

PLANO DE TRABALHO

Caracterização de materiais para otimização do processo de deposição de metais com energia direcionada (DED)

SOLICITAÇÃO DE BOLSA PIBITI INSPER 2019

Aluno: **Ana Beatriz Bertolucci Henriques**

Orientador: **Prof. Raphael Galdino dos Santos**

1. Introdução

A manufatura híbrida (*Hybrid Manufacturing – HM*) tem se destacado como uma tecnologia emergente para a fabricação de peças com alta complexidade geométrica [1]. Ela representa a união da usinagem com a manufatura aditiva (*Additive Manufacturing – AM*) e, desta forma, combina as vantagens de cada técnica.

A AM se caracteriza por produzir peças de alta complexidade geométrica com menor perda de material do que a usinagem. No entanto, é um processo lento e que resulta em um acabamento superficial de baixa qualidade. Esse acabamento é resultado da sobreposição de camadas com diferentes taxas de resfriamento, que causa um efeito de “escada” e acarreta em imprecisão da geometria.

A usinagem, em contraposição, apresenta um baixo tempo de ciclo, alta repetibilidade e ótimo acabamento superficial. No entanto, o volume de matéria-prima necessária é elevada, pois até 98% do material é removido até que seja obtida a peça final [2].

A HM permite, portanto, fabricar uma peça com alta complexidade geométrica por AM, com baixa perda de material, e o sobremetal pode ser removido em um passe de acabamento de usinagem para obter a geometria especificada no projeto [3].

Diversos métodos compõem o espectro da AM. Dentre os quais, o processo por deposição com energia direcionada (*Direct Energy Deposition – DED*) se destaca pela possibilidade de trabalhar dentro de uma máquina ferramenta convencional e pela possibilidade de utilizar uma gama de materiais como matéria-prima [4, 5, 6]. A figura 1

esquematisa o cabeçote utilizado no método que consiste em depositar o pó metálico juntamente ao laser e um gás de proteção à oxidação.

Contudo, o DED é uma tecnologia recente e, para o desenvolvimento de máquinas híbridas, é necessária uma caracterização completa das peças a serem fabricadas. Essa caracterização visa compreender quais parâmetros devem ser alterados no processo para a sua otimização.

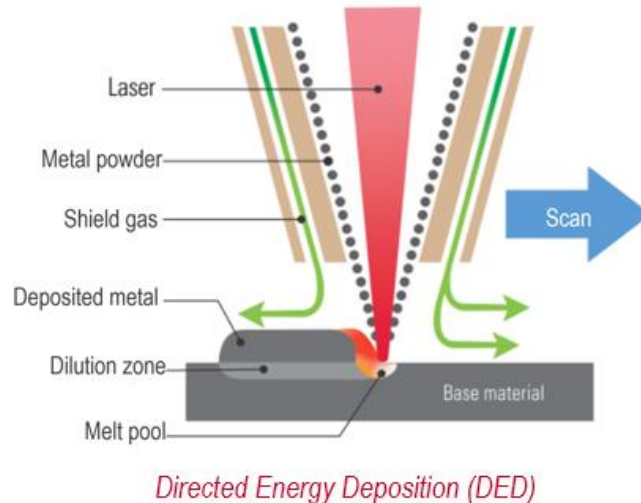


Figura 1. Esquemático da deposição de pó pelo método de energia direcionada (DED).

2. Objetivos

Este trabalho será realizado em parceria com as Indústrias Romi S.A., tendo em vista que esta possui uma máquina para HM recentemente desenvolvida. Tal máquina, foi criada a partir da plataforma ROMI DCM 620-5X, um centro de usinagem capaz de trabalhar com cinco eixos, onde foi adicionado um cabeçote laser que torna possível o processo de AM [7]. Esse centro de usinagem foi disponibilizado pelo fabricante com o intuito de gerar amostras para a pesquisa descrita. Assim, os objetivos desse trabalho são:

- Fabricar novas amostras baseadas nos resultados obtidos em estudo anterior;
- Caracterizar as peças fabricadas e propor alterações no processo de fabricação para garantir que o material depositado tenha propriedades

- Otimizar a estratégia de caracterização das peças fabricadas para verificar os parâmetros do processo de fabricação.

3. Metodologia

Os testes de deposição serão feitos com aço inoxidável 316 L, um material de grande importância na engenharia em aplicações a altas temperaturas e em casos que é necessária elevada resistência a corrosão [2]. Testes com este mesmo aço já foram realizados pelo presente grupo no último ano (2018-2 / 2019-1), os quais geraram resultados importantes para a compreensão do método de manufatura DED. Na atual proposta de trabalho, portanto, o objetivo é fabricar amostras com os mesmos parâmetros de deposição dos primeiros testes de modo a validá-los. Essa validação é necessária, não só para aumentar o espaço amostral, mas também porque uma nova máquina foi construída pela Romi com algumas modificações no projeto.

As peças serão fabricadas a partir de alterações sistemáticas de parâmetros como potência do feixe e velocidade de avanço. Com esses parâmetros para cada amostra, valores de energia depositada por unidade de área serão calculados conforme a equação 1.

$$Energia\ Depositada = \frac{Potência\ do\ Lazer}{(Vel.\ de\ Avanço) \cdot (Spot\ Size)} \quad (1)$$

A análise de qualidade das peças será realizada, portanto, em função desses valores de energia depositada. Ou seja, a otimização do processo de fabricação das peças em aço inoxidável 316 L buscará o valor de energia que gere uma peça de maior densidade possível e microestrutura equivalente ao substrato, o qual foi fabricado em mesmo material, mas por processos convencionais de manufatura.

Para avaliar o processo de deposição, a composição química, a microestrutura e as propriedades mecânicas devem ser caracterizadas. O escopo desse trabalho se limitará a verificar a composição química e microestrutura das amostras. A caracterização de propriedades mecânicas será feita em trabalho posterior, quando houver reprodutibilidade na microestrutura obtida e a porosidade for minimizada.

A porosidade e os cordões de deposição serão avaliados preliminarmente com o auxílio de lupa estereoscópica. A análise dimensional dos cordões tem a finalidade de otimizar a altura e largura destes frente a potência do laser e velocidade de avanço. Por

sua vez, a análise da porosidade, objetiva entender os efeitos e a relação entre a potência do laser e a densificação do material.

A composição química do material depositado deve ser avaliada com o intuito de determinar se não há perdas de elementos determinantes para as demais propriedades da peça. Essa perda pode ocorrer, principalmente, devido à oxidação. A análise semiquantitativa será realizada por fluorescência de raios-X (FRX) [1] e a análise de possível segregação será realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com detector de energia dispersiva de raios-X (EDS) [8]. Mediante ataque químico das amostras também será possível analisar visualmente, com auxílio da lupa estereoscópica, a microestrutura do material depositado fundido e compará-lo ao material do substrato.

As fases cristalinas do material também são determinantes para as propriedades do material. A temperatura combinada à atmosfera podem induzir a transformações de fases indesejadas [1, 8]. Para identificar as fases presentes será realizada a difração de raios-X (DRX) nas peças. Essa técnica permitirá, ainda, revelar possível anisotropia devido à extração direcional de calor.

4. Cronograma

Atividade	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Preparação das peças por deposição	■					■						
Caracterização das peças		■	■	■			■	■	■			
Ajuste de parâmetros do processo					■							
Pesquisa bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Redação de artigos e relatório				■	■					■	■	■

5. Referências bibliográficas

- [1] DU, Wei; BAI, Qian; ZHANG, Bi. **A Novel Method for Additive/Subtractive Hybrid Manufacturing of Metallic Parts**
- [2] ALLEN, Jeff. **An Investigation into the Comparative Costs of Additive Manufacture vs. Machine from Solid for Aero Engine Parts**
- [3] SHIM, Do-Sik; BAEK, Gyeong-Yun; SEO, Jin-Seon; SHIN, Gwang-Yong; KIM, Kee-Poong; LEE, Ki-Yong. **Effect of layer thickness setting on deposition characteristics in direct energy deposition (DED) process**
- [4] LIU, Junyan; WANG, Xinjian; WANG, Yang. **A complete study on satellite thruster structure (STS) manufactured by a hybrid manufacturing (HM) process with integration of additive and subtractive manufacture**
- [5] KOIKE, Ryo; ASHIDA, Ryo; YAMAZAKI, Keiichi; KAKINUMA, Yasuhiro; AOYAMA, Tojiro; ODA, Yohei; KURIYA, Tatsuhiko; FUJISHIMA, Makoto. **Graphical evaluation method for void distribution in direct energy deposition**
- [6] CAROLL, Beth E.; OTIS, Richard A.; BORGONIA, John Paul; SUH, Jong-ook; DILLON, R. Peter; SHAPIRO, Andrew A.; HOFMANN, Douglas C.; LIU, Zi-Kui; BEESE, Allison M. **Functionally graded material of 304L stainless steel and inconel 625 fabricated by directed energy deposition: Characterization and thermodynamic modeling**
- [7] Centro de usinagem DCM 620-5X HYBRID. ROMI. Disponível em: <http://www.romi.com/produtos/romi-hybrid/>>. Acesso em: 04 jun. 2018.
- [8] FUJISHIMA, Makoto; ODA, Yohei; ASHIDA, Ryo; TAKEZAWA, Kotaro; KONDO, Masaki. **Study on factors for pores and cladding shape in the deposition processes of Inconel 625 by the directed energy deposition (DED) method**