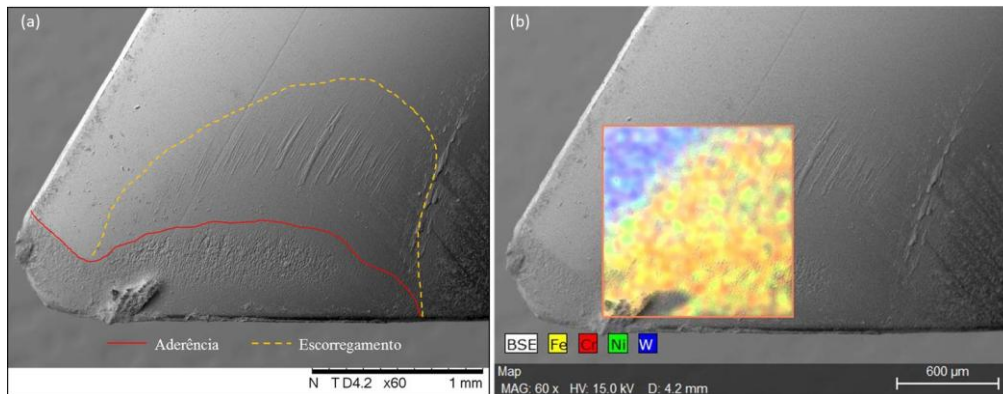


Figura (6). Superfície de saída da ferramenta sem textura. (a) Condição de interface cavaco-ferramenta; (b) EDS evidenciando adesão do aço inoxidável.

Como Trent e Wright (2000) citam, em usinagem as condições de aderência são consideradas inevitáveis, devido às altas tensões de compressão e taxas de deformação, que provocam altas temperaturas e o íntimo contato entre o cavaco e ferramenta, possibilitando, então, o estabelecimento de ligações atômicas entre as partes. Da mesma forma, o escorregamento acontece por um fenômeno conhecido por *stick-slip*, em que há o início de aderência e em seguida escorregamento, como sugerem as marcas de aderência e deslocamento da Fig. (6).

A mesma aderência pode ser vista na Fig. (7), que mostra as superfícies de saída das ferramentas texturizadas após a usinagem.

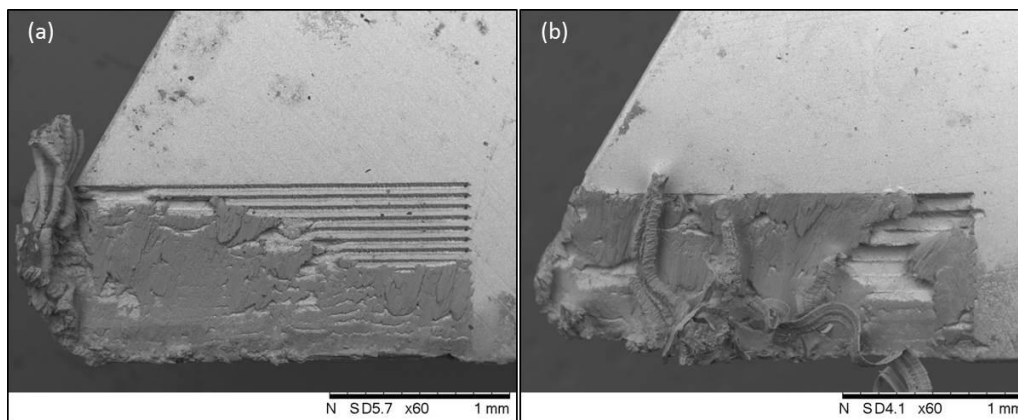


Figura 7. Superfície de saída das ferramentas texturas. (a) Textura A; (b) Textura B.

Pela Figura (7) observa-se uma maior quantidade de material aderido para as ferramentas texturizadas em relação à sem textura. E dentre estas, a ferramenta com textura tipo B foi a que apresentou uma maior quantidade de material aderido, sugerindo que a textura mais profunda ancorou mais material da peça. Sendo assim, a partir dos resultados de força observou-se uma redução na força de usinagem, atribuída, principalmente, à componente de avanço. Todavia, se sabe que a força de usinagem depende de dois fatores importantes: (i) dimensões das zonas de cisalhamento primário e secundário; (ii) resistência do material nessas zonas de cisalhamento (Machado et al., 2011). Então, pelo primeiro critério, a Fig. (7) sugere áreas de contato cavaco-ferramenta maiores para a textura tipo B, o que implicaria em aumento da força de usinagem. Desta forma, a explicação para a redução da força de usinagem da ferramenta com maior textura recai no segundo fator, ou seja, a maior textura promoveu maior ancoramento de material, o que sugere uma alteração na espessura da zona de fluxo, que precisa ser mais bem investigada, promovendo uma menor restrição à movimentação do cavaco, pela redução da resistência ao cisalhamento do material nesta região.

Além dos resultados de força, também foi observado mudança na forma do cavaco de helicoidal tipo arruela longo, produzido com a ferramenta sem textura, para arco solto com as ferramentas texturizadas, como mostra a Fig. (8). Essa alteração pode ser devido à fratura das texturas durante a usinagem formando uma espécie de anteparo que curva mais o cavaco, funcionando, portanto, como quebra-cavaco. Não se pode afirmar, entretanto, se este comportamento irá se manter com o maior desgaste da ferramenta.



Figura 8. Formas do cavaco. (a) Helicoidal tipo arruela longo (ferramenta sem textura); (b) Arco solto (ferramenta com textura tipo A); Arco solto (ferramenta com textura tipo B).

A fratura das texturas pode ter sido causada por uma espécie de trinca bastante profunda que surgiu no fundo de cada canal durante a ablação, como pode ser visto na Fig. (9). Este resultado precisa ser melhor estudado, mas uma possível explicação pode estar associada à reflexões rasantes nas superfícies internas do corte, ou ainda, por um efeito mecânico de microexplosões de cada pulso do laser.

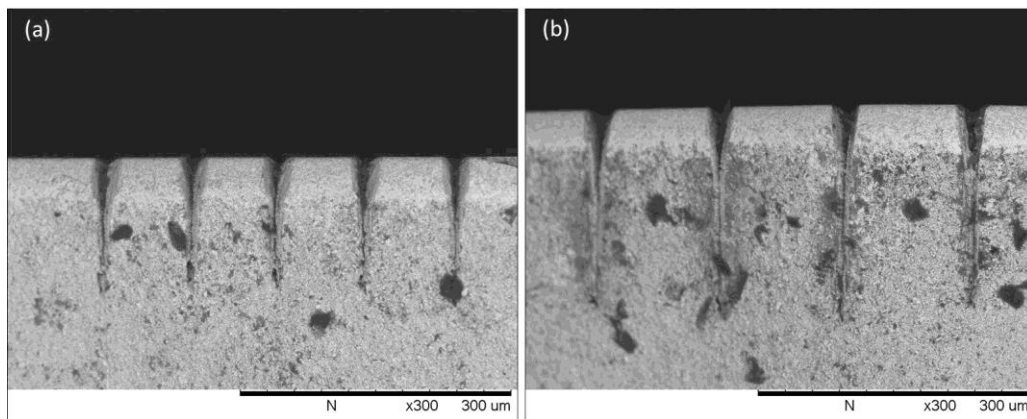


Figura 9. Trincas. (a) Ferramenta com textura tipo A; (b) Ferramenta com textura tipo B.

4. CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que a texturização da superfície de saída da ferramenta de corte, tem potencial para a redução da força de usinagem, a partir, principalmente, da diminuição da força de avanço, devido ao maior ancoramento de material e possível alteração da espessura da zona de fluxo, resultando em menor restrição ao movimento do cavaco, associado à menor resistência ao cisalhamento na zona de fluxo. Todavia, os parâmetros do laser de femtossegundos precisam ser mais bem ajustados para a eliminação das trincas, e conseqüentemente, seus efeitos de fratura da textura e mudança de forma do cavaco, fazendo com que a técnica se aproxime do seu objeto, que são danos precisos e sem ZAC.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo fomento a pesquisa processos 150490/2014-3 e 405707/2013-4. E a Villares Metals pelo fornecimento do material da peça de trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Arroyo, J.M., Diniz, A.E. and Lima, M.S.F., 2010, "Wear performance of laser precoating treated cemented carbide milling tools", *Wear*, Vol. 268, pp. 1329-1336.
- Da Silva, W.M, Suarez, M.P., Machado, A.R. and Costa, H.L., 2013, "Effect of laser surface modification on the micro-abrasive wear resistance of coated cemented carbide tools", *Wear*, Vol. 302, pp. 1230-1240. DOI: 10.1016/j.wear.2013.01.035
- Dedalus Consulting, 2011, "Cutting Tools: World Markets, End-Users & Competitors: 2010-2015 Analysis & Forecast", 500p.

- Kawasegi, N., Sugimori, H., Morimoto, H., Morita, N. and Hori, I., 2009, "Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior", *Precision Engineering*, Vol. 33, pp. 248-254.
- Liang, W.L., Ngoi, B.K.A., Lim, L.E.N., Venkatakrishnan, K. and Hee, C.W., 2003, "Micromachining of circular ring microstructure by femtosecond laser pulses", *Optics & Laser Technology*, Vol. 35, pp. 285-290.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., e da Silva, M.B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 371 p.
- Machado, L.M., Samad, R.E., Freitas, A.Z., Júnior, N.D.V., Berretta, J.R. and Rossi, W., 2007, "Corte de Metais por Ablação com Pulsos Laser Ultracurtos", In: 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Estância de São Pedro, São Paulo.
- Neves, D., Diniz, A.E. and Lima, M.S.F., 2006, "Efficiency of the laser texturing on the adhesion of the coated twist drills", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.179, pp. 139-145.
- Neves, D., Diniz, A.E. and Lima, M.S.F., 2013, "Microstructural analyses and wear behavior of the cemented carbide tools after laser surface treatment and PVD coating", *Applied Surface Science*, Vol.282, pp. 680-688.
- Obikawa, T., Kamio, A., Takaoka, H. and Osada, A., 2011, "Micro-texture at the Coated Tool Face for High Performance Cutting", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, pp. 966-972.
- Samad, R.E., Machado, L.M., Junior, N.D.V. and Rossi, W., 2012, "Ultrashort Laser Pulses Machining. Laser Pulses – Theory", *Technology, and Applications, InTech.*, pp. 143-174.
- Suarez, M.P., 2012, "Influência da Texturização a Laser em Ferramentas de Metal Duro Revestidas na Usinagem do Aço ABNT 1050", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Sugihara, T. and Enomoto, T., 2013, "Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces", *Precision Engineering*, Vol. 37, pp. 888-896.
- Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000, "Metal Cutting", Ed. Butterworth-Heinemann, London, United Kingdom, 446p.
- Viana, R., 2009, "Estudo da Caracterização de Ferramentas de Corte Texturizadas a Laser e Revestidas Utilizadas no Fresamento Frontal de Ferro Fundido Vermicular", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- 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*, Vol. 73, pp. 25-36.
- Youqiang, X., Jianxin, D., Xiuting, F. and Sheng, Y., 2013, "Effect of laser surface texturing on Si₃N₄/TiC ceramic sliding against steel under dry condition", *Materials and Design*, Vol. 52, pp. 234-245.
- Wang, X.C., Zheng, H.Y., Chu, P.L., Tan, J.L., The, K.M., Ang, B.C.Y. and Tay, G.H., 2010, "High Quality Femtosecond Laser Cutting of Alumina Substrates", *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 48, pp. 657-663.
- Ze, W., Jianxin, D., Hui, Z., Yunsong, L. and Jun, Z., 2012, "Tribological behavior of textured cemented carbide filled with solid lubricants in dry sliding with titanium alloys", *Wear*, Vol. 292-293, pp. 135-143.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

INFLUENCE OF ULTRASHORT PULSES LASER TEXTURING ON THE MACHINING FORCE – PRELIMINARY STUDY

Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br^{1,2}

Marcelo Bertolete Carneiro, bertolete@hotmail.com²

Ricardo Elgul Samad, resamad@ipen.br²

Nilson Dias Vieira Júnior, nilsondv@ipen.br²

Izabel Fernanda Machado, machadoi@usp.br³

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br⁴

Rui Vilar, rui.vilar@ist.utl.pt⁵

Wagner de Rossi, wderossi@ipen.br²

¹Federal University of Espírito Santo, Zip Code 29075-910, Vitória, Brazil

²Nuclear and Energy Research Institute, Center for Laser and Applications, Zip Code 05508-000, São Paulo, Brazil

³Engineering School of the University of São Paulo, Department of Mechatronics Engineering and Mechanical System, Laboratory of Surface Phenomena, Zip Code 05508-900, São Paulo, Brazil

⁴Federal University of Uberlândia, Machining Research and Teaching Laboratory, Zip Code 38408-902, Uberlândia, Brazil

⁵Instituto Técnico Superior, Technical University of Lisbon, Zip Code 1049-001, Lisboa, Portugal

Abstract. *Texturing by ultrashort lasers is a proposal to advanced manufacturing technique which can contribute to development of cutting tools with improved performance. This kind of radiation is able to produce more accurate ablation because of the very high peak power intensity in short time, resulting in an ablation of material free of heat effects, i.e., absence of heat affected zone. Thus, the ablation is generated without residual stress. These residual stresses, that could weaken the cutting tool, are common when using other kinds of laser sources. In this sense, the aim of the present study is to investigate the effect of the texture produced by femtosecond laser on rake face of uncoated cemented carbide tools in the machining force preliminary results. The machining force components were monitored during semi-orthogonal turning of V304UF austenitic stainless steel. The cutting conditions were kept constant. Non-textured (reference), and two different types of microtextures (A and B) on the inserts were used. The microtextures were disposal parallel to main cutting edge. The results showed a reduction in the machining force when using the inserts with texture type B of about 15% compared to the reference tools; an increase of 11% in the machining force with texture type A inserts; adherence; and change of chip form from long to short were also noted.*

Keywords: *texturing, femtosecond laser, cemented carbide tools, machining force, machining of austenitic stainless steel*

RESPONSIBILITY NOTICE

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