

PROPOSTA DE MODELO ANALÍTICO PARA AUXILIAR NA DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DA MANUFATURA ADITIVA DE METAIS VIA DED

Ana Cecília Reghini

Colaboradora: Kandice Suane Barros Ribeiro

Orientador: Prof. Tit. Reginaldo Teixeira Coelho

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil

anaceciliareghini@usp.br

Objetivo

Estabelecer um modelo capaz de fornecer um valor de potência aproximado para o processo de Deposição por Energia Direcionada (DED), partindo da geometria desejada da linha, da velocidade de deslocamento do cabeçote de deposição e da vazão mássica.

Métodos e Procedimentos

A energia total do processo de DED é composta pela energia destinada ao aquecimento/fusão do substrato e do pó. Cada uma dessas parcelas da energia total foi subdividida em duas: a energia necessária para aquecer o material da temperatura ambiente até sua temperatura de fusão (liquidus), e aquela destinada a fundir o material. As hipóteses adotadas no desenvolvimento analítico desse estudo foram: (i) o substrato no qual a linha será depositada deve ser grande o suficiente para ser considerado um corpo semi-infinito; e (ii) os processos de fusão e solidificação são rápidos o suficiente para que a troca de calor por convecção seja negligenciada na faixa de temperaturas na qual não ocorrem mudanças significativas na geometria da linha impressa.

Ao longo desse estudo, 72 deposições de aço inoxidável 316L, em formato de linha, foram realizadas em substrato de aço inoxidável 316L. Considerou-se três níveis de vazão mássica (\dot{m}): 6,4 g/min, 8 g/min e 10 g/min; quatro níveis de velocidade de avanço (V_f), que variou de 400 mm/min a 700 mm/min com incremento de 100 mm/min; e seis níveis de potência de laser (P_{real}), indo de 500 W a 750 W com incremento de 50 W. A largura (w) e altura (h) da linha, e a profundidade da poça de fusão (p) foram medidas com o auxílio do microscópio laser confocal Olympus modelo Lext OLS 4100. Para elaboração do modelo, considerou-se que a li-

nha é possui formato elíptico [1].

Com a geometria definida, as áreas da seção transversal foram calculadas e a potência necessária para aquecer uma linha da temperatura ambiente até a temperatura de fusão (P_{ls}) – calor sensível – foi calculada pela equação fundamental da calorimetria, conforme apresenta a Eq. 1, na qual ρ_l é a densidade do aço inox 316L, c é seu calor específico e $\Delta\Theta$ é a variação de temperatura (da temperatura ambiente até a temperatura de fusão do material). A vazão mássica obtida foi utilizada para calcular a energia necessária para criar a poça de fusão (calor latente), também em termos de potência, de acordo com a Eq. 2, com L sendo o calor latente de fusão do material.

$$P_{ls} = 0.25\pi wh \cdot V_f \cdot \rho_l \cdot c \cdot \Delta\Theta \quad (1)$$

$$P_{ll} = 0.25\pi wh \cdot V_f \cdot \rho_l \cdot L \quad (2)$$

Dessa forma, a potência requerida para aquecer e fundir o pó para formar a linha (P_l) é dada pela soma de P_{ls} e P_{ll} , se desconsiderássemos as perdas. Entretanto, o pó não absorve por completo toda a energia emitida em direção a ele. A energia absorvida pode ser quantificada a partir do coeficiente de absorção (γ). Nesse estudo, o coeficiente de absorção utilizado foi de 0,53 [2].

A potência necessária para o aquecimento e fusão do substrato pode ser estimada com base na teoria de transmissão de calor por condução [3, 4]. A parcela relativa ao calor latente de fusão (P_{sL}) é calculada de forma semelhante ao realizado com a linha. Da mesma forma que no pó, quando o laser interage com o substrato, parte dele é refletida, de forma que uma parcela de sua energia não contribui para a formação da poça de fusão. [2] encontraram o valor de 0,34 para a absorção de uma superfície plana de aço inoxidável, e esse mesmo valor foi utilizado para

a obtenção dos resultados. A potência total calculada (P_{calc}), portanto, é dada pela soma da potência destinada ao pó (P_l) com a potência destinada ao substrato (P_s). Para comparar os resultados calculados com a potência utilizada em cada deposição, calculou-se o erro relativo entre esses valores, conforme formulado na Eq.3.

$$E_{rel}(\%) = \frac{P_{calc} - P_{real}}{P_{real}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Resultados

A Fig. 1 apresenta o erro teórico entre potência real e calculada analiticamente para o ensaio de deposição de linhas. No gráfico, considerando $\dot{m} = 6,4 \text{ g/min}$, observa-se que o modelo foi mais assertivo para linhas depositadas com os menores valores de P_{real} (entre 500 e 650 W, exceto quando $V_f = 700 \text{ mm/min}$).

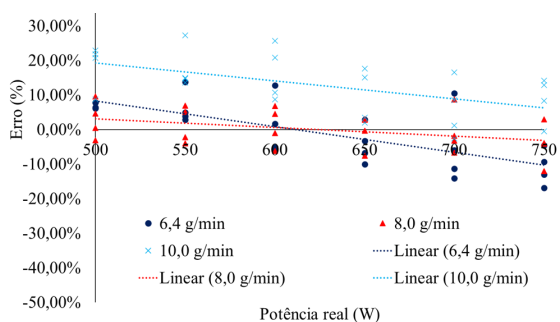


Figura 1: Erro relativo entre valores reais e calculados. Fonte: a própria autora.

Isso aponta que as perdas contabilizadas no modelo estão coerentes com o que ocorre no processo realizado nessa faixa de potência. Para $V_f = 700 \text{ mm/min}$, os valores obtidos para P_{calc} são quase todos superiores à potência realmente utilizada, indicando uma superestimativa das perdas. Isso pode se dever ao fato de, com uma maior velocidade de avanço, o tempo de exposição do material à energia do laser é menor que nos casos anteriores, mudando a dinâmica do processo.

Com $\dot{m} = 8,0 \text{ g/min}$, para $V_f = 600 \text{ mm/min}$ e $V_f = 700 \text{ mm/min}$, quase todos os valores de potência calculados foram superiores aos reais, também indicando uma superestimativa das perdas, mas de forma menos acentuada como notado para $\dot{m} = 6,4 \text{ g/min}$. Para o caso de $\dot{m} = 10,0 \text{ g/min}$, maioria dos valores de E_{rel}

obtidos foram positivos, o que aponta para uma superestimativa das perdas. Nessa perspectiva, as perdas consideradas nos cálculos do modelo possuem um limite de vazão mássica para o qual podem ser tidas como verossímeis. Assim, para $\dot{m} = 10,0 \text{ g/min}$, as perdas foram superestimadas, com a massa sendo mais efetivamente capturada pela poça de fusão, resultando em uma potência maior do que a que realmente foi empregada para realizar as deposições. Tal ocorrência pode estar relacionada à mudança das características da poça de fusão quando há a deposição de uma maior massa, já que envolve aspectos termofluídicos que não são do escopo deste trabalho.

Conclusões

Um modelo analítico fundamentado em aspectos calorimétricos do processo foi proposto e validado neste trabalho. Em cada vazão mássica, a potência calculada pelo modelo proposto apresentou comportamento crescente com o aumento da velocidade de avanço. Os resultados de potência calculados pelo modelo apresentaram menor erro para o set de experimentos com $\dot{m} = 8,0 \text{ g/min}$. Para $\dot{m} = 6,4 \text{ g/min}$ e principalmente para $\dot{m} = 10,0 \text{ g/min}$, observou-se o aumento de erro entre medidas experimentais e teóricas, indicando a superestimativa das perdas de energia.

Referências Bibliográficas

- [1] O. Nenadl, W. Kuipers, N. Koelewijn, V. Ocelík, and J. Th. M. De Hosson. A versatile model for the prediction of complex geometry in 3D direct laser deposition. *Surface and Coatings Technology*, 307:292–300, 2016.
- [2] C. Boley, S. Khairallah, and A. Rubenchik. Calculation of laser absorption by metal powders in additive manufacturing. *Applied Optics*, 54:2477, 2015.
- [3] D. R. Poirier and G. H. Geiger. *Conduction of Heat in Solids*, pages 281–327. Springer International Publishing, Cham, 2016.
- [4] H.S. Carslaw and J.C. Jaeger. *Conduction of Heat in Solids*. Oxford University Press, 1959.