

APLICAÇÃO DE LASER PULSADO Nd:YAG NAS SOLDAGENS AUTÓGENA E COM ADIÇÃO DE NÍQUEL EM AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX UNS S32750

Eli Jorge da Cruz Junior

IFSP Campus Votuporanga, Av. Jerônimo Figueira da Costa, 3014 Pozzobon, 15503110 Votuporanga.
dacruz.eli@ifsp.edu.br

Vicente Afonso Ventrella

FEIS UNESP, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Brasil, 56 Centro, 15385000 Ilha Solteira.
vicente.ventrella@unesp.br

Resumo. Os aços inoxidáveis duplex (AID) possuem uma microestrutura bifásica com proporções iguais de austenita e ferrita, o que lhes confere excelente resistência mecânica e resistência à corrosão em comparação com os aços inoxidáveis austeníticos. A soldagem por laser pulsado Nd: YAG afeta a microestrutura dos AID resultando em uma microestrutura desbalanceada, o que compromete suas propriedades. Como forma de se obter uma microestrutura balanceada, tem-se a adição de elementos formadores de austenita, como níquel ou nitrogênio. O presente trabalho estudou o efeito da adição de níquel na microestrutura e microdureza do aço inoxidável duplex UNS S32750 soldado por laser pulsado Nd: YAG. Duas condições foram utilizadas: soldagem autógena e com adição de níquel (folha de níquel eletrolítico com 30 μ m de espessura colocada na superfície de contato da junta de solda). A adição de níquel afetou tanto a microestrutura quanto a microdureza resultando em proporções iguais de austenita e ferrita no cordão de solda e redução da microdureza em relação à soldagem autógena.

Palavras chave: Microestrutura, Microdureza, Soldagem a laser, Adição de níquel, aços inoxidáveis duplex.

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex (AID) possuem uma microestrutura bifásica, com frações volumétricas iguais de ferrita e austenita, o que lhes confere excelente resistência mecânica e a corrosão em comparação aos aços inoxidáveis austeníticos (Ramkumar, K.D. et al., 2014; Zhang, Z. et al., 2017). Em função de suas excelentes propriedades esses aços possuem uma vasta gama de aplicações nas indústrias petroquímicas, química, papel e celulose, petróleo e gás, indústria offshore e transporte marítimo (Saravan, S. et al., 2017).

Em geral quando submetidos a processos de soldagem os aços inoxidáveis duplex apresentam uma microestrutura desbalanceada predominantemente ferrítica, o que compromete suas propriedades (Than, H. et al., 2012). O processo de soldagem por laser pulsado Nd: YAG oferece algumas vantagens em relação aos processos convencionais, como precisão no processo, capacidade de soldar formas complexas, tempo de ciclo curto e baixo aquecimento de entrada. No entanto, o baixo aquecimento de entrada e as altas taxas de resfriamento, típicas do processo, favorecem a formação de ferrita, resultando em uma microestrutura desbalanceada (Saravan et al., 2017). Como forma de se obter uma microestrutura balanceada tem-se a utilização de tratamento térmico após a soldagem ou adição de elementos formadores de austenita, como o níquel ou nitrogênio.

Alguns autores estudaram efeitos da adição níquel e do nitrogênio no balanço de fases para determinados processo de soldagem (GTAW, EBW, PAW) (Muthupandi, V. et al., 2005; Migikakis e Papadimitriou, 2009; Pilhagen e Sandström, 2014; Tahaei, A. et al., 2016; Zhang, Z. et al., 2017), porém relacionados ao processo de laser pulsado Nd:YAG não encontra-se resultados. Dada a importância do balanço de fases nas propriedades dos AID e suas aplicações este trabalho estudou o efeito da utilização de níquel eletrolítico como metal de adição na microestrutura e na microdureza de aços inoxidáveis superduplex soldados pelo processo laser pulsado Nd:YAG.

2. METODOLOGIA

O metal base utilizado foi o aço inoxidável duplex UNS S32750 na forma de chapas com 1,5 mm de espessura. A Tab. 1 apresenta a composição química do material. As soldagens foram realizadas utilizando um sistema laser, de estado sólido Nd: YAG, na condição pulsado.

Tabela 1. Composição química do aço UNS S32750

Metal base	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	N
	0,018	0,29	0,63	0,02	<0,0003	25,61	3,84	6,97	0,15	0,269

Duas condições foram avaliadas, soldagem autóloga (SA) e soldagem com adição de níquel (SNi), ambas mantendo os mesmos parâmetros de soldagem. As chapas foram posicionadas em junta de topo, sem abertura de raiz. Os parâmetros de soldagem foram selecionados de forma a proporcionar uma superfície regular, sem porosidade, e uma penetração superior a 50% da espessura da chapa. Elas foram soldadas com feixe de diâmetro de 0,2 mm e ângulo de 90°. A energia do pulso foi mantida fixa em 10J, potencia de pico de 2 kW, largura temporal de 5 ms, frequência 9 Hz e velocidade de soldagem 1,0 mm/s. Utilizou-se como gás de proteção argônio puro em uma vazão de 20 l/s. Como metal de adição foi utilizada uma folha de níquel eletrolítico posicionada na superfície de contato entre as duas chapas, conforme apresentado na Fig. 1.

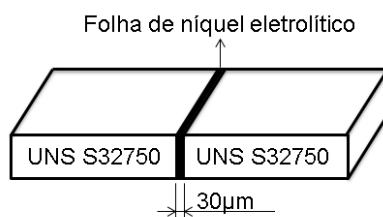


Figura 1. Esquema da junta soldada com a folha de níquel eletrolítico

Utilizou-se o reagente Beraha para revelar a microestrutura, e as frações volumétricas foram calculadas através de micrografias obtidas por MEV e o software ImageJ. Os perfis de microdurezas foram obtidos através de um ultramicrodurômetro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados em dois tópicos: microestrutura e microdureza.

3.1. Microestrutura

A Fig. 2 (a e b) apresenta a microestrutura da região de transição entre o metal base e a zona fundida para as condições autóloga (SA) e com adição de níquel (SNi), respectivamente. É possível notar que o níquel afetou a formação da austenita tanto qualitativamente, modificando sua morfologia, quanto quantitativamente, afetando a fração volumétrica.

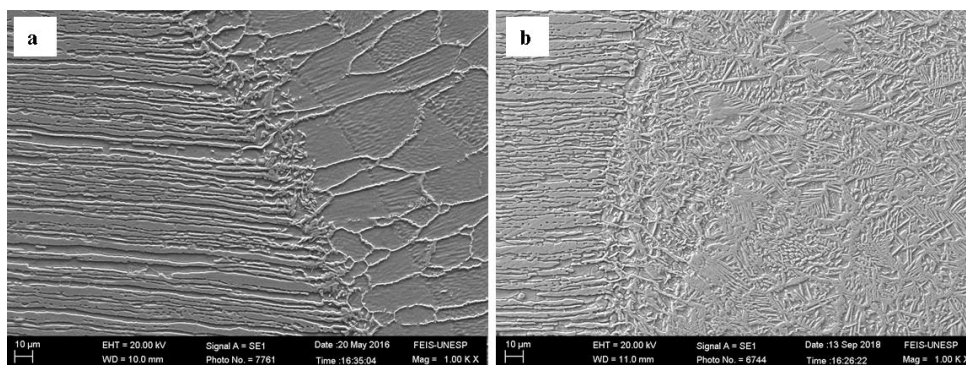


Figura 2. Micrografias (MEV) da região de transição entre metal base e zona fundida para a) SA e b) SNi

Na soldagem de aços inoxidáveis duplex, a austenita forma-se de três formas: alotriomórficas de contorno de grãos, Widmanstätten, que tem origem dentro do grão de ferrita a partir da austenita alotriomórfica de contorno de grão e austenita intragranular (Muthupandi, V. et al., 2003). Na micrografia da condição SA nota-se pouca presença de austenita na forma alotriomórfica de contorno de grãos e intragranular acicular. A microestrutura resultante está bastante desbalanceada predominando a presença de ferrita. Na micrografia da condição SNi nota-se a presença de

austenita nas três formas e em maior quantidade em relação a condição SA, resultando em uma microestrutura visivelmente balanceada.

As frações volumétricas de austenita e ferrita do metal base e da zona fundida pra cada uma das condições são apresentadas na Tab. 2. Os resultados foram obtidos por análise de imagem em diversas regiões do metal base e das zonas fundidas. A adição de níquel aumentou a fração volumétrica de austenita de aproximadamente 7% (SA) para 53% (SNi). Este aumento foi consequência da adição de níquel, uma vez que os parâmetros de soldagem foram mantidos iguais. Como já mencionado o balanço de fases é muito importante para que os AID mantenham suas propriedades mecânicas e de resistência a corrosão (Than, H. et al., 2012).

Tabela 2. Frações Volumétricas

	FRAÇÕES VOLUMÉTRICAS		
	FERRITA %	AUSTENITA %	DESVIO PADRÃO
METAL BASE	50,1	49,9	0,230
SA	92,7	7,3	0,158
SNi	46,8	53,2	0,251

As micrografias das juntas soldadas das condições SA e SNi são apresentadas na Fig 3 (a e b respectivamente). Como já mencionado nota-se que o níquel não apenas aumentou a fração volumétrica de austenita, como também modificou sua morfologia. Na condição SNi observa-se bastante presença de austenita intragranular na forma acicular, lamelar e Widmanstätten.

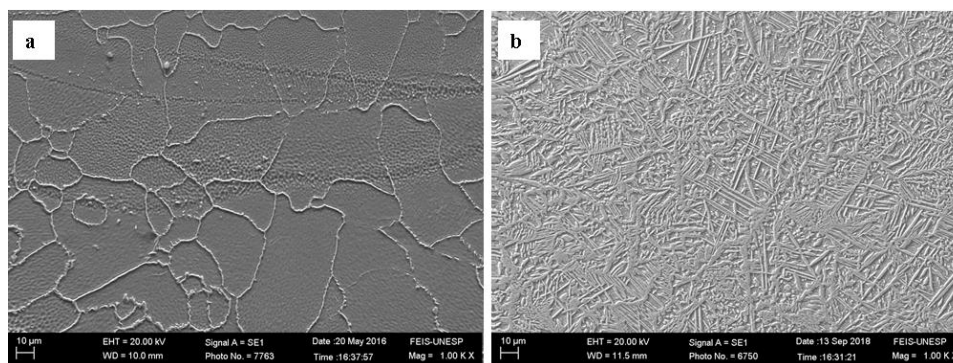


Figura 3. Micrografias (MEV) da zona fundida para a) SA e b) SNi

A austenita alotriomórfica de contorno de grãos e a de Widmanstätten formam-se a altas temperaturas, enquanto a intragranular em baixas. Na soldagem dos AID a austenita origina-se de uma transformação no estado sólido, que é altamente afetada pela taxa de resfriamento e o aquecimento de entrada (Mohammed, G.R. et al., 2017). Sob altas taxas de resfriamento e baixo aquecimento de entrada não existe tempo suficiente para formação de austenita, resultando em uma microestrutura predominante ferrítica, como visto na micrografia da condição SA. A grande quantidade de austenita intragranular observada na condição SNi é resultado do efeito do ciclo térmico associado ao efeito formador de austenita do níquel. O efeito do níquel enquanto formador de austenita sobrepõe o efeito do ciclo térmico (alta taxa de resfriamento), uma vez que para condição SNi o balanço de fases foi atingido.

Observa-se ainda que a microestrutura balanceada ao longo da zona fundida foi bastante uniforme para condição SNi, conforme pode ser observado na Fig. 4 que apresenta uma micrografia com ampliação menor da junta soldada.

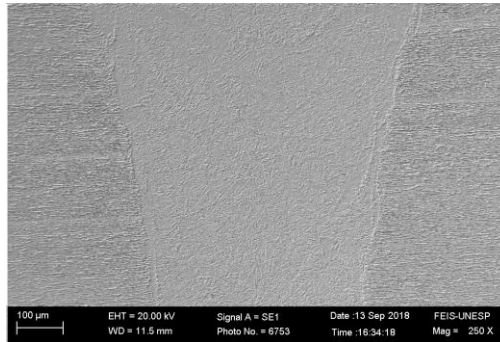


Figura 4. Micrografias (MEV) da junta soldada para SNI

3.2. Microdureza

Os perfis de microdureza para condição SA e SNI são apresentados na Fig. 5 (a e b, respectivamente).

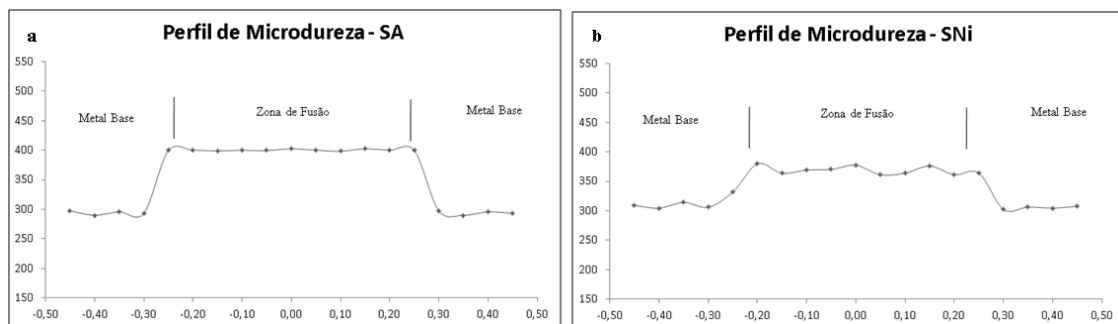


Figura 5. Perfis de microdurezas para a) SA b) SNI

A microdureza média da zona fundida para a condição SA foi de $400,13 \pm 1,32$ HV já para a condição SNI foi de $365,07 \pm 8,54$ HV. Como a condição SA apresentou uma microestrutura predominantemente ferrítica a microdureza na zona fundida foi maior. Com o aumento da fração volumétrica de austenita tem-se uma diminuição da dureza conforme observado para condição SNI.

Embora para condição SNI as frações volumétricas sejam bem próximas às do metal base a dureza foi aproximadamente 20% maior. A grande quantidade de austenita intragranular e sua disposição ao longo da zona fundida criaram discordâncias elevando assim a dureza, efeito também observado por Tahaei, A. et al., 2016.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, podem-se delinear as seguintes conclusões:

- A adição de níquel afetou a formação de austenita tanto quantitativamente quanto qualitativamente, modificando sua morfologia e fração volumétrica.
- Na condição SNI foram obtidas frações volumétricas de austenita e ferrita de aproximadamente 50%, resultando em uma microestrutura balanceada.
- O efeito formador de austenita do níquel sobrepôs os efeitos do ciclo térmico, uma vez que o balanço de fases foi alcançado.
- Na condição SNI obteve-se uma dureza menor do que na condição SA devido a maior quantidade de austenita.
- Na condição SNI, embora a fração volumétrica de austenita na zona fundida tenha sido próxima a do metal base, a dureza foi maior, pois a morfologia e disposição da austenita ao longo da zona fundida afetaram a dureza da região.

5. REFERÊNCIAS

Migiakis, K. e Papadimitriou, G.D., 2009. "Effect of nitrogen and nickel on the microstructure and mechanical properties of plasma welded UNS S32760 super-duplex stainless steels". *Journal of Materials Science*, Vol. 44, p. 6372-6383.

- Mohammed, G.R. et al., 2017. "Effects of heat input on microstructure, corrosion and mechanical characteristics of welded austenitic and duplex stainless steel: a review". *Metals*, Vol. 7.
- Muthupandi, V. et al., 2003. "Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds". *Materials Science Engineering A*, Vol. 358, p. 09-16.
- Muthupandi, V. et al., 2005. "Effect of nickel and nitrogen addition on the microstructure and mechanical properties of power beam processed duplex stainless steel (UNS 31803) weld metals". *Materials Letters*, Vol. 59, p. 2305-2309.
- Pilhagen, J. e Sandström, R., 2011a. "Finite element homogenization technique for the characterization of d15 shear piezoelectric macro-fibre composites". *Smart Materials and Structures*, Vol. 602, p. 49-57.
- Ramkumar, K.D. et al., 2014. "Characterization of weld strength and impact toughness in the multi-pass welding of super-duplex stainless steel UNS 32750". *Materials and Design*, Vol. 60, p. 125-135.
- Saravan, S. et al., 2017. "Pulsed Nd:YAG laser welding and subsequent post-weld heat treatment on super duplex stainless steel". *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 25, p. 284-289.
- Tahaei, A. et al., 2016. "Effect of the addition on nickel powder and post weld heat treatment on the metallurgical and mechanical properties of the welded UNS S32304 duplex". *Soldagem e Inspeção*, Vol. 21, p. 197-208.
- Tan, H. et al., 2012. "Influence of welding thermal cycles on microstructure and corrosion resistance of 2304 duplex stainless steels". *Corrosion Science*, Vol. 55, p. 368-377.
- Zhang, Z. et al., 2017. "Effects of nitrogen in shielding gas on microstructure evolution and localized corrosion behavior of duplex stainless steel welding joints". *Applied Surface Science*, Vol. 404, p. 110-128.
- Zhang, Z. et al., 2017. "Microstructure evolution and pitting corrosion behavior of UNS S32750 super duplex stainless steel welds after short-time heat treatment". *Corrosion Science*, Vol. 121, p. 22-31.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

APPLICATION OF Nd:YAG PULSED LASER IN AUTOGENOUS WELDING AND WITH ADDITION OF NICKEL IN UNS S32750 DUPLEX STAINLESS STEEL

Eli Jorge da Cruz Junior

IFSP Campus Votuporanga, Av. Jerônimo Figueira da Costa, 3014 Pozzobon, 15503110 Votuporanga.
dacruz.eli@ifsp.edu.br

Vicente Afonso Ventrella

FEIS UNESP, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Brasil, 56 Centro, 15385000 Ilha Solteira.
vicente.ventrella@unesp.br

Abstract. Duplex stainless steels (DSS) have a biphasic microstructure with equal proportions of austenite and ferrite, which gives them excellent mechanical strength and corrosion resistance compared to austenitic stainless steels. Nd:YAG pulsed laser welding affects the microstructure of DSS resulting in unbalanced microstructure which compromise their properties. As way to obtain a balanced microstructure we have the addition of austenite forming elements, such as nickel or nitrogen. The present work reports the effect of nickel addition on the microstructure and microhardness of UNS S32750 duplex stainless steel welded by Nd:YAG pulsed laser. Two conditions were used: autogenous welding and with addition of nickel (electrolytic nickel foil with 30 µm thickness placed on the contact surface of weld joint). The addition of nickel affected both the microstructure and microhardness resulting in equal proportions of austenite and ferrite in the weld bead and decreased the microhardness in comparison to autogenous welding.

Keywords: Microstructure, Microhardness, Laser Welding, Nickel addition, Duplex stainless steel.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.