

ANÁLISE DO RENDIMENTO DO NÚMERO DE ARESTAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO EM CERÂMICA $ZrO_2 - Y_2O_3$ PRÉ-SINTERIZADA

Raphael Silva Lins, rsilins@factus.edu.br^{1,2}

Leandro Ribeiro Alves, leandro.alves@uftm.edu.br^{1,2}

Mário Sérgio da Luz, mario.luz@uftm.edu.br²

Vitor Tomaz Guimarães Naves, vitor.naves@uftm.edu.br²

¹Faculdade de Talentos Humanos - Rua Manoel Gonçalves Rezende, 230 - Vila São Cristóvão, Uberaba - MG, 38040-240.

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro - Rua Frei Paulino, 30 - Nossa Sra. da Abadia, Uberaba - MG, CEP: 38025-180.

Resumo. A microusinagem é um processo de fabricação capaz de produzir produtos de geometrias complexas e com exatidão dimensional de $1\mu m$. Porém, a microusinabilidade de materiais cerâmicos, como o microfresamento de Zircônia Tetragonal estabilizada com Ítria, pré-sinterizada, é desconhecido para profissionais que trabalham com este tipo de material no segmento de odontologia. Este trabalho mediu o desgaste de microfresas de metal duro com diâmetro de 1mm, com 2 arestas de corte e 4 arestas de corte. Na medida em que as ferramentas foram utilizadas durante o processo de usinagem, medições da rugosidade da superfície também puderam ser monitoradas a fim de correlacioná-las à evolução do desgaste nas ferramentas de corte e sua influência no acabamento superficial, utilizando profundidade de corte (a_p) de $100\mu m$, velocidade de corte (V_c) constante de 31,4 m/min, e avanço de corte por dente (f_z) de $10\mu m/dente$. A técnica aplicada para avaliação de desgaste consistiu no tratamento de imagens feitas em um microscópio eletrônico de varredura sobrepondo as imagens da micro fresa nova sobre a desgastada mensurando o desgaste gradativo ao término de cada cavidade retangular. As microfresas com 4 arestas de corte apresentaram desgaste por abrasão com redução média de 10,4% no diâmetro e constatação de adesão de material na superfície de folga, apresentando uma rugosidade média (R_a) de $0,17\mu m$ ao término da quarta cavidade retangular. As microfresas com 2 arestas de corte apresentaram desgaste por abrasão com redução média de 6,6% no diâmetro, apresentando uma rugosidade média (R_a) de $0,07\mu m$ para um volume teórico total de material removido de $1036mm^3$ por microfresa.

Palavras chave: Microusinagem; Zircônia; Desgaste; Rugosidade Superficial, Odontologia.

1. INTRODUÇÃO

A produção de microcomponentes biocompatíveis tem impulsionado áreas como a médica e a odontológica exigindo entrega de próteses e microcomponentes personalizados de alta ou ultra precisão. Devido às excepcionais propriedades das cerâmicas avançadas como: resistência a altas temperaturas e ao desgaste, elevada dureza e estabilidade química, estas apresentam-se como materiais promissores em aplicações que requerem tais características (QIN, 2015).

Segundo Demarbaix et al. (2018), as Zircônias Tetragonais Policristalinas estabilizadas com Ítria (Y-TZP) são preferencialmente cerâmicas óxidas pré-sinterizadas que desempenham um papel importante na restauração dentária e na usinagem de coroas e próteses parciais fixas. O principal desafio tecnológico da microusinagem de cerâmicas pré-sinterizadas mostra que o mecanismo de endurecimento ocorrido tende a favorecer o comportamento dúctil do material.

A microusinagem permite o processamento de diversas variedades de metais e suas ligas, compósitos, polímeros e cerâmicas, sendo que as cerâmicas dentárias de $ZrO_2 - Y_2O_3$ despertam grande interesse para a indústria odontológica, por sua biocompatibilidade e suas propriedades mecânicas, como: resistência a corrosão; resistência ao desgaste; dureza a quente e tenacidade à fratura. Assim, estes materiais apresentam menor fragilidade e maior vida útil ao contrário de algumas cerâmicas convencionais. A motivação da pesquisa da microusinabilidade de materiais cerâmicos é justificada pela insuficiência de dados a respeito dos parâmetros de corte para microusinagem de Zircônia e seus efeitos sobre a superfície microfresada caracterizando um empirismo para tal afirmação: “falhas ocasionadas pela broca ou unidade de fresagem são eliminadas após a sinterização, mantendo as propriedades mecânicas do material” (BISPO, 2015).

De acordo com Filser (2001), durante a preparação do bloco, a pressão de compactação e a temperatura de pré-sinterização influenciam na determinação dos parâmetros de fresagem, não sendo detalhada para uma usinagem leve e com qualidade superficial.

De acordo com Chae, Park e Freiheit (2006), aponta-se que o desafio principal enfrentado durante a microusinagem é a interação ferramenta-peça, pois os cavacos podem ser formados quando a espessura de corte é menor do que a espessura mínima de corte. A espessura mínima de corte é uma questão importante na microusinagem, por que, até certo ponto, se relaciona com a precisão da usinagem final. A princípio, esta espessura mínima é determinada pela distância mínima atômica dentro da peça de trabalho (JACKSON, 2006). Por não haverem normas que padronizam os procedimentos de

realização do teste de vida das ferramentas para o microfresamento, como a norma ISO 8688-2:1989 que se refere ao processo de fresamento de topo convencional em escala macro, têm-se como consequência nos trabalhos de microusinagem, várias metodologias empregadas para medição do desgaste. Em geral, a medição é realizada pela sobreposição das imagens das microferramentas novas e usadas, as quais são obtidas por microscópios (Malekian; Park; Jun, 2009).

Para Masuzawa (2000), na fabricação de uma peça, quando é necessário remover um pequeno volume de material juntamente com a melhoria na precisão da peça fabricada, são estabelecidas duas condições que levam a considerar que a abordagem está direcionada a microusinagem, como o erro dimensional e a taxa de remoção de material, as quais devem ser reduzidas se comparadas aos processos de usinagem já existentes.

Diante da importância crescente do processo de microusinagem, também ressaltada por esse material cerâmico, os estudos voltados para os mesmos se intensificaram, o que motiva a realização do presente estudo que tem como principal objetivo analisar o desgaste de microfresas, com 2 e 4 arestas de corte, com diâmetro de 1mm, de metal duro e sua correlação com a variação da rugosidade média (R_a) da superfície obtida no microfresamento de cavidades retangulares, sem utilização de fluido de corte, em uma placa de cerâmica dentária de Zircônia Tetragonal estabilizada com Ítria, pré-sinterizada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para realização deste trabalho foi uma cerâmica dentária fornecida pelo fabricante VIPI BLOCK ZIRCONN, composta por 200g de Zircônia estabilizada com 3% de mol de Ítria ($ZrO_2 - Y_2O_3$), com prensagem isostática e pré-sinterizada e com microdureza fornecida pelo fabricante de 1200 HV, resistência a fratura de 950 Mpa, módulo de elasticidade de 200 Mpa. Devido a geometria irregular da placa de Zircônia, demonstrado na Figura 1, com formato semiesférico do material, semelhante ao de uma arcada dentária, foi necessário criar um sistema de fixação, confeccionado em alumínio, para garantir a estabilidade durante o processo de microusinagem.

Foram utilizadas seis microfresas de topo, com diâmetro de 1mm, com 2 arestas de corte e 4 arestas de corte, sendo três unidades de cada tipo, marca Sumitool® de metal duro inteiriço (WC-Co), revestimento TiAlCrSiCN, para microfresamento de cavidade retangular, com balanço de 10mm, com uma penetração de trabalho (a_e) igual a 1mm.

Os ensaios de microfresamento frontal de topo aconteceram em um centro de usinagem vertical CNC, da marca ROMI modelo D1250, com rotação máxima do seu eixo árvore de 12000 rpm. A linguagem de programação da máquina SHOPMILL foi utilizada para a programação de quatro cavidades retangulares com microfresamento em cheio, nas dimensões descritas na Figura 1. A profundidade de corte (a_p) adotada foi de 100 μ m, após 15 passes consecutivos a cavidade retangular foi realizada com uma profundidade total de 1,5mm. A velocidade de corte (V_c) constante adotada foi de 31,4 m/min, com uma rotação constante (n) de 10000 rpm e avanço de corte por dente (f_z) de 10 μ m/dente. Todos os testes foram realizados a seco. Com a variação do número de arestas pretende-se avaliar os efeitos na rugosidade superficial de cerâmicas, pré-sinterizadas, de $ZrO_2 - Y_2O_3$.

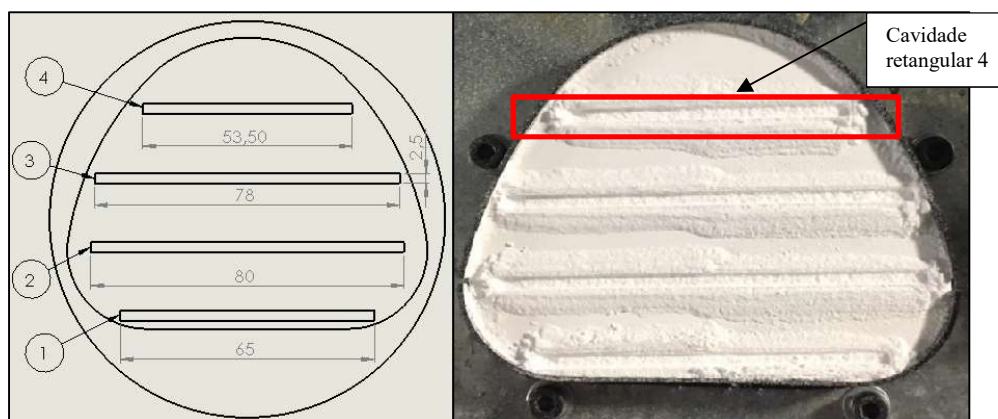


Figura 1. Sequência de usinagem e dimensões em milímetros (esquerda), bolsas retangulares usinadas (direita).

Ao término da usinagem de cada uma das quatro cavidades retangulares foram geradas imagens da superfície de saída da ferramenta e da superfície de folga da ferramenta, através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo TM3000 da marca Hitachi. Foram obtidas as imagens para verificação do desgaste das microfresas de topo de metal duro com diâmetro de 1mm com 2 arestas de corte, com raio de arestas de corte de 25 μ m. A sequência de procedimentos descrita acima foi repetida para microfresa de topo de metal duro com diâmetro de 1mm com quatro arestas de corte, com raio de arestas de 20 μ m e replicada 2 vezes. Ressalta-se que foram feitas imagens das microferramentas usadas em posições semelhantes às imagens das ferramentas novas. O *software* GIMP 2.6 auxiliou na criação de uma camada cinza para ferramenta usada, e uma camada branca para a ferramenta nova. Além disso, para possibilitar a medição do desgaste,

utilizando *software* IMAGE J as imagens das microfresas foram sobrepostas às novas, como observado na Figura 2. O desgaste foi medido na superfície principal e secundária de folga por meio da distância encontrada através da diferença do tamanho da ponta da ferramenta nova com a usada.

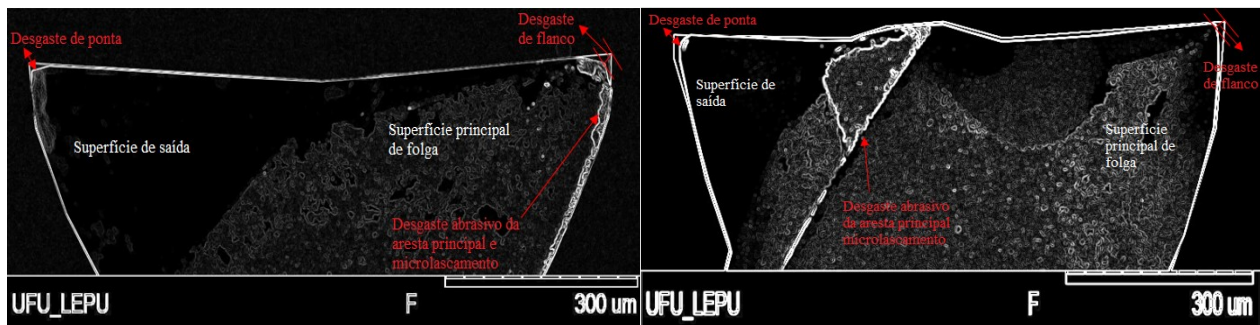


Figura 2. Imagens sobrepostas no *Software* IMAGE J. Desgaste da microfresa com 2 arestas de corte (esquerda) e microfresa com 4 arestas de corte no término da cavidade retangular 3(direita).

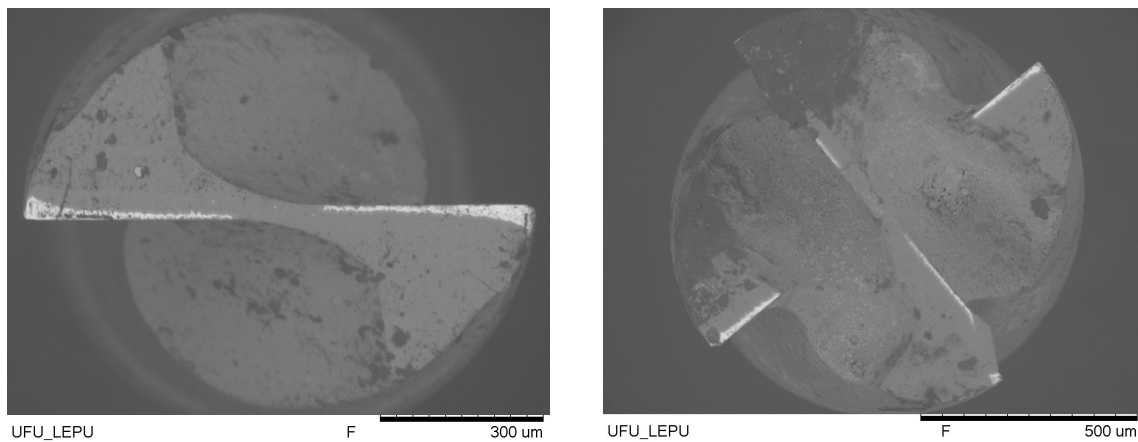


Figura 3. Imagens da vista no topo da microfresa com 2 arestas corte (esquerda), 4 arestas de corte (direita).

As fotos obtidas através do MEV, Figura 3, da vista no topo da microfresa com 2 arestas corte e ocorrência de desgaste por abrasão (esquerda), abrasão e lascamento na microfresa com 4 arestas de corte (direita), ambas ao término da cavidade retangular 4.

Após o microfresamento, com o perfilômetro TESA-rugosurf 90-G, com resolução de 0,016µm, com *Cut-off* 0,25mm através de 3 medições em pontos distintos, foi mensurado a rugosidade média (Ra) na base das cavidades retangulares produzidas. Foram realizadas quatro medições em pontos aleatórios dentro de cada uma das cavidades retangulares produzidas pelas microfresas com duas e quatro arestas de corte, afim determinar a rugosidade e sua correlação com o desgaste de flanco durante o processo de microusinagem. Realizou-se duas réplicas das medições.

3. RESULTADOS

A Figura 4 mostra a evolução do comprimento do desgaste de flanco apresentando uma variação de 38,96µm a 136,36µm para microfresas com 2 arestas de corte, e uma variação de 45,8µm a 237,1µm para microfresas com 4 arestas de corte, em função do volume de material removido. Ao final dos microfresamentos, analisando as imagens da Figura 3, foi possível notar uma redução do diâmetro da microfresa de 1000µm para 934µm, proveniente de desgaste por abrasão nas duas arestas de corte. Na microfresa de quatro arestas de corte ao término da quarta cavidade retangular a redução no diâmetro foi para 896µm, com a presença de adesão de $ZrO_2-Y_2O_3$ nas arestas de corte, desgaste por abrasão e lascamento, determinando o fim de vida da ferramenta.

Relevante ressaltar que o desvio padrão obtido na microfresa com 4 arestas de corte foi superior a 50% devido à quebra de arestas de corte durante a execução da cavidade retangular 4, e conseqüentemente gerou uma sobrecarga maior nas arestas de corte restantes, tendo aumento do batimento devido ao desbalanceamento, e conseqüente aumento de rugosidade superficial.

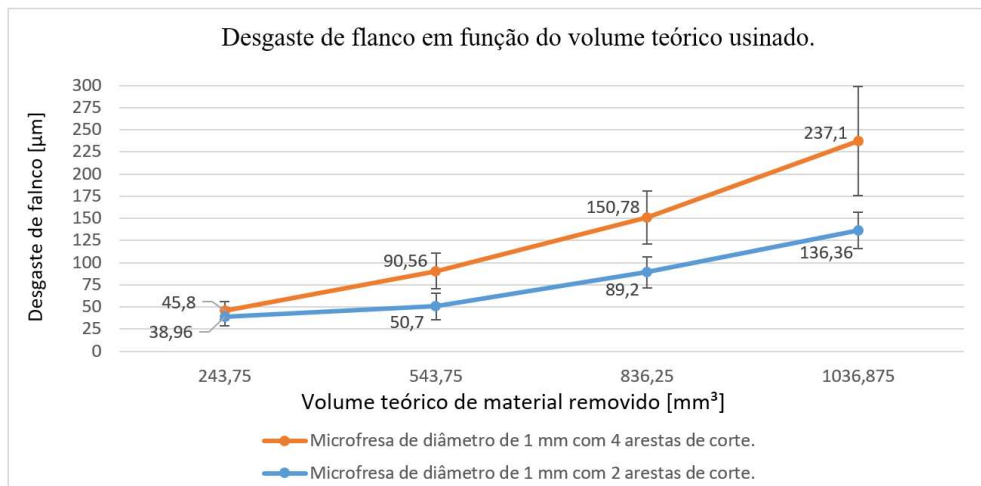


Figura 4. Desgaste de flanco da microfresa de metal duro com 1mm de diâmetro em função do volume teórico.

A Figura 5 apresenta o efeito do desgaste gradativo da microfresa de metal duro com 1mm de diâmetro na superfície microusinada de $ZrO_2 - Y_2O_3$, pré-sinterizada. Utilizando parâmetros corte constantes e semelhantes, sem utilização de fluido lubri refrigerante, evidencia-se uma correlação dos parâmetros de rugosidade R_a em função do número de arestas de corte.

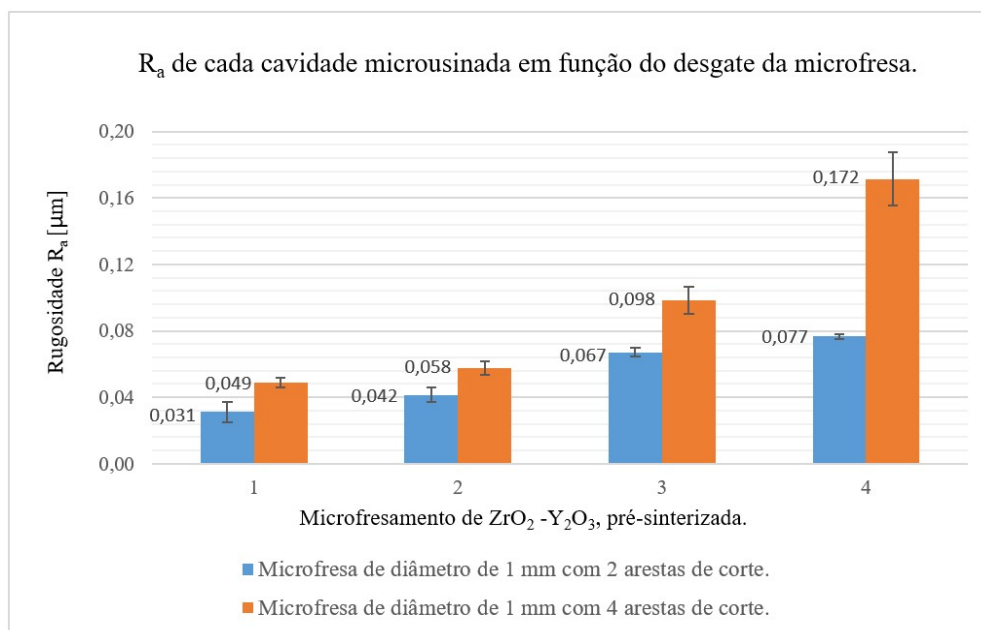


Figura 5. Rugosidade Superficial R_a no fundo de cavidades retangulares em função do desgaste da microfresa de metal duro de diâmetro de 1mm com parâmetros de corte constantes: $n=10000$ rot/min, $f_z=10\mu m/dente$ e $a_p 100\mu m$.

Os valores médios encontrados, após duas réplicas, caracterizam uma variação entre $0,031\mu m$ a $0,77\mu m$ para microfresas com duas arestas de corte. A rugosidade R_a para microfresas com 4 arestas de corte apresentou uma variação de $0,049\mu m$ a $0,172\mu m$, com lascamento de arestas de corte, ao termino da cavidade retangular 4, conforme Figura 3.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que houve uma redução média de $66\mu m$ do diâmetro das microfresas de topo com duas arestas de corte, ocasionado pela evolução do desgaste das superfícies de folga primárias e secundárias, apresentando um desgaste de flanco máximo médio de $136,36\mu m$, e um R_a mínimo $0,031\mu m$ na cavidade retangular 1, e um R_a máximo $0,077\mu m$ sem apresentar indícios de fim de vida ao término da cavidade retangular 4 com um volume teórico removido de $1036,875\text{ mm}^3$.

As microfresas de topo com 4 arestas de corte apresentaram um R_a mínimo $0,049\mu m$ na cavidade retangular 1, uma redução média de $104\mu m$ do diâmetro da microferramenta, ocasionado pela evolução do desgaste das superfícies de folga

primárias e secundárias, apresentando um desgaste de flanco máximo médio de $150,78\mu\text{m}$ e um R_a máximo $0,098\mu\text{m}$, ao término da cavidade retangular 3, volume teórico removido de $836,25\text{ mm}^3$. Conclui-se que a microfresa com duas arestas de corte possibilitou um melhor rendimento em termos de volume de material usinado e acabamento superficial obtido mediante ao comportamento dúctil do material cerâmico de $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$, pré-sinterizado, durante a microusinagem.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM e a Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

6. REFERÊNCIAS

- BISPO, L. B. Cerâmicas odontológicas: vantagens e limitações da Zircônia. **Revista Brasileira de Odontologia**, Rio de Janeiro, v.72, n.1/2, p. 24-9, jan/jun., 2015.
- CÂMARA, M. A. ; RUBIO, J. C. C.; ABRÃO, A. M.; DAVIM, J.P. State of the art on micromilling of materials, a review. **Journal of Materials Science e Technology**, v.28, n.8, p. 637-685, 2012.
- CHAE, J.; PARK, S.; FREIHET, T. Investigation of micro-cutting operations. **International Journal of Machine tools & manufacturing**. New York, v.46, n. 3-4, p. 313-332, 2006.
- DEMARBAIX, A.; RIVIÈRE-LORPHEVRE, E.; DUCOBU, F.; FILIPPI, E.; PETIT, F.; PREUX, N. Behaviour of pre-sintered Y-TZP during machining operations: Determination of recommended cutting parameters. **Journal of Manufacturing Processes**, v.32, n.7, p.85-92, 2018.
- FILSER, F. **Direct ceramic machining of dental restorations** (Ph. D. thesis). Swiss Federal Institute of Technology; 2001.
- ISO, 1989. **Tool life testing in milling – Part 2: End milling**. ISO 8688-2:1989
- JACKSON, M. J. **Microfabrication an Nanomanufacturing**. 1. Ed. West Lafayette: CRC Press, 2006. 387 p.
- MALEKIAN, M.; PARK, S. S.; JUN, M. B. G. Tool wear monitoring of micro-milling operations. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 10, pp. 4903-4914, 2009.
- MASUZAWA, T., **State of the art of micromachining**, CIRP Annals Manufacturing Technology, pg. 473-488, 2000
- QIN, Y. **Micromanufacturing Engineering and Technology**. Second Edition, Copyright, 858p, 2015.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE NUMBER OF CUTTING EDGES IN THE PRE-SINTERED CERAMIC Y-TZP MICROMILLING

Raphael Silva Lins, rsilins@factus.edu.br^{1,2}

Leandro Ribeiro Alves, leandro.alves@uftm.edu.br^{1,2}

Mário Sérgio da Luz, mario.luz@uftm.edu.br²

Vitor Tomaz Guimarães Naves, vitor.naves@uftm.edu.br²

¹Faculdade de Talentos Humanos - Rua Manoel Gonçalves Rezende, 230 - Vila São Cristovão, Uberaba - MG, 38040-240.

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro - Rua Frei Paulino, 30 - Nossa Sra. da Abadia, Uberaba - MG, CEP: 38025-180.

Abstract. *Micromachining is a manufacturing process capable to producing pieces with complex geometries and dimensional accuracy of $1\mu\text{m}$. However, there is a gap in the micro-machinability of ceramic materials, such as pre-sintered Yttrium oxide Zirconia Polycrystals (Y-TZP), especially in the dentistry segment. Based on this, this work shows results about the wear using a 1mm diameter carbide tool to milling a zirconia block. Surface roughness measurements could also be monitored in order to correlate them with the evolution of the wear on the cutting tools and their influence on the surface finish, using depth of cut of $100\mu\text{m}$, cutting speed fixed adopted of 31.4 m/min , and cutting feed per edge of $10\mu\text{m/edge}$. The applied technique for wear evaluation was based on images from a scanning electron microscope by overlapping the images of not used microfresa and after milling, measuring the gradual wear at the end of each rectangular cavity. The micromilling with four cutting edges showed abrasion wear with a mean diameter reduction of 10.4%. Materials adhesion was also observed in the tool surface presenting a mean roughness (R_a) of $0.17\mu\text{m}$ at the end of the fourth rectangular cavity. The micromilling with two cutting edges presented abrasion wear with a mean diameter reduction of 6.6%, presenting a mean roughness (R_a) of $0.07\mu\text{m}$ for a total theoretical volume of material removed from 1036mm^3 by micromilling.*

Keywords: *Micromachining, Zirconia, Wear, Surface roughness, Dentistry.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.