

EFEITO DA TEXTURIZAÇÃO POR LASER DE PULSOS ULTRACURTOS NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO DE FERRAMENTAS DE CORTE CERÂMICAS

Caique Rigotti Melo, caiquerigotti@hotmail.com¹
Marcelo Bertolete Carneiro, bertolete@sc.usp.br²
Ricardo Elgul Samad, resamad@ipen.br³
Nilson Dias Vieira Júnior, nilsondv@ipen.br³
Wagner de Rossi, wderossi@ipen.br³
Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br^{1,3}

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

²Escola 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

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

Resumo: Sabendo-se que compósitos cerâmicos sob condições de deslizamento seco apresentam sérios problemas relacionados ao atrito e desgaste, a aplicação do laser de pulsos ultracurtos na modificação da topografia da superfície de saída tem se mostrado promissora na alteração das condições tribológicas da interface cavaco-ferramenta afetando o mecanismo de formação do cavaco e, conseqüentemente, a melhoria do desempenho da ferramenta durante a usinagem. Nesse sentido, o presente trabalho visou investigar o efeito da texturização por laser de femtossegundos (10^{-15} s) no compartimento tribológico de ferramentas de corte cerâmicas. Para tanto foram realizados ensaios de microdesgaste abrasivo para avaliar a resistência ao desgaste das superfícies de saída ($A\gamma$) de insertos cerâmicos à base de alumina (Al_2O_3). Os parâmetros do ensaio tribológico foram mantidos constantes variando-se apenas o tratamento de $A\gamma$ das amostras ensaiadas, uma referência sem textura e outras duas com dois padrões de textura na forma de microsulcos paralelos com variação no espaçamento entre os canais (passo). Os resultados mostraram que superfície de referência apresentou maior resistência ao desgaste, e que quanto maior o espaçamento entre os microsulcos melhor a resistência ao desgaste para as ferramentas cerâmicas texturizadas nas condições de ensaio investigadas.

Palavras-chave: texturização, laser de pulsos ultracurtos, ferramentas de corte cerâmicas, microabrasão, resistência ao desgaste abrasivo.

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas cerâmicas à base de alumina são caracterizadas por possuírem alta resistência ao desgaste, elevada dureza, capacidade de suportar temperaturas elevadas, baixa condutividade térmica e inércia química, têm se mostrado como um grupo competitivo na usinagem de materiais endurecidos, superligas, e materiais ferrosos (Kumar; Durai; Sornakumar, 2003; Jianxin et al., 2006; Machado et al., 2015). No entanto, compósitos cerâmicos sob condições de deslizamento seco, como é o caso da interface cavaco-ferramenta, apresentam sérios problemas relacionados ao atrito e desgaste (Jianxin et al., 2006; Youqiang et al., 2013).

Estudos tem mostrado que a texturização da superfície de saída de ferramentas de corte por lasers de pulsos ultracurtos (com duração entre 10^{-13} a 10^{-15} s) é promissora por promover uma modificação da topografia através de uma ablação não seletiva, controlada e sem efeitos térmicos (Liang et al., 2003; Samad et al., 2012), permitindo a redução do atrito durante a usinagem por alterar a área de contato cavaco-ferramenta devido à mudanças no sistema tribológico (Kawasegi et al., 2009; Suarez, 2012; Da Silva et al., 2013), abrindo novas perspectivas para pesquisas relacionadas com o aperfeiçoamento do projeto de ferramentas de corte cerâmicas.

O estudo da interface cavaco-ferramenta é um campo ainda não muito explorado devido à dificuldade de acesso experimental, mas que é de fundamental interesse para se compreender os efeitos tribológicos envolvidos no processo de usinagem.

Nesse contexto, tem-se observado que os ensaios tribológico em superfícies texturizadas de ferramentas de metal duro tem seguido a mesma tendência dos ensaios de usinagem, ratificando o conceito de que a texturização influencia no comportamento tribológico da superfície, diminuindo o atrito e aumentando a resistência ao desgaste (Segu et al., 2013; Esteves, 2015; Esteves et al. 2015; Esteves et al. 2015; Barbosa et al., 2015). Eles também dão uma indicação dos mecanismos de desgaste envolvido, mostrando assim, que a etapa de avaliação tribológica proposta para ferramentas cerâmicas é de suma importância para melhor compreensão dos fenômenos envolvidos e interpretação dos resultados de usinagem.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho consiste na investigação do efeito da texturização por laser de femtossegundos (10^{-15} s) sobre a superfície de saída ($A\gamma$) de ferramentas de corte à base de alumina através da avaliação da resistência ao desgaste abrasivo.

2. METODOLOGIA

O desempenho tribológico foi avaliado através de ensaios de microabrasão com esfera fixa, em inserts comerciais quadrados de cerâmica branca ($Al_2O_3-ZrO_2$), SNGN 120708, classe CC620 da Sandvik. Uma ferramenta foi utilizada como referência, cuja superfície de saída foi mantida sem textura. E, dois padrões de textura, na forma de microsulcos paralelos com variação no espaçamento entre os canais (passo) foram produzidos em outros dois inserts em um sistema de laser CPA Ti:Safira (Femtopwer Compact Pro CE-Phase HP/HR da Femtolasers), utilizando uma energia de $40 \mu J$, largura temporal de 30 fs, comprimento de onda centrado em 775 nm, taxa de repetição controlada de 4 kHz e velocidade de varredura do feixe de 5 mm/min. A Figura 1 mostra de forma esquemática a distribuição das texturas sobre a superfície de saída das ferramentas destacando-se a geometria do canal na forma de V, onde dx corresponde a largura e dz a profundidade; e o espaçamento entre os microsulcos é representada pela cota dy.

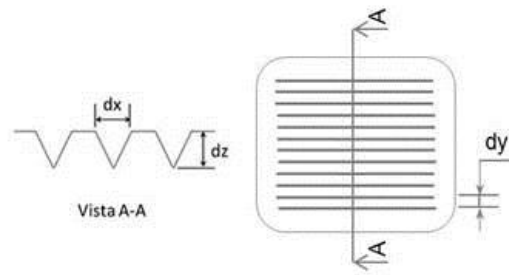


Figura 1. Configuração esquemática do padrão da microtextura sobre a superfície de saída da ferramenta cerâmica.

A Figura 2 mostra as micrografias das ferramentas investigadas, caracterizadas em microscópio óptico e a Tab. 1 apresenta as características dimensionais dos microsulcos obtidas por interferometria (ZeGage/Zygo).

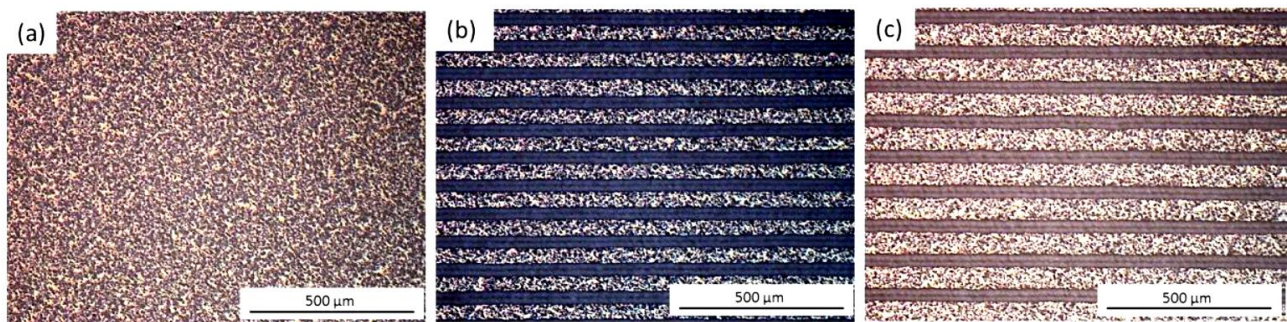


Figura 2. Imagens de MO das superfícies de saída dos inserts de alumina. (a) Referência (sem textura); (b) Padrão de Textura 1 com espaçamento médio entre os traços (passo) de $83 \mu m$; e (c) Padrão de Textura 2 com passo médio de $103 \mu m$.

Tabela 1. Características dimensionais das microtexturas investigadas.

	Largura (dx) [μm]	Profundidade (dz) [μm]	Passo (dy) [μm]
Referência (sem textura)	-	-	-
Textura 1	33	25	83
Textura 2	33	25	103

Os ensaios de desgaste microabrasivo na configuração esfera fixa foram executados em um microabrasômetro TE 66 da Plint. Para tanto foi utilizada uma esfera de aço inoxidável martensítico 440C com diâmetro de 25,4 mm como contra-corpo, com sentido de rotação perpendicular aos microssulcos. O abrasivo adicionado na região de contato entre a esfera e a superfície de saída da ferramenta cerâmica foi o carboneto de silício (SiC). As condições dos ensaios foram mantidas constantes como apresentado na Tab. 2.

Tabela 2. Condições de ensaio de microabrasão.

Força Normal (Carga)	1,25 N
Velocidade de Rotação do contra-corpo	80 rpm
Distância Deslizada	305 m
Concentração da Lama abrasiva (SiC-H ₂ O)	0,0653 g/cm ³
Taxa de Gotejamento	25 ~ 30 gotas/min

A resistência ao desgaste microabrasivo das superfícies (K^{-1}) foi calculada segundo a lei de desgaste de Archard (Rutherford; Hutchings, 1996; Yahya; Todd, 2012), conforme a Eq. (1).

$$K^{-1} = \frac{SN}{(\pi b^4/6R)} \quad (1)$$

onde b é o diâmetro da cratera de desgaste, que foi medido através de microscopia óptica, e R é o raio da esfera (contra-corpo), S é a distância deslizada e N é a carga normal aplicada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta micrografias das calotas típicas de desgaste geradas pelo ensaio de microabrasão, podendo ser observado que as texturas ainda estão presentes após a realização dos testes. Também pode ser observado a condição de perpendicularismo entre o eixo de rotação do contra-corpo e os microssulcos das amostras texturizadas ensaiadas, quesito considerado fundamental para a realização do ensaio nas amostras texturizadas.

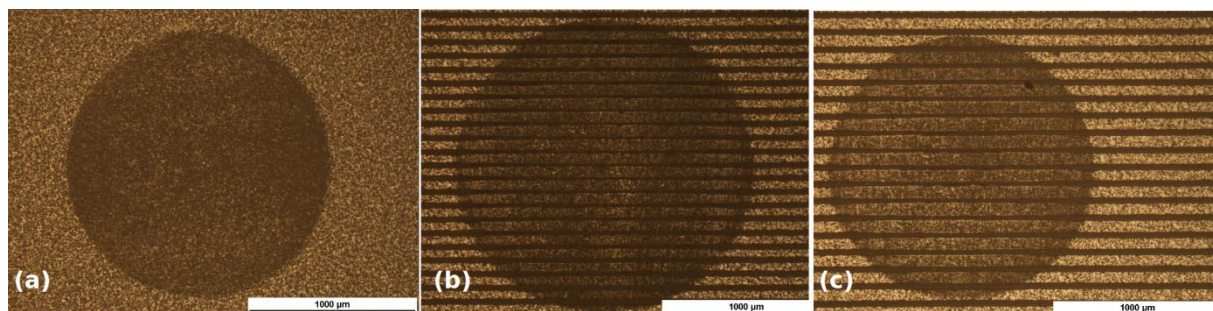


Figura 3. Micrografias ópticas das crateras de desgaste. (a) Referência (sem textura), (b) Textura 1 (passo de 83 μm) e (c) Textura 2 (passo de 103 μm).

A partir dos valores dos diâmetros das crateras de desgaste, foi possível estimar os valores de resistência ao desgaste microabrasivo (K^{-1}) para cada uma das superfícies investigadas. A Tab. 3 mostra os resultados obtidos.

Tabela 3. Resistência ao desgaste microabrasivo (K^{-1}) médio para cada tipo de superfície ensaiada.

	$K^{-1}_{\text{médio}} (10^{-12} \text{N/m}^2)$	Desvio Padrão
Referência (sem Textura)	1,60	±0,17
Textura 1 (passo de 83 μm)	0,93	±0,13
Textura 2 (passo de 103 μm)	1,35	±0,11

Os resultados da Tab. 3 foram plotados em um gráfico (Fig. 4) para melhor visualização e comparação entre os valores médios e os desvios padrão da resistência ao desgaste microabrasivo das superfícies de saída das ferramentas avaliadas.

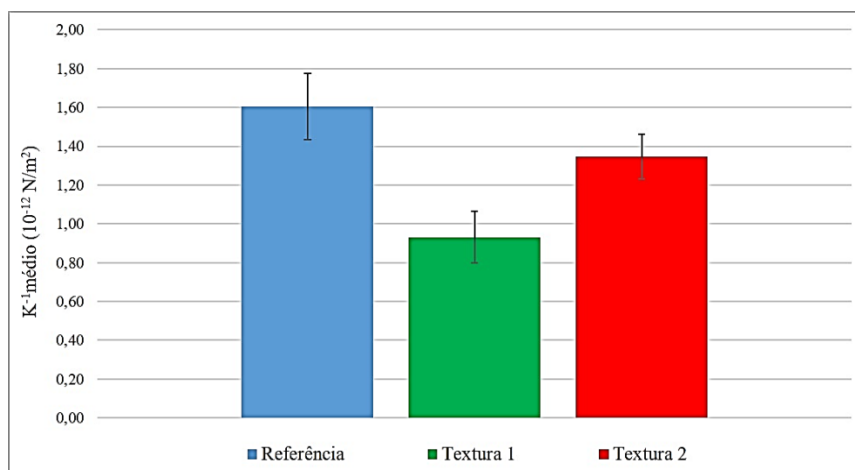


Figura 4. Resistência ao desgaste microabrasivo (K⁻¹) médio das superfícies de saída dos inserts cerâmicos investigados.

A partir dos resultados da Fig. 4 pôde-se observar que a superfície de saída da ferramenta de corte cerâmica de referência (sem textura) foi a que apresentou maior resistência ao desgaste microabrasivo, avaliado pelo diâmetro da calota de desgaste, cerca de 16% maior do que o inserto com a Textura 2, com passo entre os microssulcos de 103 μm ; e 45% melhor do que a ferramenta com o padrão de Textura 1 (passo de 83 μm).

Por outro lado, quando comparando apenas as amostras texturizadas, a de maior passo (103 μm , Textura 2) mostrou melhor desempenho tribológico frente a Textura 1, com passo de (83 μm), apresentando uma resistência ao desgaste 31% maior. Uma vez que o mecanismo de desgaste pode estar associado a microfatura, a maior distância entre os microssulcos no padrão de textura mostra-se positivo na melhoria da resistência ao desgaste em inserts cerâmicos.

Tendo em vista que, a texturização pode provocar uma fragilização na superfície e que segundo Hutchings (1995) quanto menor a área de contato entre o corpo e o contra-corpo, menor o atrito, o que acarretaria em uma redução do desgaste, poderia haver, portanto, um padrão otimizado de microssulcos que possa contribuir para melhoria da resistência ao desgaste, e conseqüentemente, melhorar o desempenho tribológico das ferramentas de corte cerâmicas a base de alumina (Al_2O_3).

Vale enfatizar que existem outras maneiras de avaliar a resistência ao desgaste de uma superfície. O presente trabalho se baseou na lei de desgaste de Archard (Rutherford; Hutchings, 1996; Yahya; Todd, 2012), considerando apenas o diâmetro da calota de desgaste. Todavia, essa análise não considerou o volume de material removido, cuja análise poderia revelar diferentes resultados, uma vez que a calota poderia apresentar um maior desgaste no sentido radial do que em sua profundidade e/ou vice-versa. Para isso seria necessário o uso de técnicas e instrumentação capazes de medir o volume de material removido da cratera de desgaste, como a perfilometria 3D. Resultados mais precisos obtidos através do uso da perfilometria 3D, foram reportados por Esteves (2015), quando se compararam as duas técnicas de investigação (diâmetro da calota de desgaste e volume de material removido) em ferramentas de metal duro.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a superfície de saída do inserto cerâmico não texturizado apresentou a melhor resistência ao desgaste abrasivo. Desempenho 16% melhor quando comparada com a ferramenta com padrão de Textura 2 (passo de 103 μm) e 42% melhor quando comparada com o padrão de Textura 1 (passo de 83 μm).

Em relação aos diferentes padrões de textura investigados, a ferramenta com Textura 2 apresentou desempenho 31% superior ao do inserto com Textura 1.

Uma vez que o mecanismo de desgaste pode estar associado a microfatura, maior distância entre os microssulcos no padrão de textura mostra-se fator positivo na melhoria da resistência ao desgaste em inserts cerâmicos.

5. AGRADECIMENTOS

Ao fomento à pesquisa através dos processos CNPQ (405707/2013-4, 150490/2014-3 e 150188/2015-3); FAPESP (2013/26113-6); PIIC/PIBIC/FAPES – UFES 2016-2017. E apoio do TRICORRMAT (DEM/UFES).

6. REFERÊNCIAS

Barbosa, P.A.; Bertolete, M.; Samad, R.E.; Júnior, N.D.V.; Machado, I.F.; Machado, Á.R.; Vilar, R.; de Rossi, W., 2015. "Investigation of Femtosecond Laser Texturing in Cemented Carbide Cutting Tools". In *Proceedings of the Laser in Manufacturing Conference – LiM2015*. Munich, Germany.

- Da Silva, W.M.; Suarez, M.P.; Machado, A.R.; Costa, H.L., 2013. "Effect of laser surface modification on the micro-abrasive wear resistance of coated cemented carbide tools". *Wear*, Vol.302, p. 1230-1240.
- Esteves, P.J., *Efeito da Texturização por Laser de Pulsos Ultracurtos na Resistência ao Desgaste Microabrasivo de Ferramentas de Corte de Metal duro*, 2015, 38 f. Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória ES.
- Esteves, P.J.; Barbosa, P.A.; Carneiro, M.B.; Vilar, R.; Samad, R.E.; Júnior, N.D.V.; Rossi, W., 2015. "Resistência ao Desgaste Micro-Abrasivo em Ferramentas de Metal Duro Texturizadas por Laser de Femtossegundos", In *XXII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – CREEM 2015*, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.
- Esteves, P.J.; Bozzi, A.C.; Scandian, C.; Samad, R.E.; Júnior, N.D.V.; Rossi, W.; Vilar, R.; Carneiro, M.B.; Barbosa, P.A., 2015, "Femtosecond Laser Texturing Effect on Abrasive Wear of Cemented Carbide Tools, In *23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering – COBEM2015*, 2015, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gee, M.G., Gant, A., Hutchings, I.M., Bethke, R., Schiffman, K., Van Acker, K., Poulat, S., Gachonf, Y., Von Stebut, J., 2003. "Progress Towards Standardisation Of Ball Cratering". *Wear*, Vol. 255, p. 1-13.
- Hutchings, I.M., 1995. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Arnold, London, 2nd edition.
- Jianxin, D.; Tongkun, C.; Xuefeng, Y.; Jianhua, L., 2006. "Self-lubrication of sintered ceramic tools with CaF₂ additions in dry cutting". *International Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol.46, p. 957-963.
- 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*, Vol. 33, p. 248-254.
- Kumar, A.S.; Durai, A.R.; Sornakumar, T., 2003. "Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools". *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol.21, p. 109-117.
- Liang, W.L.; Ngoi, B.K.A.; Lim, L.E.N.; Venkatakrishnan, K.; Hee, C.W., 2003. "Micromachining of circular ring microstructure by femtosecond laser pulses". *Optics & Laser Technology*, Vol. 35, p. 285 -290.
- Machado, A.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; da Silva, M.B., 2015. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. Edgard Blücher, São Paulo, 3rd edição, 371 p.
- Rutherford, K.L.; Hutchings, I.M., 1996. "A micro-abrasive wear test, with particular application to coated systems". *Surface and Coatings Technology*, Vol. 79, p. 231-239.
- Samad, R.E.; Machado, L.M.; Junior, N.D.V.; de Rossi, W., 2012. "Ultrashort laser pulses machining". In *Laser Pulses – Theory, technology and applications*. Prof. Igor Peshko, editor, InTech, p.143-174.
- Segu, D.Z.; Choi, S.G.; Choi, J-h; Kim, S.S., 2013. "The effect of multi-scale laser texturing surface on lubrication regime". *Applied Surface Science*, Vol. 270, p. 58-63.
- Suarez, M. P., *Influência da texturização a laser em ferramentas de metal duro revestidas na usinagem do aço ABNT 1050*, 2012, 168 f., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG.
- Yahya, N.A.; Todd, R.I., 2012. "Influence of C doping on the fracture mode and abrasive wear of Al₂O₃". *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 32, p. 4003-4007.
- Youqiang, X.; Jianxin, D.; Xiuting, F.; Sheng, Y., 2013. "Effect of laser surface texturing on Si₃N₄/TiC ceramic sliding against steel under dry friction". *Materials and Design*, Vol. 52, p. 234-245.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ULTRASHORT LASER PULSES EFFECT ON ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF CERAMIC CUTTING TOOLS

Caique Rigotti Melo, caiquerigotti_@hotmail.com¹
Marcelo Bertolete Carneiro, bertolete@sc.usp.br²
Ricardo Elgul Samad, resamad@ipen.br³
Nilson Dias Vieira Júnior, nilsondv@ipen.br³
Wagner de Rossi, wderossi@ipen.br³
Patrícia Alves Barbosa, patricia.a.barbosa@ufes.br^{1,3}

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

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

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

Abstract. Ceramic composites under dry sliding conditions present serious problems related to friction and wear. In the sense, the rake face topography modification by ultrashort laser pulses has shown promising in the tribological condition changes of the chip-tool interface affecting the chip formation mechanism and, consequently, the cutting tool performance improvement during the machining. Thereby, this present work aimed to investigate the tribological behavior of ceramic cutting tools textured by femtosecond laser pulses (10^{-15} s). For that matter, micro-abrasive wear tests were performed to evaluate the wear resistance at the rake face ($A\gamma$) of alumina (Al_2O_3) based ceramic inserts. The tribological test parameters were kept constant. Non-textured cutting tool (reference) and two textured ones with different microtexture patterns on rake face were evaluated. The results showed that the non-textured reference surface presented the higher wear resistance, and the higher was the distance between the grooves of microtexture pattern, the higher was the wear resistance at rake face textured of ceramic tools on the conditions investigated.

Keywords: texturing, ultrashort laser pulses, ceramic cutting tool, micro-abrasion wear, abrasive wear resistance.

RESPONSIBILITY NOTICE

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