

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

APLICAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA DE CERÂMICAS AVANÇADAS NA FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE

NATHÁLIA A. S. CRUZ¹, JOÃO V. B. S. FONTES², ITALO L. CAMARGO³,
LUIZ E. A. SANCHEZ⁴, RENAN L. FRAGELLI⁵

¹Graduanda em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBITI, IFSP, Campus Itaquaquecetuba, nathalia.cruz@aluno.ifsp.edu.br.

²Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBIC, IFSP, Campus Itaquaquecetuba, buosi.joao@aluno.ifsp.edu.br.

³Professor EBT, Área Mecânica, IFSP - Campus Itaquaquecetuba, italo.camargo@ifsp.edu.br.

⁴Professor Titular, Dpto. de Engenharia Mecânica, Unesp, Campus Bauru, luiz.sanchez@unesp.br.

⁵Professor EBT, Área Mecânica, IFSP - Campus Itaquaquecetuba, renan.fragelli@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.01-1 - Matrizes e Ferramentas

RESUMO: O torneamento de materiais duros requer a utilização de máquinas operatrizes adequadas e ferramentas de corte com elevada dureza, resistência ao desgaste em altas temperaturas e inércia química. Nesse contexto, as ferramentas de corte cerâmicas se destacam. Dessa forma, a fim de desenvolver e otimizar o processo de fabricação destas ferramentas, este trabalho tem por objetivo aplicar a manufatura aditiva de cerâmicas avançadas na fabricação de Ferramentas de Corte Texturizadas por fotopolimerização em cuba, uma vez que este processo vem se mostrando promissor. Para realização da pesquisa, foram analisados modelos de ranhuras/canais para serem adotados. Após definir a geometria mais promissora, desenvolveu-se o modelo 3D em software CAD e, então, realizou-se a impressão 3D em material cerâmico. A partir dos modelos impressos, as ferramentas foram caracterizadas quanto a qualidade superficial, rugosidade, densidade e microdureza. Desta forma, como resultados, a rugosidade superficial apresentou valores médios de 0,336 μm e 0,30 μm , a densidade das amostras foi de 0,8751 g/cm³, e a microdureza apresentou oscilação, com valores entre 1498,0 HV e 2099,7 HV. Sobre a análise visual das ferramentas, a integridade física das ranhuras se mostrou satisfatória, apresentando geometrias bem definidas e dentro do estipulado em projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Fotopolimerização em cuba, Ferramenta de corte, Texturização, Torneamento; Manufatura aditiva; Impressão 3D.

APPLICATION OF ADDITIVE MANUFACTURING OF ADVANCED CERAMICS IN THE PRODUCTION OF CUTTING TOOLS

ABSTRACT: Hard material turning requires the use of appropriate machine tools and cutting tools with high hardness, wear resistance at high temperatures, and chemical inertia. In this context, ceramic cutting tools stand out. Therefore, in order to develop and optimize the manufacturing process of these tools, this study aims to apply additive manufacturing of advanced ceramics to the production of Textured Cutting Tools through vat photopolymerization, as this process has shown promise. For the research, groove/channel models were analyzed to be adopted. After defining the most promising geometry, the 3D model was developed using CAD software, and then 3D printing was performed using ceramic material. Based on the printed models, the tools were characterized in terms of surface quality, roughness, density, and microhardness. As for the results, the surface roughness showed average values of 0.336 μm and 0.30 μm , the sample density was 0.8751 g/cm³, and the microhardness fluctuated between 1498.0 HV and 2099.7 HV. Regarding the visual analysis of the tools, the physical integrity of the grooves was satisfactory, with well-defined geometries meeting the design specifications.

KEYWORDS: Vat photopolymerization; Cutting Tool; Texturing; Turning; Additive manufacturing; 3D printing

INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo de fabricação onde ocorre a retirada de um material com produção de cavaco através de uma ferramenta de corte que exige alta resistência mecânica. Nesse processo existem vários desafios para manter uma vida prolongada da ferramenta, entre eles a resistência à altos esforços, velocidade e temperatura de corte. Consequentemente, ocorre a deterioração das pastilhas por oxidação, redução da dureza, deformação plástica, fraturas e lascamentos, além da diminuição da qualidade e acabamento superficial da peça usinada.

Na tentativa de reduzir esses problemas e prolongar a vida das pastilhas convencionais, fluidos de corte são utilizados em abundância. Apesar da sua eficiência, são muito nocivos ao meio ambiente e à saúde dos operários. Portanto, quando se trata de materiais de difícil usinabilidade, ferramentas de corte cerâmicas são preferíveis, visto que suportam altos níveis de desgaste.

Desta forma, diante do grande desafio em manter a qualidade de materiais usinados, com estreitas tolerâncias dimensionais, aumento da produtividade por meio de maiores taxas de remoção, aumento da eficiência na usinagem de materiais de difícil usinabilidade, custo competitivo e sem prejudicar o meio ambiente, as ferramentas cerâmicas surgem como solução, além de incluir a texturização da superfície de saída para diminuir o atrito com o cavaco e a elevada temperatura de corte (RIBEIRO, 2019).

Visando processos de fabricação acessíveis e de baixo custo, este trabalho tem como objetivo desenvolver, por meio de software CAD, um modelo de ferramenta de corte cerâmica texturizada e viabilizar o processo de manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba para sua produção, visto que é um processo que desenvolve peças com alto nível de detalhamento e acabamento superficial.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelagem 3D e preparo das suspensões

Primeiramente, foi realizado o levantamento a respeito das geometrias mais promissoras para texturização da superfície de saída da ferramenta de corte. Após isso, determinou-se uma geometria específica baseada nos modelos propostos por Ribeiro (2019) para analisar a viabilidade das ranhuras para impressão com dimensões de 0,3 mm para sua largura, distadas da aresta de corte em 0,3 mm e entre si em 0,15 mm, com profundidade de 0,75 mm, além de uma interrupção de 0,4 mm na ponta da ranhura mais próxima da aresta de corte para aumentar a resistência da ponta da ferramenta. A modelagem das ferramentas de corte foi feita no software Autodesk Inventor 2024 (licença estudantil).

Diferentes impressões foram feitas e cada uma com variações nas concentrações de seus componentes. Todas as suspensões foram preparadas utilizando pó cerâmico de alumina com tamanho médio de partícula de 1 μm , resina líquida poly(ethylene glycol)-diacrylat; dispersante DISPERBYK-111 (BYK-Chemie); fotoiniciador Phenylbis (2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide; e quartzo (MCQ-325, Minasolo).

Além disso, foram processados dentro de um jarro com bolas de zircônio a uma frequência de 3,58 Hz por 24 horas para quebrar os aglomerados e homogeneizar a suspensão (CAMARGO *et al.*, 2021) e, assim, imprimir as ferramentas de corte na impressora LD-002H Creality.

Na primeira bateria de impressões, foram preparadas suspensões diferentes, modificando apenas a concentração de alumina em 1%, 2%, 3% e 50% (v/v). Em seguida, foram queimadas e sinterizadas em atmosfera oxidante (ao ar) em forno elétrico tipo câmara (Blue M, Lindberg) com 2 horas de patamar na temperatura de pico 1400 °C. As ferramentas podem ser visualizadas na Figura 1 antes e depois do processo de queima.

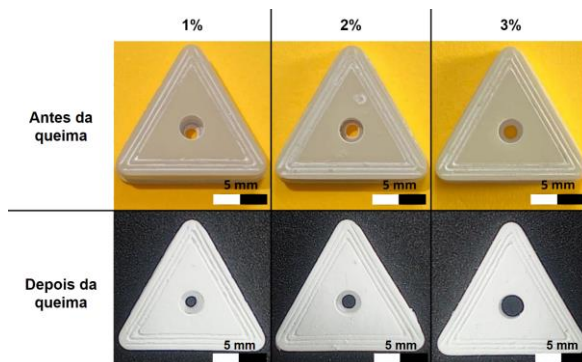


Figura 1. Primeiras impressões das ferramentas de corte

A partir dos resultados obtidos, outras ferramentas foram impressas com as mesmas concentrações de material cerâmico e ainda uma nova ferramenta composta apenas por quartzo, sem teor de alumina sob os mesmos parâmetros de queima e sinterização. Por fim, uma última suspensão foi utilizada para impressão das ferramentas com um teor de 50% (v/v) de alumina, cuja temperatura de sinterização foi em 1600 °C.

Além disso, foram propostas três novas geometrias de ranhuras com dimensões maiores a fim de avaliar a melhora da qualidade das mesmas, conforme indicadas na Figura 2. Os modelos apresentados na Figura 2.b e 2.c apresentam profundidade de 0.9 mm, enquanto o modelo da Figura 2.a possui 0,75 mm de profundidade. As três novas ranhuras foram impressas com suspensões de concentração de 50% (v/v) de alumina.

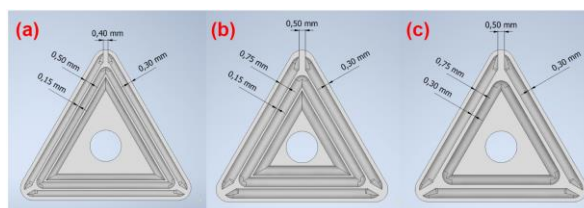


Figura 2. Modelagem 3D dos novos modelos de ferramenta de corte: (a) três ranhuras de 0.5 mm; (b) três ranhuras de 0.75; e (c) duas ranhuras de 0.75 mm

Densidade das ferramentas

Para determinar a densidade das amostras impressas, utilizou-se o princípio de Arquimedes utilizando a água destilada como líquido de imersão e a norma ASTM-C20.

Ensaio de Microdureza

Para determinar a microdureza dos modelos de ferramentas de corte obtidos na última impressão, identificados como Ferramenta 1, 2 e 3, as amostras foram submetidas a ensaios de microdureza Vickers utilizando a norma ASTM E 384-07.

As medições de dureza foram efetuadas em microdurômetro digital da marca Mitutoyo, modelo HM-211. Os testes de microdureza basearam-se na impressão produzida por um indentador Vickers padrão com ponta de diamante em forma de pirâmide de base quadrada, com ângulo de 136 graus entre as faces. A carga utilizada nos ensaios foi de 500 gf com tempo de aplicação de 15 segundos.

Em cada amostra foram realizadas cinco medições, respeitando a distância mínima de 2,5 vezes o comprimento da maior diagonal encontrada. Os valores encontrados foram obtidos através do software oferecido pelo equipamento.

Rugosidade da ferramenta e mapeamento 3D

As mesmas amostras das ferramentas foram submetidas à verificação da rugosidade média da superfície de saída das ferramentas cerâmicas.

A medição da rugosidade foi realizada por meio do perfilômetro de contato Form Talysurf Intra i60, com apalpador de diamante cônico de raio de ponta 2 µm, cut-off de 0,8 mm, 5 trechos de medição, sensor indutivo com resolução de 16 nm e faixa vertical de 1,04 mm, além do software de controle Taylor Hobson ultra.

Três medições foram realizadas em cada amostra, com 0,1 mm de distância entre elas e definiu-se a distância de curso do equipamento como sendo 4 mm para a Peça 1 e 2 mm para a Peça 2. A Peça 3 não foi submetida à análise da rugosidade devido a presença de muitas trincas na sua superfície

As análises das superfícies para realizar o mapeamento 3D foram conduzidas no programa Talymap Gold, sendo que nenhum filtro foi aplicado. Além disso, foram executados nas duas peças em uma área de 0,3 x 0,5 mm, com velocidade de deslocamento do apalpador de 0,5 mm/s e espaçamento entre linhas de 5 µm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3.a, encontra-se uma ferramenta de corte com 2% (v/v) de alumina e na Figura 3.b uma ferramenta de corte com 50% (v/v), ambas após serem sinterizadas.

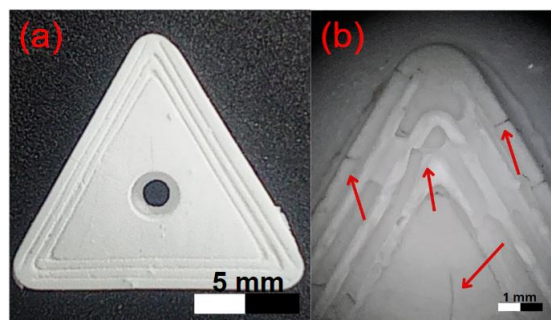


Figura 3. Modelo de ferramenta cerâmica com (a) 2% e (b) 50% (v/v) de alumina após sinterização

Como indicado na Figura 3.b, a ferramenta com maior concentração apresentou algumas imperfeições nas suas ranhuras devido ao alto carregamento sólido da suspensão, característico da alta concentração de alumina apresentada anteriormente. Desta forma, é sugerido que, em impressões futuras, sejam abordadas novas suspensões para contornar essas falhas e definir melhor qual o processo mais eficaz de limpeza dos canais, evidenciando a inovação e variedade de abordagens que este tema pode gerar em pesquisas futuras.

Com as mudanças dimensionais realizadas nas ferramentas e pela necessidade de ferramentas com produção viável, definiu-se que ranhuras maiores são mais adequadas para a confecção das ferramentas. Sendo elas com larguras de 0,5 mm e 0,75 mm e profundidade de 0,75 mm e 0,9 mm, respectivamente, além de que o melhor método de limpeza encontrado para retirar os resíduos da suspensão foi com jato d'água em alta pressão, visto que otimiza o tempo de produção e limpeza das ferramentas.

O valor da densidade das amostras encontrada pelo princípio de Arquimedes foi de $0,8751 \pm 0,0049 \text{ g/cm}^3$. Além disso, a partir dos valores encontrados para os ensaios de microdureza realizados e indicados na Tabela 1, foi possível avaliar a uniformidade da microdureza nas ferramentas.

Dureza Vickers					
	Medida 1 (HV)	Medida 2 (HV)	Medida 3 (HV)	Média (HV)	Desvio Padrão (HV)
Ferramenta 1	1354	1678	1462	1498,0	165,0
Ferramenta 2	1483	1721	1323	1509,0	200,3
Ferramenta 3	2146	1815	2338	2099,7	264,6

Tabela 1. Valores de microdureza encontrados para as Ferramentas

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, as medidas de microdureza das três ferramentas indicam uma microdureza não uniforme ao percorrer de toda a superfície das ferramentas. Isso ocorre como consequência do processo de impressão 3D do material cerâmico e esta é uma das diferenças com relação ao processo tradicional de compactação seguida da sinterização. Esta característica representa um desafio a ser explorado em pesquisas futuras, modificando as suspensões cerâmicas utilizadas.

Além da microdureza, os valores da rugosidade superficial das peças 1 e 2 podem ser verificados na Tabela 2.

Parâmetros de Amplitude							
		Medida 1 (μm)	Medida 2 (μm)	Medida 3 (μm)	Medida 4 (μm)	Média (μm)	Desvio Padrão (μm)
Ra	Peça 1	0,322	0,328	0,359	-	0,336	0,020
	Peça 2	0,276	0,249	0,38	0,296	0,30	0,06

Tabela 2. Rugosidade média da superfície das peças 1 e 2

Por fim, a partir dos parâmetros e valores encontrados para picos e vales através da paramentação instrumental, pôde-se realizar o mapeamento 3D da superfície de saída para cada amostra. As análises das superfícies de saída das peças 1 e 2 são indicadas na Figura 4.

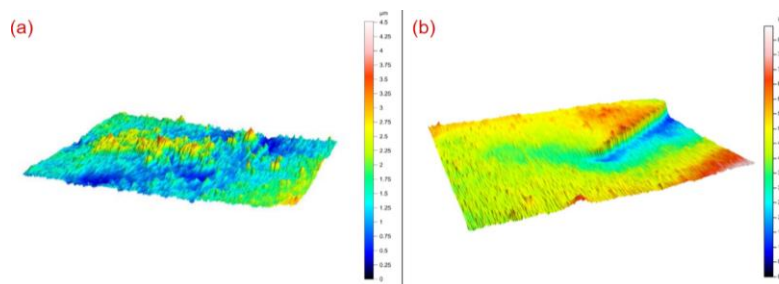


Figura 4. Mapeamento 3D da: (a) Peça 1; e (b) Peça 2.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, buscou-se determinar uma geometria específica para ranhuras na superfície de saída de ferramentas de corte cerâmicas para uso em torneamento e, assim, realizar a sua prototipagem rápida e impressão 3D por fotopolimerização em cuba.

Foi realizada a impressão de peças com diferentes concentrações de alumina para analisar alguns parâmetros como limpeza, definir as ranhuras finais mais viáveis para as ferramentas de corte e por fim realizar a caracterização das amostras.

Ensaio de microdureza e rugosidade foram realizados nas peças para determinar se eram viáveis para uso no mercado. A partir dos valores encontrados, pôde-se observar que, apesar de algumas imperfeições na impressão, o trabalho realizado mostra-se promissor, visto que já nos primeiros modelos e formulações da suspensão foi observado um ótimo acabamento superficial nas ferramentas. Além disso, nota-se que num primeiro momento, ranhuras maiores e novas suspensões devem ser exploradas em trabalhos futuros a fim de determinar ferramentas de corte com características viáveis e úteis para, enfim, serem aplicadas na produção de peças em geral na indústria.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

RLF e NASC contribuíram com a curadoria e análise dos dados. RLF, ILC, JVBSF e NASC contribuíram com a pesquisa e metodologia. RLF contribuiu com a administração do projeto e supervisão. RLF, ILC e NASC procederam com a metodologia, experimentos e atuaram na redação do trabalho. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Campus Itaquaquecetuba e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

CAMARGO, I. L. D.; ERBERELI, Rogério; FORTULAN, Carlos Alberto. Additive manufacturing of electrofused mullite slurry by digital light processing. **Journal of the European Ceramic Society**, [s. l.], v. 41, n. 14, p. 7182–7188, 2021.

RIBEIRO, F. Avaliação de Ferramentas de Corte texturizadas preenchidas com nanotubos de carbono. **Programa de pós-graduação em engenharia mecânica Faculdade de Engenharia de Bauru**, Bauru, 2019.