

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO A LASER NO PROCESSO LMD-W UTILIZANDO IN718

Comunicação Oral – Manufatura Avançada

Autor: Elton Eduardo Fissmer^[1,2]

Orientador: Diego Alves de Miranda^[1]

Co-autores: Natália Wendt Dreveck^[2]; Osmar Custódio de Moura Filho^[2]; Henrique Nardon Ferraresi^[2]; Guilherme de Faveri^[2]; Leonardo Pereira Manske^[2]; Neander Felipe Faria Gusmão^[2]; Bruno Ruivo Fuga^[2]

UniSENAI – Campus Joinville^[1]

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura e Processamento a Laser^[2]

Eltoneduardo2013@gmail.com

RESUMO

Entende-se por manufatura aditiva um processo de fabricação no qual diversas camadas de material são depositadas de forma sobrepostas, com o objetivo de formar um objeto. Dentre os vários processos que podem ser utilizados para fabricação de peças metálicas através da manufatura aditiva, destacam-se os sistemas com Deposição de Energia Direta (*DED - Direct Energy Deposition*). Este trabalho se concentra no processo de Manufatura Aditiva por Deposição de Metal a Laser (*Laser Metal Deposition – LMD*). O material a ser depositado pode ser transferido para o substrato através da injeção de pó ou pela alimentação de um arame, permitindo que menores resoluções sejam alcançadas em comparação aos processos que utilizam arco elétrico. Em ambos os processos, devido a repetição do aquecimento e resfriamento nas camadas, ocorrem diversos ciclos térmicos durante a fabricação da peça. Estes ciclos térmicos podem gerar tensões internas e formação de trincas e outras descontinuidades mecânicas e metalúrgicas. O surgimento de defeitos em peças impressas depende do material, geometria e das variáveis de processos utilizadas. Neste contexto, o atual trabalho tem como objetivo analisar a influência de diferentes velocidades de deposição, potência do feixe laser e velocidade de alimentação de arame na largura e altura do cordão depositado. O método utilizado para esta quantificação decorreu a partir de análises metalográficas das seções transversais dos cordões. Com os resultados, espera-se obter relações entre as variáveis de processo abordadas nas características dos cordões para o processo LMD-w, contribuindo para

implementação dessa tecnologia, alavancando e atendendo as exigências e metas para aumento da competitividade da indústria nacional.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Laser Metal Deposition Wire; L-DED; Processo Industrial.

INTRODUÇÃO

Os processos de revestimento e manufatura aditiva são amplamente utilizados nos principais seguimentos industriais, por este motivo, existem vários estudos que buscam aprimorar os processos, com o objetivo de obter maior produtividade e qualidade do cordão soldado. Estes processos geram diversas alterações nos materiais, podendo gerar riscos em sua integridade. Em função das problemáticas geradas por este processo, existe uma preocupação em encontrar tecnologias que possibilitem minimizar as alterações mecânicas e metalúrgicas causas pelos ciclos térmicos que ocorrem durante o processo. Dentre as tecnologias existentes, os processos que utilizam o laser com fonte de calor apresentam excelente potencial para processos industriais, devido à suas vantagens como produtividade, capacidade de automação, baixa distorção térmica, bom acabamento do cordão de solda e zona termicamente afetada reduzida (DREVECK, 2019; ION, 2005; JEFFUS, 2011).

A deposição de metais a laser, conhecida como LMD (Laser Metal Deposition) pode ser empregada para realização de reparos em superfícies, em aplicações de revestimento e para fabricação de uma peça inteira, camada por camada. Neste processo, o laser atua como uma fonte de calor, fundindo a superfície do material de base e o metal de adição, que pode ser alimentado em forma de pó ou arame (ION, 2005; MAHAMOOD, 2017). Para os processos com alimentação de arame, também conhecimentos como LMD-w (Wire Laser Metal Deposition), a eficiência de aproveitamento do material pode chegar a aproximadamente 100% (DING et al., 2015).

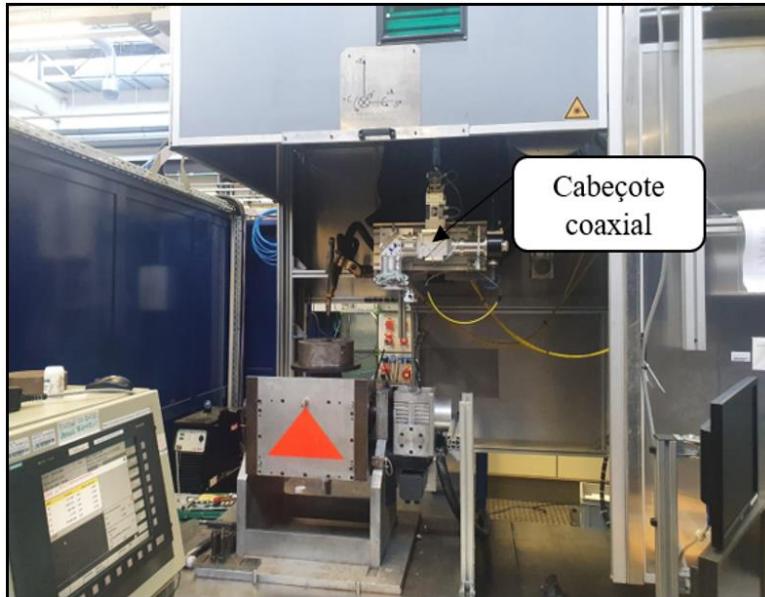
O LMD-w é uma tecnologia que possui potencial para fabricar peças de baixa e média complexidade, podendo ser empregado em uma ampla gama de materiais. Os desafios do processo estão relacionados ao acabamento superficial, à tolerância dimensional, à microestrutura e às propriedades mecânicas resultantes, onde as variáveis do processo e as características do arame possuem elevada influência (DING et al., 2015).

O presente trabalho busca avaliar a influência da velocidade de soldagem, potência do feixe laser e velocidade de alimentação do arame nas características visuais e aspectos dos cordões depositados. Desse modo, será possível analisar a influência dessas variáveis na largura e altura no cordão depositado, otimizando o processo LMD-w e novas possibilidades de aplicação industrial.

METODOLOGIA

Para realização dos ensaios, foi utilizado o equipamento com 3 eixos de movimentação apresentado na Figura 1, presente no Instituto Fraunhofer IPT, na Alemanha. Neste trabalho, foi utilizado o cabeçote coaxial, que está conectado a uma fonte laser da fabricante LaserLine, com potência máxima de 4,5 kW.

Figura 1 – Bancada utilizada para deposição dos cordões.



Como material de base foi utilizado corpos de prova de 300 x 300 mm, com 15 mm de espessura de aço estrutural S355. O metal de adição utilizado foi o IN718 com diâmetro de 1,2 mm. As composições químicas dos materiais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do arame IN718 e substrato S355 [% em peso].

Material	C	B	S	P	Si	Ti	Mn	Al	Mo	Nb	Cr	Ni	Fe
IN 718	0,05	0,005	0,015	0,015	0,35	0,65	-	0,45	2,80	4,75	17	50	Bal
S355	0,24	-	0,035	0,035	0,55	-	1,60	-	-	-	-	-	Bal

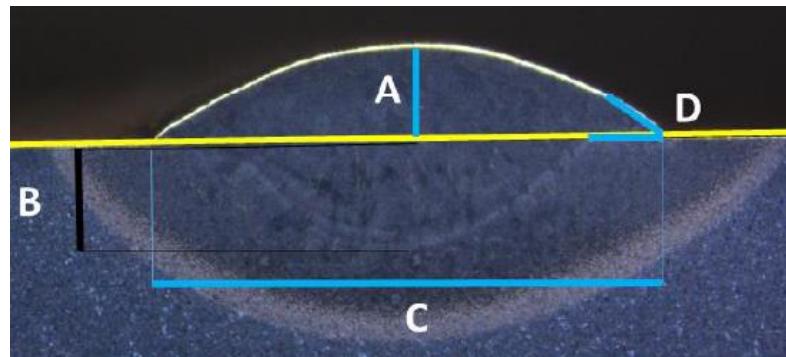
As combinações de variáveis foram selecionadas a partir de uma matriz de central composto. A Tabela 2 apresenta as combinações utilizadas, nas quais a potência do Laser (P), a velocidade de alimentação do arame (Va) e a velocidade de deposição foram variadas (Vs). Além disso, foi empregada a relação entre essas duas variáveis de velocidade (Va/Vs).

Tabela 2 – Parâmetros utilizados nos ensaios.

#	Ensaio	Potência do Laser (W)	Velocidade de alimentação do arame (mm/min)	Va/Vs	Velocidade de deposição (mm/min)
Fatoriais	1	1250	1026	1,14	900
	2	1550	1026	1,14	900
	3	1250	1134	1,14	995
	4	1550	1134	1,14	995
	5	1250	1026	1,26	814
	6	1550	1026	1,26	814
	7	1250	1134	1,26	900
	8	1550	1134	1,26	900
Axial	9	1150	1080	1,20	900
	10	1650	1080	1,20	900
	11	1400	990	1,20	825
	12	1400	1170	1,20	975
	13	1400	1080	1,10	982
	14	1400	1080	1,30	831
Central	15	1400	1080	1,20	900
	16	1400	1080	1,20	900
	17	1400	1080	1,20	900

Para a preparação metalográfica as amostras foram cortadas em seções transversais ao cordão depositado. Todo este procedimento de preparação está de acordo com o padrão estabelecido pela norma ASTM E3-95. Foi utilizado um estereoscópio Zeiss modelo Discovery V8 para registro das seções transversais e o software ImageJ para realizar as medições de altura e largura do cordão depositado. A profundidade de penetração (B) é crítica em aplicações de revestimento, onde se deseja uma baixa diluição do metal de adição. Para a manufatura aditiva o ângulo de molhabilidade (D) do cordão é de extrema importância para a qualidade do processo, enquanto que a altura (A) e a largura (C) influenciam nos valores de sobreposição entre os cordões e entre as camadas. Na Figura 2, estão exemplificadas cada uma das dimensões citadas do cordão.

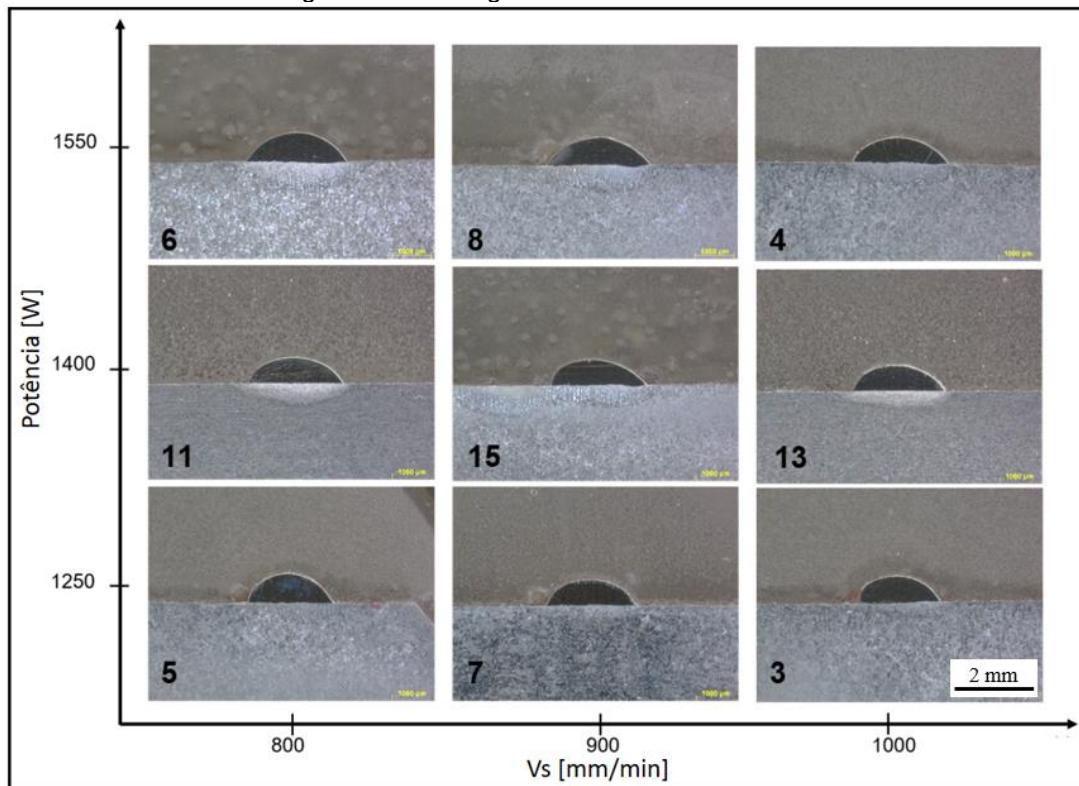
Figura 2 - Dimensões avaliadas em um cordão depositado, Sendo A a altura, B a penetração, C a largura e D a molhabilidade.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises das seções transversais dos cordões depositados apresentaram baixa diluição entre o material depositado e o material de base, conforme apresenta a Figura 3. Essa baixa diluição está diretamente ligada com os parâmetros de processamento utilizados. Além disso, observa-se que o cordão depositado 15 apresentou um aspecto diferente dos demais, com um aparente desequilíbrio, onde nota-se a maior altura levemente deslocada para o lado esquerdo.

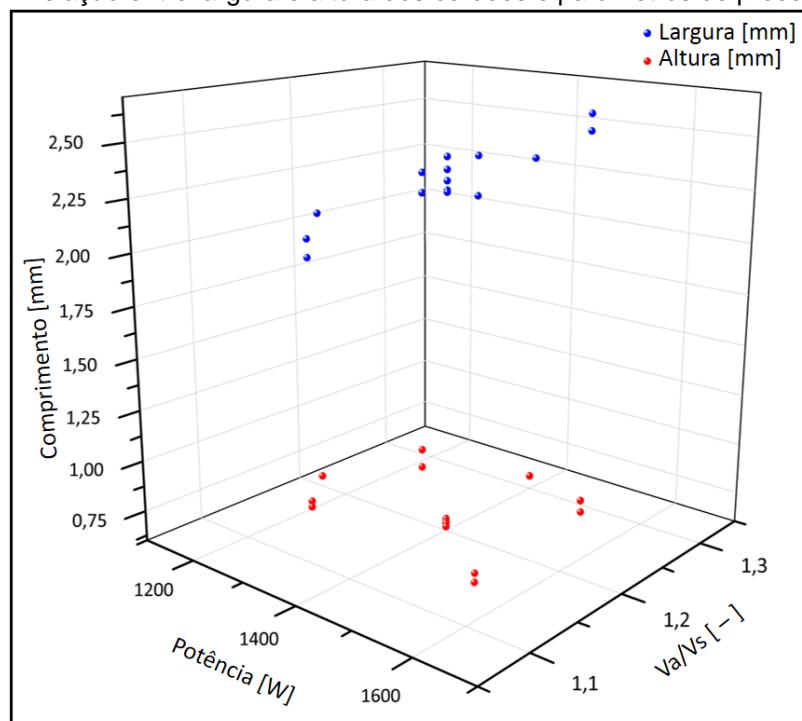
Figura 3 – Metalografia dos cordões de solda.



Os resultados das análises metalográficas estão apresentados na Figura 4. Observa-se que, com o aumento da potência do feixe laser e da relação V_a/V_s , a largura do cordão aumenta,

semelhante ao ocorrido no trabalho de Zapata *et al.*, (2022), que ao utilizar o arame AISI 316L identificou que a largura do cordão depositado aumenta ao utilizar potências mais altas e diminui com velocidades de deposição mais baixas. Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento do aporte térmico proveniente da fonte de calor, o qual, ao interagir com o material, promove uma fusão localizada mais intensa. Por outro lado, a altura do cordão não demonstrou nenhuma tendência com as alterações realizadas.

Figura 4 – Relação entre largura e altura dos cordões e parâmetros de processamento.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi avaliado a influência das variáveis de processamento do processo LMD-w nos aspectos do cordão depositado. As análises realizadas nas amostras indicaram que a influência da potência do feixe laser e da relação V_a/V_s ditam a largura do cordão depositado, de maneira que com o aumento dessas variáveis ocorre o aumento da largura do cordão. Por outro lado, essas variáveis não apresentaram alterações significativas na altura do cordão. Com os resultados foi possível obter maior conhecimento sobre o processo e suas variáveis nos aspectos morfológicos do cordão depositado.

REFERÊNCIAS

DING, Donghong; PAN, Zengxi; CUIURI, Dominic; LI, Huijun. **Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Springer London, , 2015. DOI: 10.1007/s00170-015-7077-3.

DREVECK, Natália Wendt. Avaliação do Arco Enterrado na Soldagem Híbrida Laser – GMAW e sua Aplicação em Aços TMCP. *[S. l.],* 2019.

ION, John C. **Laser Processing of Engineering Materials.** [s.l: s.n.].

JEFFUS, Larry. **Welding Principles and Applications.** [s.l: s.n.].

MAHAMOOD, Rasheedat Modupe. **Laser Metal Deposition Process of Metals, Alloys, and Composite Materials.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.springer.com/series/4604>.

ZAPATA, Avelino; BERNAUER, Christian; STADTER, Christian; KOLB, Cara G.; ZAEH, Michael F. **Investigation on the Cause-Effect Relationships between the Process Parameters and the Resulting Geometric Properties for Wire-Based Coaxial Laser Metal Deposition.** *Metals*, *[S. l.],* v. 12, n. 3, 2022. DOI: 10.3390/met12030455.