

FLUIDEZ DE MATÉRIA PRIMA CERÂMICAS PARA O PROCESSO DED DE MANUFATURA ADITIVA

Italo Leite de Camargo

Instituto Federal de São Paulo – IFSP. Primeiro de Maio, 500. Itaquaquecetuba, SP, Brasil

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP, Brasil

Italo.camargo@ifsp.edu.br

Rogério Erbereli

Carlos Alberto Fortulan

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP, Brasil

rogerio.erbereli@usp.br

fortulan@usp.br

Resumo. A manufatura aditiva, embora muito atrativa para produção de componentes cerâmicos em pequena escala, encontra pouca oferta de matéria prima adequada, principalmente para o Direct energy deposition (DED), processo este que quando bem executado proporciona peças cerâmicas densas sem a necessidade da custosa e demorada etapa de sinterização. O presente trabalho visa investigar os efeitos da morfologia e tamanho de partícula na fluidez de pós cerâmicos, visto que uma boa fluidez é um dos principais requisitos para adequação ao processo de DED. Pós de alumina eletrofundida e esférico, separados em diferentes granulometrias tiveram sua fluidez medida de acordo com a norma ISO 14629 e sua morfologia analisada com auxílio de um microscópio confocal. Os pós de alumina eletrofundida, com geometrias pontiagudas e alta capacidade de aglomeração dos pós mais finos, apresentaram baixo desempenho no teste de fluidez. Por outro lado, os pós de alumina com formato esférico apresentaram boa fluidez, com exceção dos com granulometria exclusivamente mais fina ($<38\ \mu\text{m}$), evidenciando seu potencial de uso no processo DED.

Palavras chave: Direct energy deposition, Fluidez, Manufatura Aditiva, Granulometria.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva vem tendo um crescimento em diversas áreas, utilizando diferentes materiais. Se torna especialmente atrativa para a prototipagem de componentes cerâmicos pois evitaria o alto custo de moldes (NGO et al., 2018). A grande maioria dos métodos de manufatura aditiva de materiais cerâmicos envolvem a demorada etapa de posterior sinterização. Por outro lado, existem processos em que a cerâmica é diretamente fundida e solidificada para produção de peças, como o *Direct energy deposition* e o *Selective Laser Sintering* (SLS). A grande dificuldade relacionada a esses processos é a combinação de altos gradientes térmicos inerentes ao processo e a fragilidade intrínseca de materiais cerâmicos (Balla, et. al., 2008; Deckers et. al., 2014).

Direct energy deposition ou *Laser Engineered Net Shaping* é um processo de manufatura aditiva patenteado em 1996, inicialmente criado para a fabricação de componentes metálicos (Griffith et al., 1996; Jeantette et al., 1996). É um processo no qual a energia térmica concentrada (e.g. laser) é utilizada para fundir a matéria prima enquanto a mesma está sendo depositada (ISO/ASTM 52900, 2015).

A grande maioria de pós cerâmicos encontrados comercialmente apresentam morfologia irregular, fruto do processo tradicional de fabricação, que mostra tendência a aglomerar e a ter baixa fluidez e desta forma não são adequados para manufatura aditiva DED (Zhou et al., 2018). Pesquisas têm demonstrado um esforço no sentido de utilizar o DED para fabricar componentes cerâmicos, onde pó de alumina com granulometria controlada tem sido a matéria prima mais recorrente. Além disso, pós esféricos têm sido preferido, visto que estudos têm ressaltado a importância da fluidez do pó no processo (Niu et al., 2016; Zheng et al., 2010).

A distribuição do tamanho de partícula afeta a fluidez do pó, influenciando desta forma as camadas a serem impressas (Sutton et al., 2016). O presente trabalho visa investigar os efeitos da morfologia e tamanho de partícula na fluidez de alumina eletrofundida e um pó esférico (alumina) utilizado em outros trabalhos para manufatura por DED.

2. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados procedimentos para análise de fluidez bem como os materiais estudados, com o intuito de fornecer parâmetros de referência para posteriores estudos relacionados à manufatura aditiva de cerâmica pelo método DED.

2.1. Matérias Primas

Foi utilizado alumina eletrofundida sem retrabalho, pois se trata de um material muito difundido com excelente custo benefício devido ao largo consumo pelas indústrias de usinagem e refratário. Outro material analisado foi alumina esférica (BAK-70, BESTRY) especialmente aplicada em DED, a mesma utilizada por Niu *et al.* (2018) para fabricar corpos de prova com valores de resistência à compressão e à flexão similares aos alcançados por alumina produzida por métodos tradicionais. De acordo com o fabricante, a alumina de formato esférico é produzida por meio de jato de fusão de alta temperatura a partir de pós convencionais de formato irregular. Desta forma, os pós estudados se diferenciam basicamente pela sua morfologia.

2.2. Métodos

Os pós foram secos na estufa esterilizadora por 4 horas a 100°C para remoção da umidade, garantindo a reprodutibilidade do teste. Além disso, essa secagem garante ao pó uma condição similar à utilizada no processo de DED, conforme recomendado por Niu *et al.* (2018). Em seguida, as peneiras ASTM 100, 200, 325 e 400 foram utilizadas para classificar o pó esférico BAK-70 em diferentes granulometrias. Esses pós, assim como pós de alumina eletrofundida de diferentes granulometrias foram submetidos ao teste de fluidez, conforme a norma ISO 14629 (2012). A fluidez foi obtida por meio da medida de tempo do escoamento de 50 g. do material em funil normatizado de aço inox com orifício de 2.5 mm. Por fim, os pós foram analisados em um microscópio confocal OLS4100 (Olympus) para verificar o formato do pó em diferentes granulometrias.

3. RESULTADOS

Os resultados de fluidez para o pó esférico BAK-70 separado em diferentes malhas são apresentados na Tab. 1. Todas as granulometrias apresentadas na tabela iniciaram o fluxo imediatamente após liberado o orifício, com exceção da categoria de pós inferiores a 38 µm. Nessa categoria, foi necessário um pequeno impulso para que o escoamento tivesse início. Além disso, o escoamento nessa fração de pós mais finos não foi contínuo (como mostrado na Fig. 1), ao contrário das outras (ilustrado pela Fig. 2)

Tabela 1. Fluidez do pó de alumina esférico BAK-70 (Bestry) após peneiramento com diferentes malhas.

Tamanho de partícula (µm)	Fluidez (s/50g)	Desvio Padrão (s/50g)
<150	34,32	0,17
Entre 75 e 150	35,23	0,15
Entre 38 e 75	32,25	0,18
Entre 38 e 45	41,66	1,46
<38	64,47	2,11

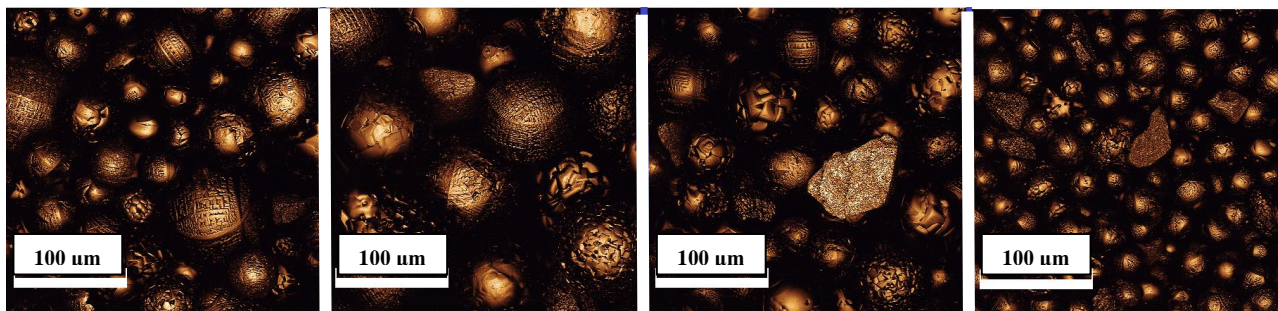


Figura 4. Imagem confocal do pó esférico de alumina BAK-70 com diferentes granulometrias. Da esquerda para direita: pó menor que 150 µm, entre 75 e 150 µm, entre 38 e 75 microns e menor que 38 microns.

4. CONCLUSÕES

Devido à escassez de pós cerâmicos disponíveis no mercado para manufatura aditiva, principalmente para o processo DED, um estudo de fluidez foi feito com diferentes pós de alumina, visto que uma boa fluidez é apontada como um dos principais requisitos para adequação do pó ao processo. Os pós de alumina eletrofundida apresentaram baixo desempenho no teste de fluidez, entupindo o funil frequentemente, o que pode ser explicado pelas geometrias pontudas dos pós de maior granulometria e pela alta capacidade de aglomeração dos pós mais finos, evidenciadas nas imagens do microscópio confocal. Com exceção dos pós mais finos (<38 µm), todos os pós de alumina esférica apresentaram boa fluidez, com escoamento contínuo, justificando o uso desse tipo de pó na maioria dos artigos recentes que envolvem o processo DED de cerâmica. A presente análise pretende motivar o estudo para fabricação e moldagem do formato de outros pós cerâmicos para adequação ao processo de manufatura aditiva por *Direct energy deposition*.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Além disso, os autores reconhecem com gratidão a ferramentaria LAREANO & SILVA LTDA (São Carlos – SP) pelos serviços de usinagem prestados.

6. REFERÊNCIAS

- Balla, V. K.; Bose, S.; Bandyopadhyay, A., 2008. "Processing of bulk alumina ceramics using laser engineered net shaping". *International Journal of Applied Ceramic Technology*, vol. 5, n. 3, p. 234–242.
- Deckers, J.; Vleugels, J.; Kruth, J. P., 2014. "Additive manufacturing of ceramics: A review". *Journal of Ceramic Science and Technology*, vol. 5, n. 4, p. 245–260.
- Griffith, M. L. et al., 1996. "Free Form Fabrication of Metallic Components Using Laser Engineered Net Shaping (LENS)". In *Proceedings of the 7th Solid Freeform Fabrication Symposium*, p. 125–132.
- ISO/ASTM 52900, 2015 "Additive manufacturing -- General principles -- Terminology".
- ISO 14629, 2012. "Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) -- Determination of flowability of ceramic powders".
- Jeantette, F. P. et al., 1996. "Method and system for producing complex-shape objects". Patente Americana US 6 046 426.
- Ngo, T. D. et al., 2018. "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges". *Composites Part B: Engineering*, vol. 143, n. December 2017, p. 172–196.
- Niu, F. et al., 2016. "Rapid Fabrication of Eutectic Ceramic Structures by Laser Engineered Net Shaping". *Procedia CIRP*, v. 42, n. Isem Xviii, p. 91–95.
- Niu, F. et al., 2018 "Microstructure and macro properties of Al₂O₃ceramics prepared by laser engineered net shaping". *Ceramics International*, vol. 40, p. 14303–14310.
- Sutton, A. T. et al., 2016. "Powders For Additive Manufacturing Processes: Characterization Techniques And Effects On Part Properties". In *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An additive Manufacturing Conference*.
- Zheng, B. et al., 2010. "The influence of Ni-coated TiC on laser-deposited IN625 metal matrix composites". *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, vol. 41, n. 3, p. 568–573.
- Zhou, P. et al., 2018. "Development of SiC/PVB composite powders for selective laser sintering additive manufacturing of SiC". *Materials*, vol. 11, n. 10.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

FLOWABILITY OF CERAMIC RAW MATERIAL FOR DED ADDITIVE MANUFACTURING

Italo Leite de Camargo

Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo - IFSP. Primeiro de Maio, 500. Itaquaquecetuba, SP, Brasil
São Carlos School of Engineering – University of São Paulo – USP. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP. Brasil
Italo.camargo@ifsp.edu.br

Rogério Erbereli

Carlos Alberto Fortulan

São Carlos School of Engineering – University of São Paulo – USP. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP. Brasil
rogerio.erbereli@usp.br
fortulan@usp.br

Abstract. *Although additive manufacturing is attractive for fabrication of small-scale ceramic components, there is little supply of adequate raw material, mainly concerning Direct energy deposition (DED), process that can provide dense ceramic parts with no need for sintering (time-consuming and expensive). This manuscript aims to investigate the effects of morphology and particle size on the flowability of ceramic powders, since good flowability is one of the main requirements for suitability for the DED process. Electro-fused and spherical alumina powder, divided into different granulometry, had their flowability measured according to standard ISO 14629 and morphology analyzed with the aid of a confocal microscope. The electro-fused alumina powders with non-rounded geometry and high agglomeration capacity of the finer powders performed poorly on the flowability tests. On the other hand, the spherical alumina powders showed good flowability, with the exception of those with exclusively finer granulometry (<38 μm), indicating its potential in the DED process.*

Keywords: *Direct energy deposition, Flowability, Additive Manufacturing, Granulometry*

RESPONSIBILITY NOTICE

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