



Título: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO FEIXE INCIDENTE NA SOLDAGEM PULSADA COM LASER DE ND:YAG EM CHAPAS FINAS DE MONEL 400.

Autores: Arthur Maximo¹, Dr. Wagner de Rossi², Mauricio Ogawa¹ e Dr. Lincoln S. Gomes¹.

¹Centro de Tecnologia SENAI-RJ Solda – Rua São Francisco Xavier, 601 – Maracanã – Rio de Janeiro; CEP: 20550-011

²Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – Av. Prof. Lineu Prestes, 2.242 – Butantã – São Paulo; CEP: 05508-000

Trabalho a ser apresentado durante a Rio Welding 2014

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Introdução

O Monel 400, uma importante liga níquel-cobre, é mais resistente à corrosão do que os aços inoxidáveis. Esta característica, juntamente com a sua boa ductilidade e a facilidade de usinagem a frio, torna o Monel muito atraente para uma ampla variedade de aplicações; quase todas explorando sua resistência à corrosão em água salgada, alguns ácidos e meios alcalinos. Esta liga é utilizada nas áreas de engenharia naval, química, em equipamentos de processamento de hidrocarbonetos, válvulas, bombas, sensores e trocadores de calor. O níquel e o cobre, os principais metais constituintes da liga são menos resistentes à corrosão do que Monel 400 sob condições de redução e oxidação, respectivamente. [1]

A soldagem com sistemas de laser pulsados de Nd:YAG é caracterizado pelo aquecimento periódico da poça de fusão devido a alta densidade de potência pico proveniente do feixe laser pulsado incidente possibilitando a fusão e solidificação consecutivamente. Como sempre, devido à alta densidade de potência pico envolvida, o tempo de solidificação é menor que na soldagem com sistema de laser contínuo e nas soldas convencionais. A combinação de parâmetros do processo, tais como energia do pulso (E_p), duração do pulso (t_p), taxa de repetição (R_r), diâmetro do feixe laser incidente no material (Φ_b) e a velocidade de soldagem (v) determinam o método de soldagem, que pode ser por “condução” ou por “keyhole”. [2]

A soldagem laser vem sendo utilizada como um importante processo de manufatura. Ela pode ser utilizada tanto no modo contínuo quanto no modo pulsado [3] [4]. No processo onde se utiliza laser pulsado é possível realizar soldas de costura em lâminas finas, através da sobreposição dos pulsos. Nesse caso a velocidade de soldagem é definida pela taxa de sobreposição, taxa de repetição e diâmetro do pulso. A soldagem de sobreposição de lâminas finas apresenta problemas típicos como distorção excessiva da junta soldada, falta de contato entre as lâminas a serem soldadas (presença de um gap de ar), perfuração da junta e presença de altos níveis de tensões residuais. O processo de laser pulsado é preferido em relação ao processo por laser contínuo, pois ele possibilita um melhor controle da energia de soldagem [5] [6] [7] [8].

Ventrella et al. [9] estudou o comportamento de chapas finas de Monel 400 soldadas por um sistema de soldagem pulsada de Nd:YAG, analisando a influencia da energia por pulso.

O presente trabalho apresenta os resultados de pesquisa sobre a influência do diâmetro do feixe incidente na soldagem pulsada com laser de Nd:YAG de chapas finas de Monel 400 e como isso afeta as características do material.

Materiais e Métodos

Este estudo utilizou um sistema com um laser pulsado de Nd:YAG, cujo esquema de montagem do sistema está demonstrado na Figura 1. O feixe laser foi focalizado através de uma lente de comprimento focal de 100 mm e foram utilizadas chapas de Monel 400 com 100 µm de espessura e cortadas nas medidas de 100 x 50 mm. Os resultados experimentais foram analisados com base na relação entre o diâmetro do feixe incidente sobre as amostras e os parâmetros resultantes da variação deste, como intensidade e aporte térmico médio e a geometria dos cordões de solda e a dureza na zona fundida (ZF) e no material de base (MB).

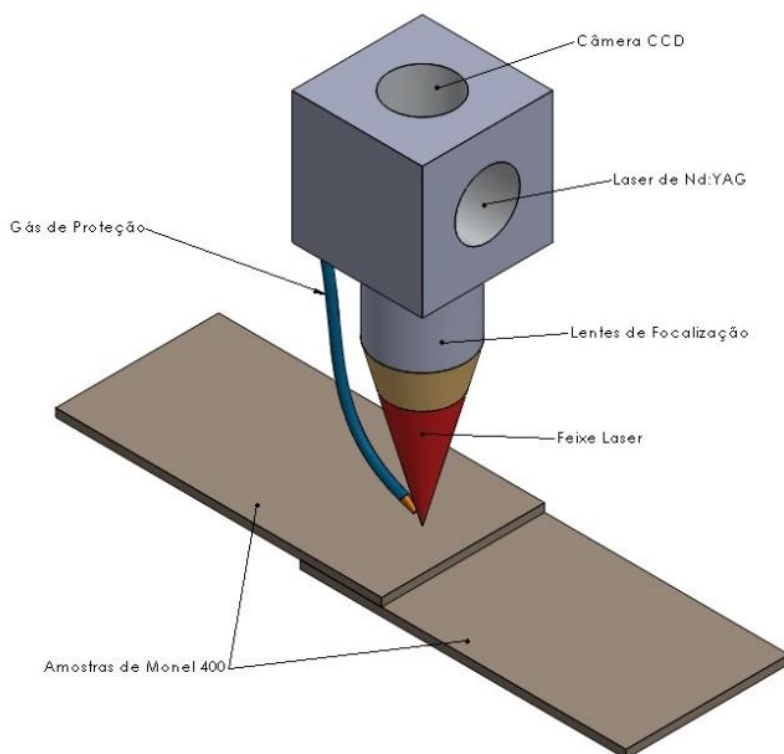


Figura 1: diagrama esquemático do sistema de soldagem por laser pulsado de Nd:YAG.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos em análise por fluorescência de raio-x para a obtenção da composição química detalhada do material. Antes da soldagem, o material foi preparado e limpo para garantir que as amostras apresentassem a mesma condição de superfície e tivessem um resultado homogêneo.

Tabela 1: composição química do Monel 400 (% em peso).

Elemento	Ni	Cu	Fe	Mn	Al	Si	S
%	73	Rem.	2,1	1,4	0,21	0,16	0,03

Para avaliar da influencia da posição focal, a soldagem foi realizada utilizando-se amostras de Monel 400 e executada em junta sobreposta. Todos os cordões de solda foram realizados com o mesmo ângulo de soldagem: 90°. Os diâmetros do feixe incidentes utilizados foram 124, 180 e 219 μm . A velocidade de soldagem (v) e a taxa de repetição (R_r) foram fixadas em 170 mm/min e 8 Hz, respectivamente. A energia de pulso (E_p) foi fixada em 4 J com uma duração de pulso (t_p) de 8 ms. Com esta configuração, o aporte térmico médio para esta soldagem foi fixado em 12 J/mm. Assim, só existiu um parâmetro a ser controlado: o diâmetro do feixe incidente. As amostras foram soldadas em uma atmosfera de argônio a uma vazão de 12 l/min. Foi utilizado gás de proteção na raiz da solda, mesmo o Monel 400 não sendo um material tendente à oxidação.

Parâmetros do laser, tais como, energia do pulso, largura temporal, taxa de repetição e velocidade são regulados diretamente no equipamento antes da soldagem. Outras variáveis são dependentes das condições do experimento. Por exemplo, o diâmetro do ponto focal d_{min} de um feixe laser com diâmetro inicial d_0 , fator de qualidade M^2 e focalizado por uma lente de comprimento focal f é dado pela Equação (1) [10]:

$$d_{min} = \frac{4M^2\lambda f}{\pi d_0} \quad \text{Equação (1)}$$

A variação deste diâmetro em relação à posição do ponto focal - Z é dada pela Equação (2) [11]:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{M^2\lambda Z}{\pi\omega_0^2}\right)^2} \quad \text{Equação (2)}$$

onde ω e ω_0 são respectivamente, o raio do feixe na posição Z e no foco, onde $\omega_0 = d_{min}$.

Na soldagem de chapas finas é extremamente importante a utilização de um dispositivo que fixe as chapas na posição de soldagem. As amostras foram soldadas em um dispositivo para garantir a fixação, evitar falta de contato entre as chapas e distorções excessivas. A disposição das chapas no dispositivo pode ser vista na Figura 2.

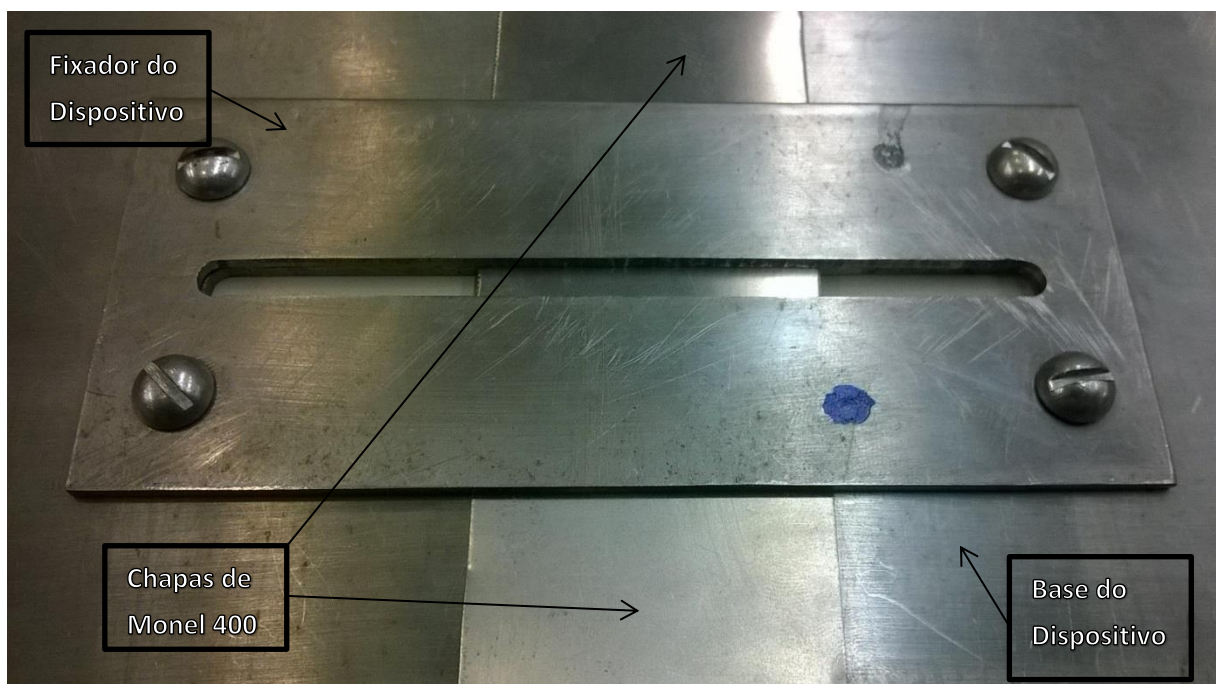


Figura 2: imagem do sistema de fixação com indicação dos componentes.

Após a soldagem, nenhuma das amostras foi submetida a tratamento térmico ou processo de usinagem e foi realizada uma preparação metalográfica da secção transversal dos cordões de solda, e posterior revelação da estrutura através de ataque químico em solução de ácido nítrico 50% e ácido acético 50%.

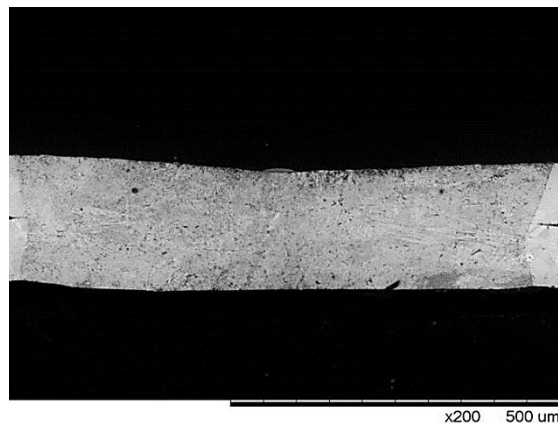
As propriedades mecânicas das juntas soldadas foram avaliadas através de ensaios de microdureza Vickers (HV10). As medidas de microdureza foram realizadas na secção

transversal da junta soldada, numa direção paralela à superfície da chapa, próximo à linha de conexão. A medição da largura dos cordões de solda foi realizada em um microscópio eletrônica de varredura (MEV) com um sistema de análise de imagens.

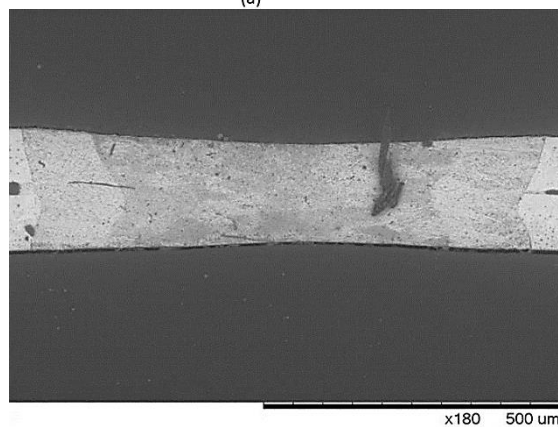
Resultados e Discussões

A Figura 3 mostra macrografias da secção transversal das juntas sobrepostas soldadas com laser pulsado com diferentes diâmetros de feixe incidentes (Φ_b). Observa-se que em todos os cordões apresentaram penetração total. Observa-se uma baixa concavidade na superfície, devido ao baixo gap entre as chapas, o que já havia sido observado por Kawahito et al. [12], quando seus estudos indicam que quanto maior o gap entre os elementos a ser soldado, maior será a concavidade na superfície do cordão de solda, desde que o metal líquido tenha tempo suficiente para preencher a região do gap, fato que ocorreu com essas amostras. Isto ao fato de que o gap entre as chapas podem atuar como um concentrador de tensões na região da linha de conexão.

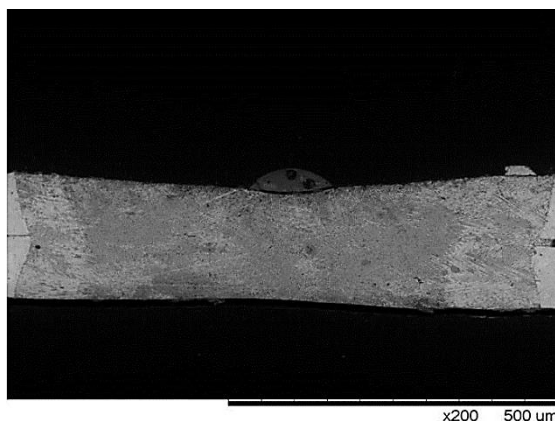
Observa-se uma concavidade na lateral dos cordões de solda, o que ocorre devido a sensibilidade do processo a presença de gaps, o que dificulta a transferência de calor entre a chapas de baixas espessuras.



(a)



(b)



(c)

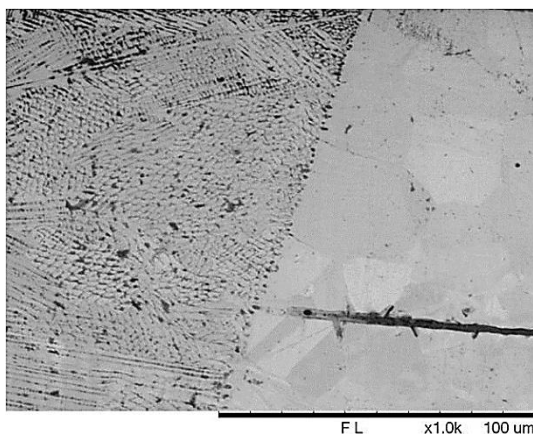
Figura 3: seção transversal das juntas soldadas com diferentes diâmetros de feixe incidentes (Φ_b). a) 219 μm , b) 180 μm e c) 124 μm .

Como pode ser observado na Tabela 2, os cordões apresentaram larguras próximas umas das outras, mesmo com uma variação grande na intensidade e no diâmetro do feixe incidente. A dureza do material apresentou um pequeno aumento no intervalo de intensidade estudado.

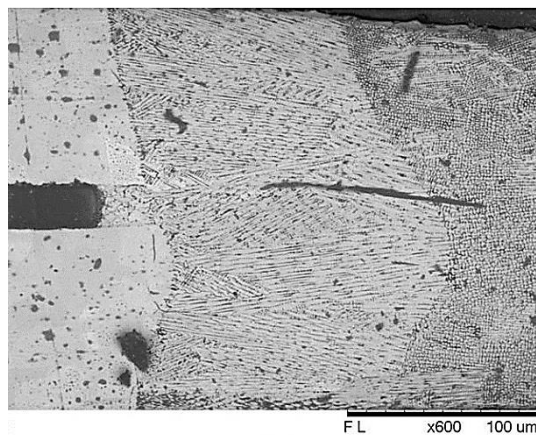
Tabela 2: dados obtidos para cada amostra.

	Diâmetro incidente (μm)	Largura do cordão (mm)	Intensidade (MW/cm^2)	Dureza média na ZF (HV)	Dureza média no MB (HV)
Amostra 1	219	0,801	13,3	190	178
Amostra 2	180	0,829	19,7		
Amostra 3	124	0,812	41,4		

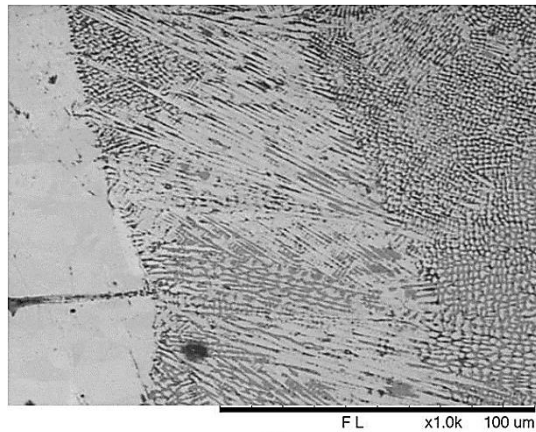
A Figura 3 mostra microestruturas típicas da junta soldada da liga de níquel Monel 400, onde pode ser visto o metal base não fundido agindo como substrato para a nucleação dos grãos colunares da zona de fusão, caracterizando o crescimento epitaxial. Nesse caso os grãos são perpendiculares à linha de fusão. Comparando-se a soldagem de lâminas finas com a soldagem de lâminas espessas, pode-se concluir que os grãos se tornam mais grosseiros à medida que a espessura do metal base diminui.



(a)



(b)



(c)

Figura 4: microestrutura típica da ZF e do MB das juntas soldadas com diferentes diâmetros de feixe incidentes (Φ_b). a) 219 μm , b) 180 μm e c) 124 μm .

Conclusões

Como já havia sido observado em outros estudos a soldagem a laser de chapas de 100 μm é possível e muitas vezes oferece mais vantagens do que outros processos convencionais, devido às suas características como alta intensidade e baixo aporte térmico [7] [8] [9]. Este estudo demonstrou que o diâmetro do feixe incidente não apresenta alta influência sobre a geometria do cordão, dureza e microestrutura; o diâmetro do feixe incidente deve sofrer uma variação drástica para apresentar influência significativa, mesmo para chapas finas. As três juntas soldadas apresentaram penetração total, baixa distorção e ausência de descontinuidades. Foi observada uma altíssima sensibilidade da geometria do cordão de solda à presença e ao tamanho do gap entre as chapas. A dureza não apresentou uma diferença muito grande entre a ZF e o MB.

Referências Bibliográficas

- [1] Singh, V.B., Gupta, A. “The electrochemical corrosion and passivation behavior of Monel 400 in concentrated acids and their mixtures”, páginas 1433-1442, Journal of Materials Science, Jul (2001).
- [2] Ventrella, V. A., Berretta, J. R., de Rossi, W. “Micro Welding of Ni-based Alloy Monel 400 Thin Foil by Pulsed Nd:YAG laser”, Physics Procedia, v. 12, páginas 350 – 357, 2011.
- [3] Gillner, A., Holtkamp, J., Hartmann, C., Olowinsky, A., Gedicke, J., Klages, K., Bosse, L., Bayer, A., “Laser Applications in Microtechnology”, Journal of Materials Processing Technology 167, páginas 494-498, 2005.
- [4] Abe, N., Funada, Y., Imanada, T., Tsukamoto, M., “Microwelding of Thin Stainless Steel Foil with a Direct Diode Laser”, Transaction of JWRI, Vol. 34, páginas 19-23, 2005.
- [5] Tolinski, M., “Lasers Seal the Deal in Medical”, Manufacturing Engineering, Vol. 140, páginas 14-20, 2008.
- [6] Ion, J.C., “Laser Processing of Engineering Materials”, Ed. Elsevier, Reino Unido, página 556, 2005.
- [7] Duley, W.W., “Laser Welding”, Ed. John Wiley & Sons, Estados Unidos, página 251, 1999.
- [8] Steen, W.M., 2005, “Laser Material Processing”, Ed. Springer, Estados Unidos, página 408, 2005.
- [9] Ventrella, V. A., Berretta, J. R., de Rossi, W. “Microsoldagem Laser Nd:YAG Pulsado de Lâminas Finas da Superliga Monel 400”, 19º Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Campos do Jordão, SP, Nov (2011).
- [10] Johnston Jr., T.F., “ M^2 Concept Characterizes Beam Quality”; Laser Focus World, páginas 173-183, 1990.
- [11] Hall, D., “The Physics and Technology of Laser Resonators”, Ed. Taylor & Francis, Estados Unidos, 1989.
- [12] Kawahito, Y., Kito, M. e Katayama, S., “In-process Monitoring and Adaptive Control for gap in Micro butt Welding with Pulsed YAG Laser”, Journal of Applied Physics, Vol.40, páginas 183-190, 2007.