

## SOLDAGEM DO AÇO SUPERDUPLEX UNS S32750 COM LASER PULSADO Nd:YAG

O. D. Francini, G. G. Andrade, M. S. Clemente, J. Gallego, V. A. Ventrella  
UNESP Departamento de Engenharia Mecânica, [ventrella@dem.feis.unesp.br](mailto:ventrella@dem.feis.unesp.br),  
Av. Brasil Centro 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira – SP, Brasil.

### RESUMO

*O laser é uma ferramenta flexível e poderosa com muitas aplicações relevantes na indústria, principalmente na área de soldagem. Os lasers de hoje fornecem à indústria de soldagem soluções técnicas a muitos problemas. O presente trabalho estudou o metal de solda obtido por soldagem laser pulsado de Nd:YAG do aço inoxidável Super Duplex UNS S32750 empregado na indústria de petróleo e gás natural, analisando a influência da alta taxa de resfriamento, decorrente do processo laser, no balanço de fases ferrita/austenita. Foram realizados cordões de solda em juntas de topo com diferentes taxas de repetição. As diferentes microestruturas obtidas foram caracterizadas por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que o efeito da variação da energia do pulso de soldagem laser Nd:YAG sobre as frações volumétricas das fases ferrita/austenita no metal de solda foi baixo, ocorrendo uma ferritização do mesmo, entretanto um ligeiro aumento da fração volumétrica da austenita foi observado.*

Palavras-chave: Soldagem laser, Nd:YAG, aço super duplex, UNS S32750.

### INTRODUÇÃO

O uso do laser na indústria moderna vem crescendo rapidamente, pois o laser é uma ferramenta poderosa em muitas áreas, como a da soldagem. As propriedades da coerência espacial e a alta radiança da luz laser são as bases de suas vantagens sobre métodos tradicionais de processamento de materiais <sup>(1)</sup>. A coerência espacial permite a focalização da luz em um ponto muito pequeno, fornecendo uma

densidade de radiação localizada e extremamente alta. Através do controle da carga térmica fornecida a um dado material, podemos obter praticamente qualquer regime dependente do tempo na área afetada. Isto dá ao laser uma incrível versatilidade em tantas aplicações distintas. Comparando o laser com tecnologias clássicas, o mesmo ainda vem sendo utilizado em lotes de peças pequeno, embora tem se observado um aumento na demanda por produtos de diferentes materiais e geometrias (2, 3, 4).

O setor de Petróleo e Gás Natural está revestindo ou substituindo componentes de aços inoxidáveis austeníticos convencionais (316L) por aços inoxidáveis austeníticos com maior teor de Molibdênio (317L) ou por aços inoxidáveis duplex e superduplex. Essas operações são baseadas principalmente em resultados de ensaios de corrosão realizados nestes materiais através de laboratórios de pesquisa em todo o mundo. Nesse contexto, a soldagem tem papel de destaque, pois é o principal método de fabricação empregado.

Os aços duplex possuem duas fases distintas e bem definidas: austenita e ferrita formando, portanto uma microestrutura bifásica, composta por uma matriz ferrítica e ilhas de austenita, com frações volumétricas aproximadamente iguais dessas fases, isto é, 50% de ferrita e 50% de austenita (5, 6). As propriedades mecânicas desses aços são determinadas predominantemente pela relação austenita/ferrita e pela precipitação de compostos intermetálicos durante o processamento, associados aos elementos como Nb, Cr, Mo, Si, W e Cu, que reduz drasticamente os valores da ductilidade e a resistência ao impacto. Dentre os intermetálicos, as fases de Laves destaca-se como uma fase que produz acentuada fragilidade aos aços, principalmente quando o Nb está presente<sup>(7)</sup>.

No presente trabalho foi realizada uma análise sobre o uso do laser de Nd:YAG, no modo pulsado, em soldagem de chapas de aço inoxidável super duplex UNS S32750, com 1,5 mm de espessura. Foi estudado o efeito da energia de soldagem nas características do cordão de solda.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho de pesquisa foi realizado utilizando um sistema laser de Nd:YAG na condição pulsado, cujo arranjo experimental é mostrado na Fig. 1.

O metal base utilizado neste estudo foi o aço inoxidável super duplex UNS S32750, na forma de chapas com 1,5 mm de espessura. As amostras foram cortadas na dimensão 50 mm x 120 mm. A composição química do metal base é mostrada na Tab. 1. Os resultados experimentais foram analisados com base na relação entre taxa de repetição do pulso, geometria do cordão de solda, microestrutura e presença de descontinuidades. As amostras foram preparadas e limpas para garantir a mesma condição superficial das chapas e um acabamento homogêneo.



Fig.1 Sistema de laser pulsado de Nd:YAG modelo UW 150A.

Tab.1 Composição química analisada (% em peso) do aço inoxidável UNS S32750.

| Elem.  | C     | Cr    | Ni   | Mo   | Co   | Mn   | P    | S     |
|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Teor % | 0,017 | 22,52 | 5,73 | 3,18 | 0,10 | 1,54 | 1,50 | 0,001 |

Para avaliar a influência do aporte térmico, as chapas foram posicionadas em junta de topo, sem abertura de raiz. Foram realizados pré-testes para estabelecer os parâmetros. Elas foram soldadas com feixe de diâmetro de 0,2 mm e ângulo de 90°. A energia do pulso ( $E_p$ ) foi mantida fixa em 10J, potencia de pico de 2 kW, largura temporal ( $t_p$ ) de 5 ms, velocidade de soldagem ( $v$ ) 1,0 mm/s, profundidade de penetração de 1,07 mm e frequência variável. Dessa maneira, obtiveram-se

amostras com taxa de sobreposição de 40, 50, 60, 70, 80, e 90 %. A soldagem é autógena e foi realizada dos dois lados com o intuito de obter maior penetração. Os parâmetros de soldagem laser utilizados no presente trabalho estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros de soldagem laser Nd:YAG pulsada.

| Amostra | Potência de Pico [kW] | Largura temporal [ms] | Energia do Pulso [J] | Velocidade Soldagem [mm/s] | Taxa de sobreposição [%] | Frequência [Hz] | Aporte Térmico [kJ/mm] |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|
| LS40    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 40                       | 1,5             | 0,15                   |
| LS50    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 50                       | 1,8             | 0,18                   |
| LS60    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 60                       | 2,2             | 0,22                   |
| LS70    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 70                       | 3,0             | 0,30                   |
| LS80    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 80                       | 4,5             | 0,45                   |
| LS90    | 2                     | 5                     | 10                   | 1,0                        | 90                       | 9,0             | 0,90                   |

As amostras foram soldadas em uma atmosfera de gás argônio utilizando-se um fluxo de 20 l/min. Não foi utilizada proteção de argônio na raiz da solda. Posteriormente, foi realizada uma preparação metalográfica da secção transversal do cordão de solda, através de corte, lixamento e polimento das amostras.

As imagens macrográficas utilizadas para a verificação da geometria do cordão de solda e presença de descontinuidades foram feitas em um estereomicroscópio da marca ZEISS, modelo DISCOVERY V.8, acoplado a uma câmera AXIOCAM ERC5S, pertencente ao Laboratório de Microscopia Ótica da FEIS/UNESP.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 traz a imagem de cada cordão de solda utilizada para medição da profundidade. Verifica-se a tendência de que quanto maior o tempo de pulso e potência de pico, maior é o aumento da penetração de soldagem, cordões realizados com potência 0,5 kW produziram cordões de solda rasos e mais estreitos do que aqueles realizados com potências maiores (1,0 e 2,0 kW).

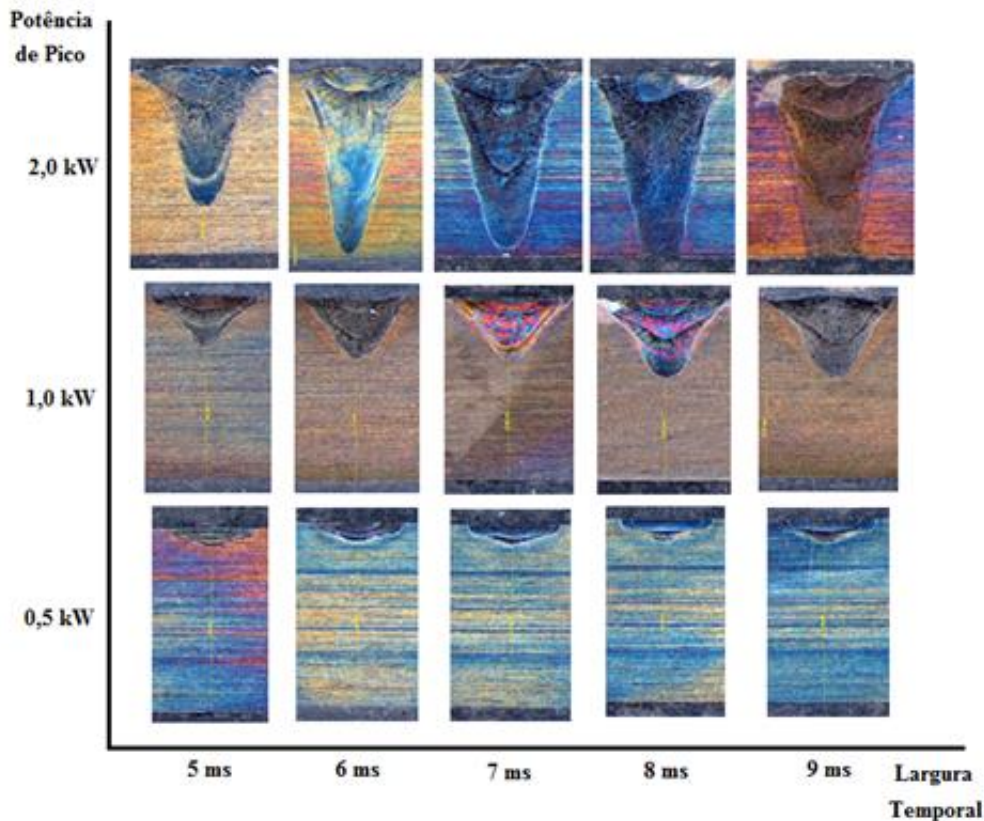


Figura 2 Potência de Pico [kW] x Largura temporal [ms].

Após a execução da soldagem com diversos parâmetros foi determinado que a potência de pico e largura temporal a ser utilizada será respectivamente de 2 kW e 5 ms, pois apresentou superfície regular e profundidade de 1,07 mm, profundidade esta que ultrapassa 50% da espessura da chapa, permitindo assim a soldagem dos dois lados.

A Figura 3 mostra os cordões de solda com sobreposição dos pulsos conforme parâmetros apresentado na tabela 2, onde as faces foram retificadas para garantir um contato perfeito, isto é, abertura de raiz zero. Além disso, podemos observar em todas as condições, utilizando a potência de pico e largura temporal fixa de 2 kW e 5 ms respectivamente, a obtenção de superfícies regulares e homogêneas, praticamente sem respingos.

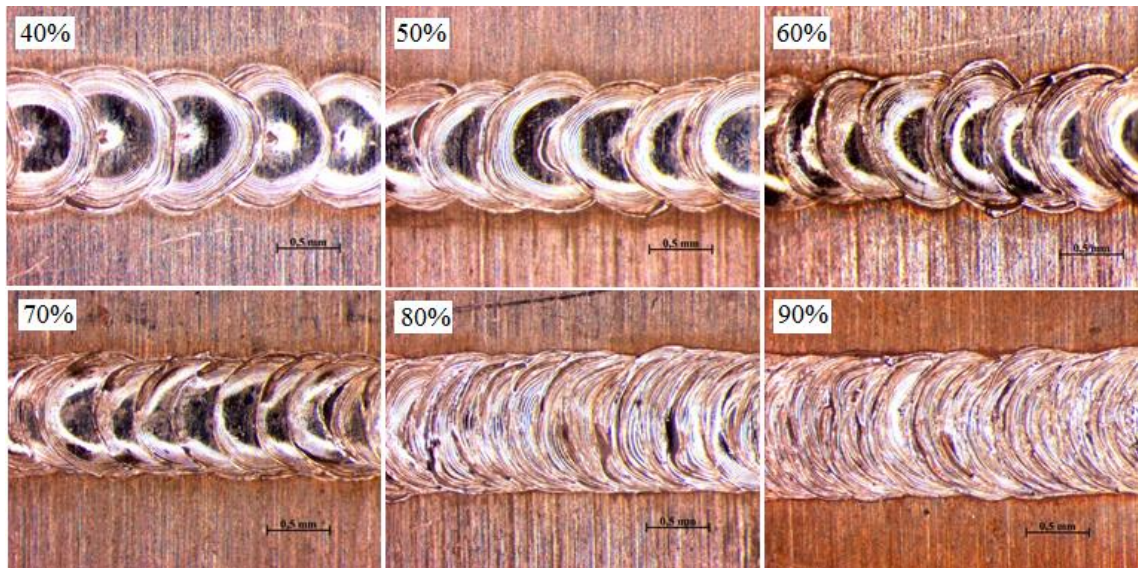


Figura 3 Vista superior dos cordões de solda com sobreposição de: 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90%.

A Figura 4a mostra uma micrografia da direção de laminação do aço inoxidável duplex UNS S32750 utilizada no cálculo do balanço de fases ferrita/austenita do metal base. A Figura 4b mostra uma macrografia do cordão de solda. O ataque utilizado nessa etapa foi o Behara que tem por característica a revelação das fases ferrita e austenita, deixando a austenita mais clara e a ferrita mais escura. Foi utilizado o software “Image J” para quantificar em porcentagem as fases ferrita e austenita.

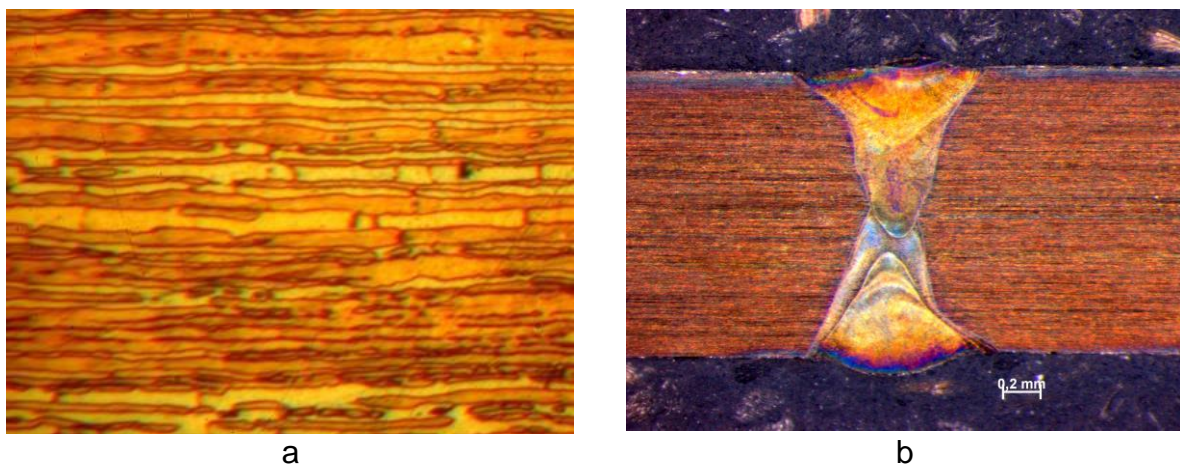


Figura 4. Micrografia na direção de laminação do aço inoxidável duplex UNS S32750 (a) e macrografia da junta de topo (b). Microscopia Ótica.

Em relação às análises microestruturais, observou-se que não houve grandes alterações na fração volumétrica das fases ferrita e austenita do cordão de solda em relação à variação da taxa de sobreposição e conseqüentemente do aporte térmico.

As Figuras 5a e 5b mostram micrografias obtida no MEV do cordão de solda da amostra soldada com taxa de sobreposição de 90%. Essa amostra é bem representativa das micrografias obtidas, isto é, houve uma grande concentração de austenita (região clara) na linha de fusão e o restante na região do contorno de grão do metal de solda. A Tabela 3 mostra a variação da fração volumétrica de austenita no metal de solda.

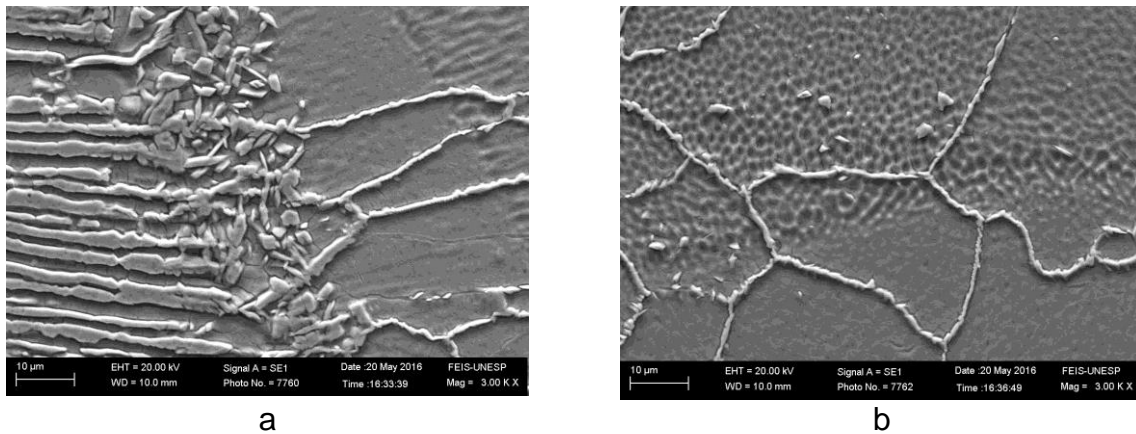


Fig.5 Micrografias da zona de ligação (a) e da zona de fusão (b). Microscopia Eletrônica de Varredura.

Tabela 3: Fração volumétrica de austenita [%] no metal de solda.

|             | Taxa de sobreposição |      |      |      |      |      |
|-------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|             | 40 %                 | 50 % | 60 % | 70 % | 80 % | 90 % |
| % austenita | 4,8                  | 4,9  | 5,4  | 6,5  | 6,5  | 7,3  |

A figura 6 mostra o perfil de microdureza Vickers da amostra obtida com taxa de sobreposição de 90%, onde observa-se uma maior dureza do metal de solda devido a maior fração volumétrica de ferrita no metal de solda em relação ao metal base.

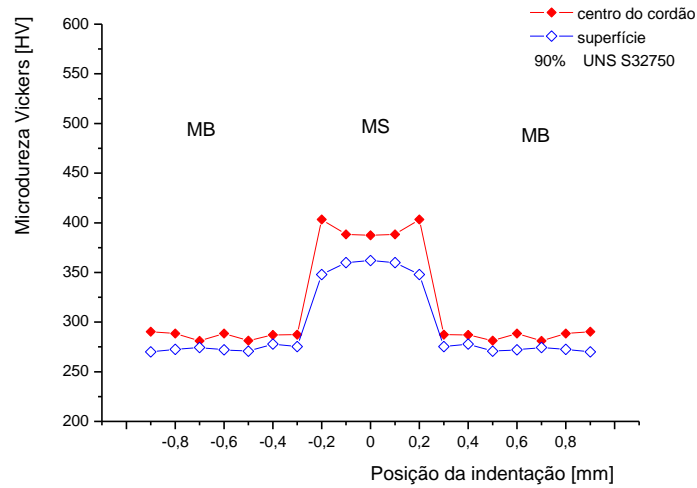


Figura 6 Perfil de microdureza Vickers da junta soldada com taxa de sobreposição de 90%.

A Figura 7 mostra o difratograma da medida de raios X do aço inoxidável superduplex UNS S 32750, na condição metal base e metal de solda. Neste difratograma estão indexadas as fases presentes. Podemos observar que no metal base existem picos de ferrita e austenita. Entretanto, no difratograma do metal de solda observa-se basicamente a presença de picos de ferrita e pequenos picos de austenita, o que comprava a ferritização do mesmo com pequena fração volumétrica de austenita.

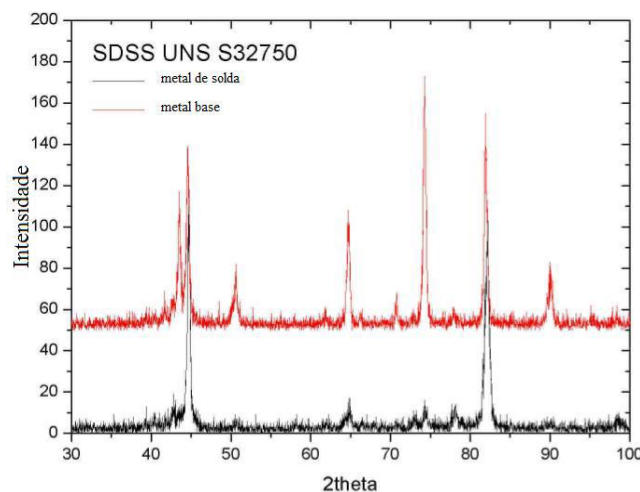


Figura 7 Difratograma de Raio X. no metal base e no metal de solda.



## CONCLUSÕES

- A alta taxa de resfriamento do processo de soldagem laser resulta na ferritização do metal de solda.
- Ocorreu uma tendência de aumento na fração volumétrica da austenita com o aumento da taxa de sobreposição do laser.
- A austenita formada no metal de solda encontra-se na região do contorno de grão.
- Ocorreu aumento da dureza no metal de solda em função do alto teor de ferrita.
- Não foi identificada a presença de fases frágeis no metal de solda.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro da FAPESP\_Proc\_14/16932-2.

## REFERÊNCIAS

1. GILNER, A., HOLTKAMP, J., HARTMANN, C., OLOWINSKY, A., GEDICKE, J., KLAGES, K., BOSSE, L., BAYER, A., 2005, Laser applications in microtechnology, Journal of Materials Processing Technology 167, pp.494-498.
2. ION, J.C., 2005, "Laser Processing Materials", Ed. Elsevier, UK, 556p.
3. STEEN, W.M., 2005, "Laser Material Processing", Springer, USA, 408 p.
4. DULEY, W.W., 1999, "Laser Welding", Ed. John Wiley&Sons, USA, 251p.
5. KU, J.S.; HO, N.J.; TJONG, S.C. Properties of electron beam welded SAF 2205 duplex stainless steel. Journal of Materials Processing Technology, 63, 1997, pp. 770-775.
6. ZAMBON, A.; BONOLLO, F. Rapid solidification in laser welding of stainless Steels, Materials Science and Engineering A, 178, 1994, pp. 203-207.
7. MATHUPANDI, V.; SRINIVASAN, P.B.; SHANKAR, S.K.; SUNDARESAN, S. Effect of nickel and nitrogen addition on the microstructure and mechanical properties of power beam processed duplex stainless steel (UNS 31805) weld metals. 59, 2005, pp. 2305-2309.

## UNS S32750 SUPERDUPLEX STEEL WELDING USING PULSED Nd:YAG LASER

### ABSTRACT

*Laser is a flexible and powerful tool with many relevant applications in industry, mainly in the welding area. Lasers today provide the welding industry technical solutions to many problems. This work studied the weld metal obtained by pulsed laser welding of Nd: YAG super duplex stainless steel UNS S32750 employed in the oil and natural gas, analyzing the influence of high cooling rate, due to the laser process, the swing phase ferrite / austenite. Were performed weld beads in butt joint with different repetition rates. The different microstructures were obtained by optical microscopy and scanning electron microscopy. The results showed that the effect of varying the welding energy of Nd: YAG laser on the volume fractions of the phases ferrite/austenite in the weld metal was its ferritization and low austenite amount on the grain boundary.*

Key-words: Laser welding, Nd:YAG, super duplex steel, UNS S32750.