

AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA DE CORTE CERÂMICA TEXTURIZADA À LASER: PROPOSTA DE TRABALHO

Eduardo Sigler Junior, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, eduardo.sigler@ufes.br
Wagner de Rossi, Centro de Laser e Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Tatiana Dias Santana, Mahr do Brasil e Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Patrícia Alves Barbosa, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo
Marcelo Bertoletto Carneiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo Ferramentas cerâmicas com elevada dureza a quente, inércia química, e tenacidade promovida por adições de partículas (TiC e TiN), reforço com fibra (SiCw) e transformação de fase (ZrO₂ estabilizada), são utilizadas na usinagem de ferros fundidos, aços liga e aços endurecidos. Técnicas de texturização vem sendo empregadas em insertos de usinagem para diminuir as forças de usinagem; atrito; melhorar a rugosidade na peça; aumentar a vida útil da ferramenta. Assim, o objetivo desta proposta de trabalho é avaliar o desempenho de ferramentas de corte cerâmica a base de óxido alumínio texturizadas por laser de pulsos ultracurtos, no torneamento de ferro fundido cinzento e aço inoxidável martensítico. Além de estudar o comportamento tribológico desse material cerâmico em ensaios de microabrasão. Nos testes de usinagem serão monitorados esforços e temperatura de corte; avaliados os parâmetros de rugosidade (Ra e Rz); e circularidade e cilindridade das peças. Como resultado espera-se compreender o comportamento da textura em ferramentas cerâmicas na usinagem de materiais que geram cavacos curtos e longos; e evidenciar o efeito da texturização na força e temperatura de usinagem; no acabamento da superfície e nos desvios geométricos da peça; além da resistência ao desgaste microabrasivo da ferramenta.

Palavras-chave: ferramenta de corte cerâmica, texturização, torneamento e microabrasão.

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de corte de material cerâmico são utilizadas em operações de usinagem, para o corte de ferros fundidos ligas de aço e aços endurecidos com altas velocidades de corte (Komanduri; Samanta, 1989). As cerâmicas avançadas estruturais são compostas de elementos metálicos e não-metálicos, com ligações químicas podendo ser iônica, covalente ou uma combinação delas. Estas ligações formam uma estrutura policristalina em escala atômica, que determinam as propriedades intrínsecas do material (Otitoju *et al.*, 2020). Por isso, os cerâmicos, de maneira geral, possuem elevado ponto de fusão, são refratários, possuem elevada dureza e resistência ao desgaste, boa inércia química, todavia são frágeis. Graças as propriedades químicas e físicas, insertos cerâmicos se tornam uma excelente opção para fabricação de ferramentas de corte, com a vantagem de possibilitar altas taxas de remoção de material da peça e diminuição de custos com fluido de corte, possibilidade de eliminação de operações subsequentes de acabamento e aumento de produtividade (Jianxin *et al.*, 2006; Kumar; Durai; Sornakumar, 2006; Kumar; Patel, 2019).

As ferramentas de corte de material cerâmico podem ser divididas em dois grandes grupos: cerâmicas a base de alumina (Al₂O₃) e cerâmicas a base de nitreto de silício (Si₃N₄) (Trent; Wright, 2000; Machado *et al.*, 2015). A cerâmica branca é feita a partir de alumina e normalmente adiciona-se zircônia estabilizada (ZrO₂), para aumentar a tenacidade por meio de um mecanismo de transformação de fase, na qual a zircônia metaestável tetragonal sob ação de um campo de tensão, se transforma em monocíclica estável, com grande mudança de volume, gerando assim tensões compressivas, que dificultam a propagação da trinca (Komanduri; Samanta, 1989; Boniecki *et al.*, 2017).

Um dos problemas enfrentados na usinagem de materiais endurecidos é o desgaste da ferramenta, diminuindo a produtividade. Dessa forma, justifica-se a tentativa de desenvolver técnicas que possibilitem aumentar a vida das ferramentas de usinagem (Sugihara; Enomoto, 2009). Liang *et al.* (2003) citam que a texturização na superfície de saída de ferramentas de usinagem, em uma escala nanométrica ou micrométrica, é uma alternativa efetiva para aumentar o desempenho das ferramentas. Segundo os autores, a texturização pode reduzir as forças de usinagem, atrito e consequentemente o desgaste da ferramenta. Gachot *et al.* (2017) mencionam que uma das técnicas para promover a texturização por remoção de material é com aplicação de laser. Os lasers de pulsos ultracurtos, caracterizam-se por gerarem pulsos de elevada intensidade potência (10¹² a 10¹⁴ W/cm²), porém com breve duração de picossegundos (10⁻¹² s) a femtossegundos (10⁻¹⁵ s). Como consequência estes pulsos são mais curtos do que o período de vibração térmica da rede cristalina, o que permite minimizar ou eliminar a zona afetada pelo calor (ZAC), a transferência de calor para o volume do material, bem como, danos microestruturais ou trincas de origem térmica no volume do material (Wang *et al.*, 2010; Samad *et al.*, 2012).

Assim, o objetivo desta proposta é avaliar o desempenho de ferramentas de corte de cerâmica a base de óxido alumínio texturizadas por laser de pulsos ultracurtos, no torneamento de ferro fundido cinzento (cavaco curto) e aço inoxidável martensítico (cavaco longo). Além de estudar o comportamento tribológico do mesmo material cerâmico em ensaio de microabrasão esfera contra plano.

2. METODOLOGIA

Ferramentas de cerâmica branca, classe KA30 (Kyocera) com geometria SNGN 120708, terão suas superfícies de saída texturizadas por um laser de pulsos ultracurtos de Ti:Safira, modelo 10K (Femtolasers). A condição de ablação será mantida constante em $7 \mu\text{J}$ de energia por pulso, 30 fs de duração dos pulsos, frequência dos pulsos de 10 kHz e velocidade de deslocamento do feixe de laser em 5 mm/s. As texturas serão realizadas paralelas a aresta principal de corte, conforme o esquema da Fig. (1), com passo de 100 μm , largura do canal de aproximadamente 30 μm e profundidade entre 10 e 15 μm . A textura será caracterizada em um microscópio 3D óptico, modelo CM Explorer (Mahr).



Figura 1 - Imagem ilustrativa da superfície de saída de ferramenta cerâmica texturizada

Os ensaios de usinagem serão realizados em um torno CNC Centur 35D (Romi) que será instrumentado com um sistema dinamométrico composto de plataforma piezoelétrica modelo 9129, condicionador de sinal modelo 5080A e sistema de aquisição de dados modelo 5697A1 (Kistler) para medição dos esforços de usinagem. Além disso, a temperatura de corte será monitorada por uma câmera térmica, modelo UTi120Mobile (UNI-T) e uma câmera de 330 fps, modelo KYT-U400-CSM (Kayeton) será utilizada para a filmagem da formação do cavaco. Os materiais da peça de trabalho utilizados para usinagem serão um ferro fundido cinzento FC250 (Tupy S.A.), com dureza média de 200 HV, e um aço inoxidável martensítico VSM13 (Villares Metals S.A.), com dureza média de 274 HV. As ferramentas serão montadas em um suporte CSRNR 2525M 12-4 (Sandvik), que confere uma geometria de corte com ângulo de posição de 75° , ângulo de saída de -6° , ângulo de folga de 6° e ângulo de inclinação de -6° . Na Figura (2) é apresentado um esquema simplificado de montagem dos dispositivos citados anteriormente.

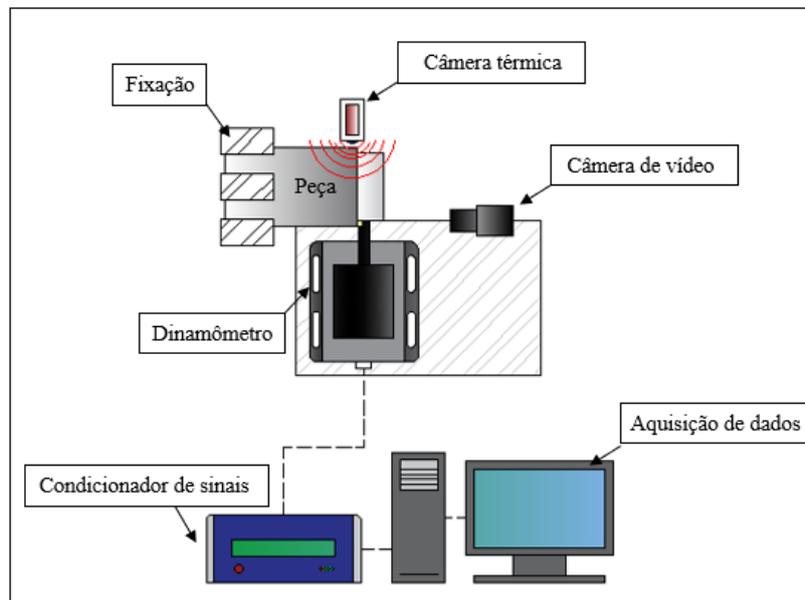


Figura 2 - Montagem do sistema de força de aquisição

As condições de corte ainda serão determinadas em pré-testes. O avanço (f) e a profundidade de corte (a_p) serão mantidos constantes, enquanto a velocidade de corte (v_c) será variada em dois níveis.

Os ensaios de torneamento serão realizados com ferramentas texturizadas e não texturizadas (referência) para estabelecer comparação. Após a usinagem as peças serão avaliadas quanto aos parâmetros de rugosidade (R_a e R_z), fazendo uso de um rugosímetro portátil, modelo SurfTest SJ-210 (Mitutoyo) e amparado pela norma ABNT NBR ISO 4288:2008. Além da circularidade e cilindricidade, fazendo uso de uma máquina de desvio de forma, modelo MMQ 200 (Mahr) e amparado pela norma ISO 1101:2017. Na Figura (3) tem-se a imagem dos equipamentos.

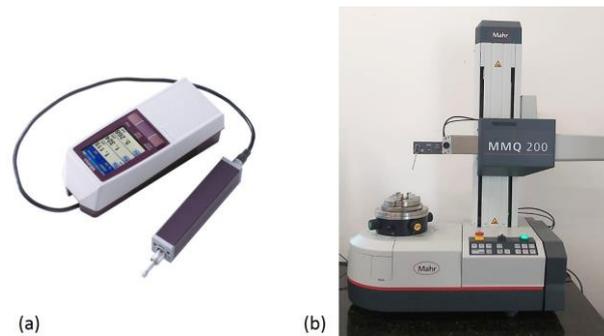


Figura 3 - Equipamentos. (a) Rugosímetro SJ-210 (Mitutoyo); (b) Máquina de desvio de forma MMQ 200 (Mahr)

Também serão realizados ensaios tribológicos de microabrasão, na configuração esfera-fixa contra plano, em que os materiais das esferas serão o ferro fundido FC250 e o aço inoxidável martensítico 440C, as amostras com superfície plana serão as cerâmicas texturizadas e não texturizada. As amostras serão posicionadas no equipamento garantindo sentido de rotação do contra-corpo perpendicular à direção do padrão das texturas. Para a realização do ensaio será utilizado um microabrasômetro modelo TE 66 (Plint). Na Figura (4) tem-se um esquema da amostra texturizada e do abrasômetro.

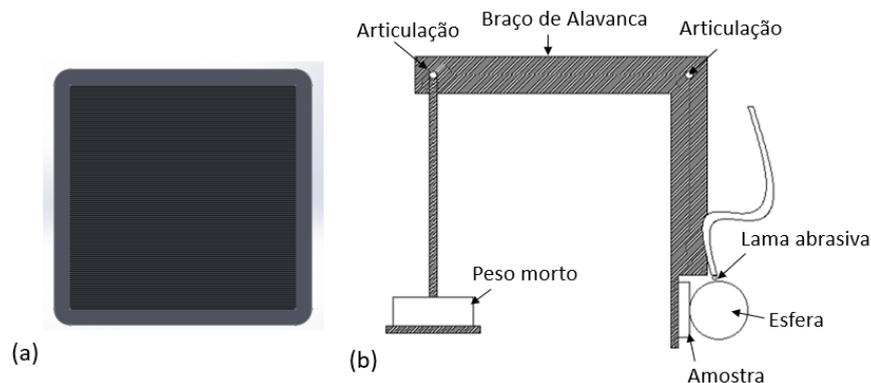


Figura 4 - Esquema do ensaio de microabrasão. (a) Desenho da superfície de saída da pastilha cerâmica texturizada (amostra); (b) Desenho esquemático do microabrasômetro

Na Tabela (1) tem-se as condições iniciais de ensaio para alcançar o regime permanente.

Tabela 1 - Condições iniciais, baseadas em trabalho anterior (Melo, 2018), para o ensaio de microabrasão.

Contra-Corpo	Esfera (Ø=25,4 mm): Aço inoxidável 440C e Ferro fundido FC250
Força Normal (Carga)	1,25 N
Taxa de Gotejamento	25 ~ 30 gotas
Velocidade de rotação da esfera	80 rpm
Distância total deslizada	305 m
Concentração da lama	0,52 g/cm ³ de SiC

A resistência ao desgaste microabrasivo (K^{-1}) será calculado utilizando a segundo a lei de desgaste de Archard (Rutherford; Hutchings, 1996; Yahya; Todd, 2012), através da Eq. (1), em que b é o diâmetro da cratera de desgaste, R é o raio da esfera utilizada, S é a distância deslizada e N é a carga normal aplicada.

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

O diâmetro da cratera de desgaste será medido através de um microscópio óptico acoplado ao microabrasômetro.

3. RESULTADOS

Espera-se compreender o comportamento da textura na usinagem de materiais que geram cavacos curto com pouca deformação plástica e longo com grande deformação plástica através dos resultados de força e temperatura. Em caso de

diminuição dos esforços de corte e temperatura, isso pode implicar em redução do desgaste da ferramenta. Da mesma forma, espera-se encontrar evidências do efeito da texturização da ferramenta no acabamento da superfície e nos desvios geométricos da peça. Finalmente, o ensaio tribológico pode quantificar a resistência ao desgaste da cerâmica texturizada, principalmente, fazendo uso de diferentes materiais de esferas (contra-corpo). Serão resultados exploratórios, mas que poderão contribuir para a compreensão do tribossistema em superfícies texturizadas.

4. 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”.
- Boniecki, M., Gołębiewski, P., Wesołowski, W., Woluntarski, M., Piątkowska, A., Romaniec, M., Ciepielewski, P., Krzyżak, K., 2017, “Alumina/zirconia composites toughened by the addition of graphene flakes”, *Ceramics International*, 43, p. 10066-10070.
- Gachot, C., Rosenkranz, A., Hsu, S.M., Costa, H.L., 2017, “A critical assessment of surface texturing for friction and wear improvement”, *Wear*, v. 372, pp. 21-41.
- International Organization for Standardization, 2011, “ISO 1101:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out”.
- 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.
- Komanduri, R., Samanta, S.K., 1989, “Ceramics”, *ASM Handbook. Machining*, ASM International, Vol. 16, pp. 98-104.
- Kumar, A. S.; Durai, A.R.; Sornakumar, T., 2006, “Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels”, *Tribology International*, 39, p. 191-197.
- Kumar, Ch.S., Patel, S.K., 2019, “Effect of duplex nanostructured TiAlSiN/TiSiN/TiAlN-TiAlN and TiAlNTiAlSiN/TiSiN/TiAlN coatings on the hard turning performance of Al₂O₃-TiCN ceramic cutting tools”, *Wear*, 418-419, p. 226-240.
- Liang, W.L., Ngoi, B.K.A., Lim, L.E.N., Venkatakrisnan, K., 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., da Silva, M.B., 2015, “Teoria da usinagem dos materiais”, 2ª Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 409 p.
- Melo, C.R., 2018, “Avaliação tribológica de ferramentas de usinagem cerâmicas texturizadas por laser de pulsos ultracurtos”, Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória ES, 38f.
- Otitoju, T.A., Okoye, P.U., Chen, G., Li, Y., Okoye, M.O., Li, S., 2020, “Advanced ceramic components: Materials, fabrication, and applications”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 85, pp. 34-65
- 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.
- Sugihara, T., Enomoto, T., 2009, “Development of a cutting tool with a nano/micro-textured surface improvement of anti-adhesive effect by considering the texture patterns”, *Precision Engineering*, 33, pp. 425-429.
- Trent, E.M., Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”. 4th. ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 445p.
- 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.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPES (processos 083/2019 e 144/2020), ao CNPq e a CAPES pelo fomento a pesquisa.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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