

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE LASER ND: YAG PULSADO NA SOLDAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL SUPER DUPLEX UNS S32750 UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL

Jeann Dourado Souza¹

Paulo Eustáquio Resende Nascimento²

RESUMO

Com a necessidade de se trabalhar em ambientes cada vez mais agressivos, as indústrias do ramo de petróleo e gás natural viram-se obrigadas a desenvolverem processos cada vez mais eficazes para a sua necessidade. Com base neste tema, este projeto de pesquisa foi desenvolvido, no qual, pretende-se observar a variação dos níveis de austenita e ferrita que irão ter impactos significativos nas propriedades mecânicas e na resistência do material. O material escolhido como corpo de prova foi o aço inoxidável, muito utilizado devido as suas propriedades, dentre as quais, se destacam a resistência à corrosão. A contribuição pretendida deve ser no sentido de uma maior difusão de informações, acerca da aplicação desta fonte laser na soldagem deste aço. O projeto possui grande potencial de inovação na área de lasers, através da aplicação de laser pulsado de estado sólido na união destes aços. Os resultados obtidos poderão contribuir na redução de prejuízos provocados por falhas prematuras de componentes, diminuindo os riscos de acidentes ambientais e operacionais provocados por estas falhas.

Palavras-chave: Aço inoxidável. Propriedades mecânicas. Solda.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, GO.

² Orientador, mestre em Engenharia Mecânica, doutor em Andamento em Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Pretende-se com esta pesquisa estudar a interferência da energia de soldagem, sobre o balanço de fases ferrita/austenita existente no metal de solda e Zona Termicamente Afetada (ZTA), em que se aplicar o laser pulsado Nd: YAG em chapas de aços inoxidável super duplex UNS S32750.

Existe uma lacuna de desconhecimento entre as investigações teóricas e experimentais que determine a real influência dos parâmetros no processamento laser. Este fato, devido à complexidade do processo, é mais evidente no sistema laser pulsado. O tipo de laser é determinado pelo comprimento de onda de sua emissão e pelo regime de operação, contínuo, pulsado, chaveado, etc. Além disso, é imprescindível escolher e ajustar os vários parâmetros relativos ao processamento a laser que exercem influência na qualidade do resultado final, no custo e na velocidade de processo, entre outros.

Como a soldagem a laser visa a excelência de qualidade, esta deve obedecer a uma combinação precisa dos inúmeros parâmetros envolvidos. Estes parâmetros são: densidade de potência, modo transversal do feixe laser, polarização da luz, velocidade do processo, comprimento focal da lente utilizada, tipo, pressão e fluxo de gás de assistência, energia e duração temporal do pulso laser, comprimento de onda, entre outros.

O resultado esperado para este projeto de pesquisa é mostrar o efeito da modificação de energia de soldagem, sobre as partes volumétricas das fases ferrita/austenita, tanto no metal de solda, como na Zona Termicamente Afetada (ZTA). Verificar se haverá queda ou aumento de quantidades de ferrita/austenita.

1.1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

Aços Inoxidáveis são uma classe relativamente recente de materiais que surgiu no início do século XX quase que simultaneamente em vários países, tais como, Alemanha (1912), Inglaterra (1913), Estados Unidos (1915) e França (1917). Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas que contém cromo, comumente níquel e, em vários casos, outros elementos de liga. O cromo é o principal responsável pela resistência à corrosão de tais aços devido ao fato de ser um elemento menos nobre que o ferro nas séries eletroquímicas. Sendo assim, a maior afinidade do oxigênio pelo cromo leva a formação de uma camada passivante de óxido de cromo na superfície destas ligas, que se torna uma barreira invisível, continua aderente,

impermeável e praticamente insolúvel quando em contato com um grande número de reagentes.

Quando esta camada é destruída e as condições são contrárias à sua regeneração espontânea, tal como a presença de um meio redutor (deficiente em oxigênio), um aço inoxidável se torna muito pouco resistente à corrosão. O efeito anticorrosivo do cromo aparece mesmo quando este se encontra presente em pequenas quantidades na liga. Assim, aços com apenas 5% de cromo são muito mais resistentes à corrosão do que aços ao carbono comuns. Contudo, convencionalmente, o nome aço inoxidável é reservado a ligas Fe-C-Cr (ferro-carbono-cromo) ou Fe-C-Cr-Ni (ferro-carbono-cromo-níquel) que contém, no mínimo, de 10 a 12% de Cr. Em virtude da multiplicidade de composições químicas e das características microestruturais que estes lhes conferem após o resfriamento, os aços inoxidáveis foram divididos nas seguintes categorias:

- Aços inoxidáveis austeníticos;
- Aços inoxidáveis martensíticos;
- Aços inoxidáveis ferríticos;
- Aços inoxidáveis duplex e
- Aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação.

A corrosão nos metais em condições hostis é um problema para as indústrias e constituem uma grande influência na perda de peças. Foi necessário desenvolver um tipo de material que conseguisse suportar este ambiente agressivo. Como resposta para estes problemas, surgiu o aço inoxidável que, segundo Chiaverini (1986) caracterizam-se, fundamentalmente, por resistirem à corrosão atmosférica, por possuírem “passividade” quando ligados a outros elementos, como cromo, níquel, silício dentre outros, essa passividade é uma capacidade de permanecer inalterado com a presença destes elementos, acarretando na sua maior parte os benefícios desta mistura.

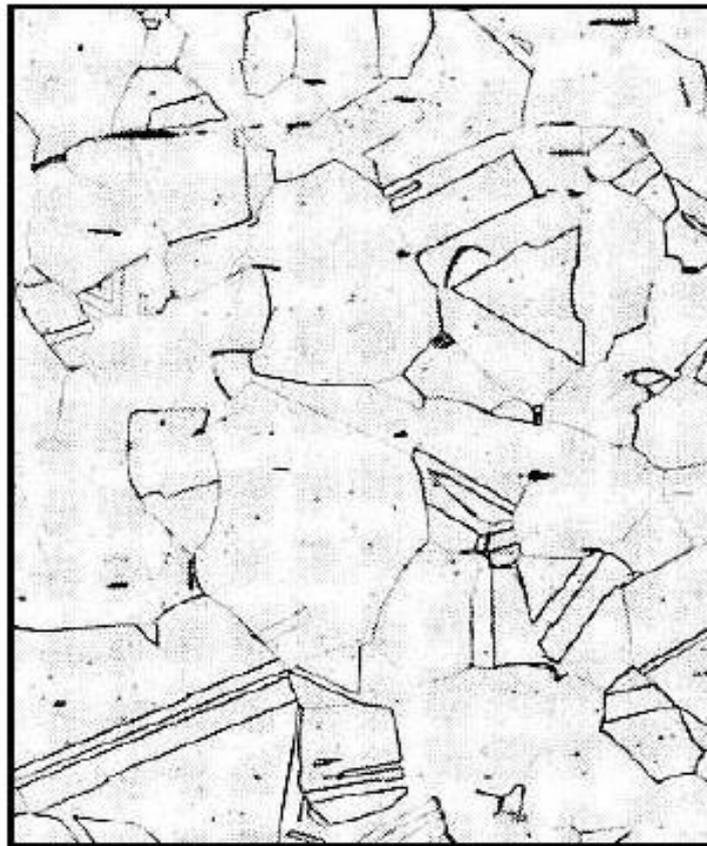
1.1.1 Aços inoxidáveis austeníticos

Segundo Folkhard (1988) são ligas formadas principalmente de Ferro, Cromo e Níquel. Possui uma estrutura austenítica, não sendo endurecíveis por tratamentos térmicos. De acordo com Nilsson (1992) estão entre os aços inoxidáveis os materiais de melhor soldabilidade e resistência à corrosão. Segundo Sedriks (1996) a temperatura ambiente apresentam um baixo limite de escoamento, alto limite de resistência e alta ductilidade.

Segundo Padilha e Guedes (1994), se comparados aos aços ferríticos e martensíticos são os aços produzidos em maiores quantidades, não são magnéticos e devido aos elevados teores de Cromo e às adições de Níquel, são repetidamente considerados os mais resistentes á corrosão.

A Figura 1 apresenta a microestrutura típica de um aço inoxidável austenítico.

FIGURA 1 - Aço inoxidável AISI 316 recozido a 1035°C. Ataque: H₂O – HCl – HNO₃ (100x)



Fonte: Potgieter e Cortie, (1991).

1.1.2 Aços inoxidáveis ferríticos

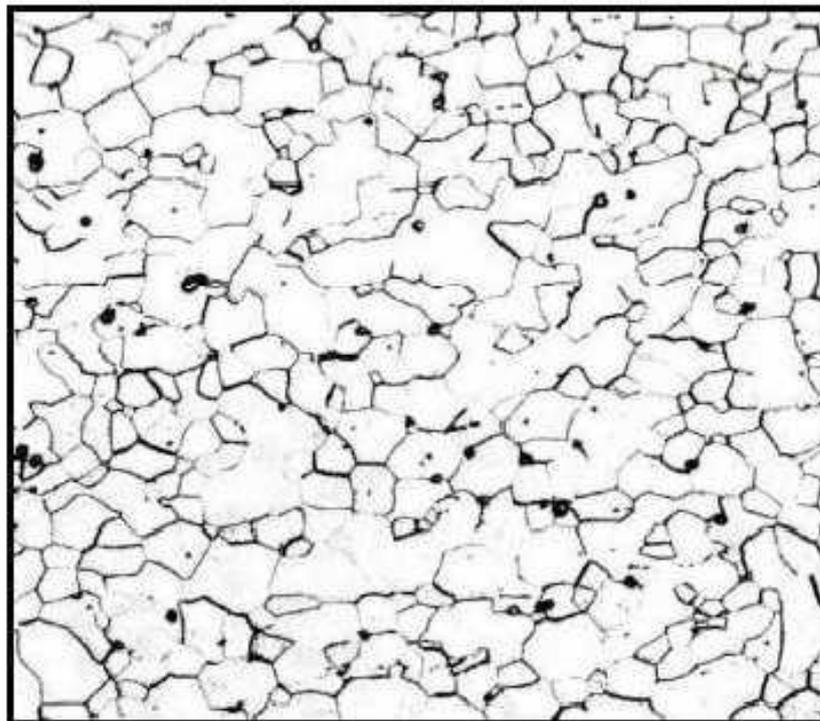
Segundo Sedriks (1996), os elementos de liga comumente encontrados nos aços inoxidáveis são considerados estabilizadores da fase austenítica ou estabilizadores da fase ferrítica. A porcentagem relativa destes elementos é convenientemente expressada em medidas de níquel equivalente (estabilizador de austenita) e cromo equivalente (estabilizador de ferrita) com base na porcentagem em massa. De acordo com Raynor e Rivlin (1988), são

compostos basicamente por ferro, cromo e níquel, e assim, estuda-se a metalurgia física destes aços analisando o sistema ternário Fe-Cr-Ni.

Segundo Solomon e Devine (1994), o aço inoxidável ferrítico apresenta uma baixa resistência à corrosão generalizada e a oxidação, destacando-se sua ótima resistência à corrosão sobtensão.

A Figura 2 representa a microestrutura típica de um aço inoxidável ferrítico.

FIGURA 2 - Aço inoxidável AISI 409 recozido por 1 hora a 870° C e resfriado ao ar. Ataque: 10 ml HNO₃-10 ml ácido acético-15 ml HCl –2 gotas de glicerol (100x)



Fonte: Voort, (2000).

1.1.3 Aços inoxidáveis martensíticos

São ligas Fe-Cr que contém entre 12% a 18% de cromo e entre 1% e 0,5% de carbono, que podem ser austenitizadas, se forem aquecidas a uma temperatura adequada. Devido ao seu elevado teor de liga, estes aços apresentam uma elevada temperabilidade e podem apresentar uma estrutura completamente martensítica em peças de enorme espessura mesmo após um resfriamento ao ar. Sua resistência à corrosão visa ser inferior a dos outros tipos. São adequados em aplicações que requerem elevada resistência mecânica, dureza e

resistência ao desgaste por abrasão (FOLKHARD, 1988; NILSSON, 1992; SOLOMON; DEVINE, 1994).

A Figura 3 representa a microestrutura típica de um aço inoxidável martensítico.

FIGURA 3 - aço inoxidável martensítico AISI 440C, austenitizado por 1 hora a 1010 °C, resfriado ao ar e revenido



Fonte: Voort, 2000.

1.1.4 Aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação

São obtidos através de adição de ligas como: cobre, titânio, nióbio e alumínio. São capazes de desenvolver elevados níveis de resistência mecânica, pela formação de finos precipitados, junto com a microestrutura martensítica, ductilidade e tenacidade superiores a outros aços de resistência similar (FOLKHARD, 1988; NILSSON, 1992; SOLOMON; DEVINE, 1994).

1.1.5 Aços inoxidáveis duplex

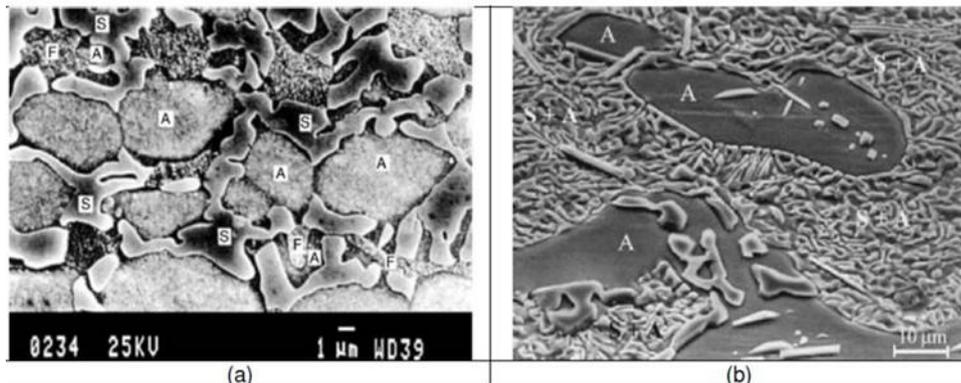
Os aços inoxidáveis duplex contêm de 18 a 30% de Cr, de 1,5 a 4,5% de Mo e adições de elementos formadores e estabilizantes da austenita, principalmente o níquel (de 3,5 a 8,0%) e

o nitrogênio (até 3,5%), de forma a ter uma microestrutura, à temperatura ambiente, formada de partes aproximadamente iguais de ferrita e austenita. Estes aços são caracterizados por uma elevada resistência à corrosão, inclusive em ambientes nos quais os aços inoxidáveis austeníticos são deficientes, elevada resistência mecânica e boa soldabilidade. São usados em componentes de equipamentos expostos à água do mar, trocadores de calor, bombas e tubos nas indústrias química, petroquímica, de papel e celulose e de trocadores de calor.

Os aços inoxidáveis duplex foram desenvolvidos para atenderem as necessidades da indústria química e petroquímica, que necessitam de materiais mais resistentes, que os aços inoxidáveis comuns, tanto aos meios corrosivos, quanto as altas temperaturas e pressões. O primeiro aço inoxidável duplex foi desenvolvido em 1927 e, a começar de então, experimentaram um rápido crescimento em termos de produção e desenvolvimento de novas ligas para aplicação específica (MATEO et al., 2001).

A Figura 4 representa a microestrutura típica de um aço inoxidável duplex.

FIGURA 4 - Figura. Imagens de microscopia eletrônica de varredura com elétrons secundários mostrando a precipitação de fase sigma (σ) em aços inoxidáveis duplex. Ataque com V2A-Beize. A = austenita; F = ferrita; S = fase σ . (a) Aço inoxidável duplex de baixo carbono W. Nr. 1.4462. (b) Aço inoxidável duplex de alto teor de carbono W. Nr. 1.4464



Fonte: PADILHA, A. F.; PLAUT, R.L.; RIOS, P. R.

1.1.6 Os aços inoxidáveis superduplex

São caracterizados pela composição química similar a dos aços inoxidáveis duplex, com maiores teores de Cr, Ni, Mo e N e com adições menores de Cu e W. São caracterizados por um comportamento de transformação e precipitação complexa. Durante o processamento, no resfriamento, desenvolvem-se microestruturas contendo frações volumétricas comparáveis

de fases austeníticas e ferríticas com diferentes propriedades físicas e mecânicas. Isto leva à evolução de níveis elevados de tensões internas, tornando o material susceptível a formação de trincas durante o resfriamento e fazendo com que o processamento de tais fundidos seja complicado e custoso. Segundo a literatura, esta fragilização é atribuída à precipitação da fase sigma nos contornos de fase. Produzir uma distribuição vantajosamente homogênea da fase sigma, através da formação de uma microestrutura primária/refinado, durante a solidificação pode ser uma maneira, de contornar este problema (SANTOS; BOLFARINI, 2005).

1.2 SOLDAGEM A LASER

A palavra *Laser* é a abreviatura da descrição do processo em inglês “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, traduzido para o português direto “Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação”. Essa fonte de energia que incide sobre o material a ser soldado provoca aquecimento concentrado na faixa de 1,5 mm sobre o material (DAMOULIS; BATALHA, 2004). Os tipos de lasers mais usados na indústria de acordo com Mayer (1994) são o laser de CO₂ e laser Nd:YAG.

De acordo com Gimenes Jr. e Ramalho (2013), a soldagem a laser apresenta algumas vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- a) Aporte de Energia concentrado, minimiza os efeitos metalúrgicos sofridos pela ZTA, e muito menos distorções;
- b) Soldagens em um único passe;
- c) Não requer metal de adição, sendo livre de eventuais contaminações por este;
- d) Como é um processo que não há contato com a peça, favorece a soldagem em locais de difícil acesso;
- e) Permite soldar peças muito finas, e em pequenas distâncias, entre cortes;
- f) O laser pode ser automatizado.

Desvantagens:

- a) Baixa eficiência aproximadamente menos que 10%;
- b) Oferece dificuldade para mudar o ponto focal;
- c) O equipamento é de baixa potência;
- d) Limitação de espessura pela potência do equipamento;
- e) Problemas com refletividade em alguns materiais e

- f) As juntas têm estreitas tolerâncias de ajuste.

1.2.1 Laser Nd:YAG

O laser de Nd:YAG está inserido dentre os lasers considerados de estado sólido. O termo YAG, do inglês yttrium aluminium garnet ($Y_3Al_5O_{12}$), é um material do grupo das granadas. Algumas de suas propriedades podem ser vistas na Tabela 3. Comumente usados como base em vários lasers de estado sólido, esse cristal sintético pode ser dopado com elementos do grupo dos lantanídeos (também conhecidos como terras raras) tais como: neodímio e érbio, resultando em íons laser ativos chamados Nd:YAG e Er:YAG, respectivamente. O YAG dopado com neodímio (Nd:YAG ou $Nd^{3+}:Y_3Al_5O_{12}$) foi desenvolvido na década de 60, sendo atualmente o meio de laser ativo mais amplamente utilizado em lasers de estado sólido. O contaminante neodímio triplamente ionizado substitui uma pequena fração de íons ítrio na estrutura cristalina hospedeira, uma vez que seus tamanhos são semelhantes. São os íons de neodímio que fornecem a atividade de laser no cristal

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa envolvendo o presente trabalho passou por diversas fases que foram desde o levantamento de informações acerca do estado da arte da soldagem laser e o estudo dos fatores que influenciam, a soldabilidade do aço inoxidável super duplex UNS S32750, até a fase de execução do projeto. Dentro da fase de pesquisa também foram estudados o desbalanceamento de fases, precipitação de fases intermetálicas e corrosão.

A Tabela 1 mostra a composição química do aço inoxidável super duplex UNS S32750.

TABELA 1 - Composição química do aço inoxidável super duplex UNS S32750 (% em peso)

C (max)	Si (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	Cr	Ni	Mo (max)	N
0,03	1	1	0,03	0,01	24-26	6-8	3-4	0,2-0,3

Fonte: Voort, (2000).

2.1 MATERIAIS E FERRAMENTAS UTILIZADOS

O aparelho utilizado para a realização da soldagem foi um sistema a laser Nd: YAG pulsado, modelo UW-150A United Winners, conforme Figura 5 abaixo:

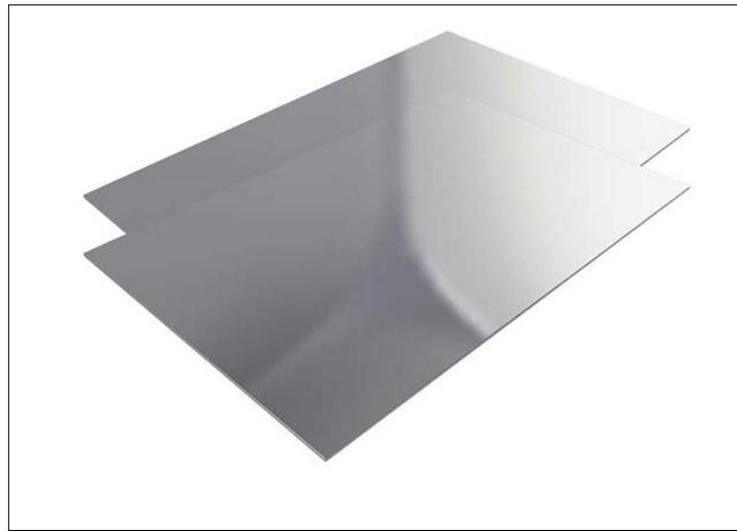
FIGURA 5 - Sistema laser Nd: YAG pulsado, modelo UW-150A United Winners



Fonte: Nascimento, (2016).

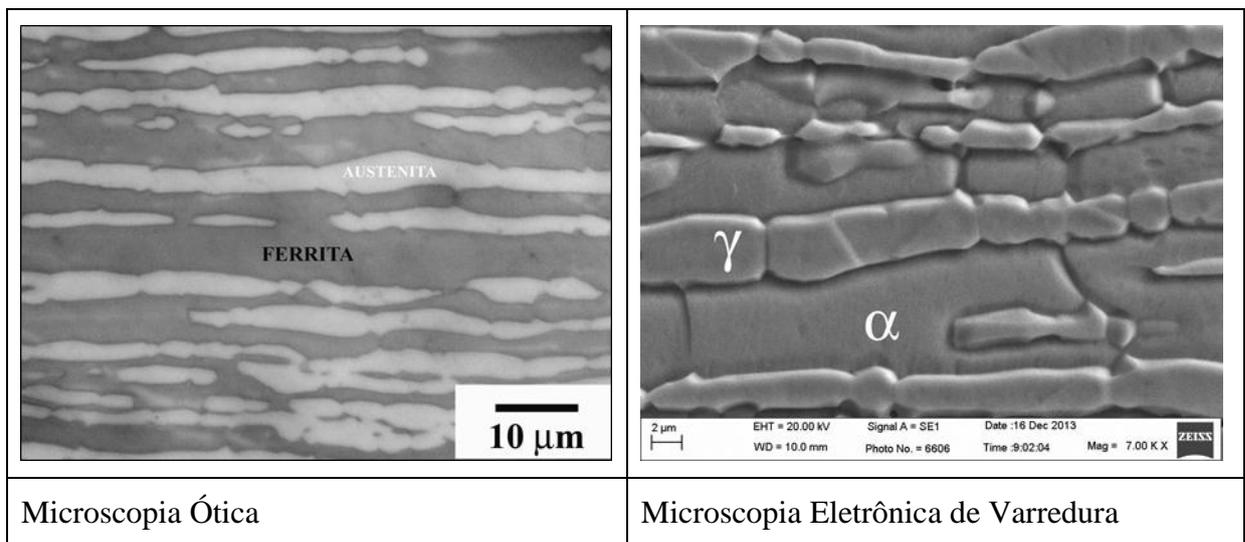
Quanto ao material de prova, foram utilizadas 12 pequenas chapas de aço inox Superduplex UNSS32750 com 20mm de largura por 10mm de comprimento e espessura de 1,0mm, conforme figura 6.

FIGURA 6 - Chapas de aço inox Superduplex UNSS32750



Fonte: Voort, 2000.

Figura 7: Micrografia do metal base, aço inoxidável super duplex UNS S32750, na direção de Laminação obtida com MO e MEV



Fonte: Prof. Afonso Vicente Ventrella

2.2 PROCESSOS UTILIZADOS

Para o início do experimento as amostras foram posicionadas uma acima da outra, na posição junta sobreposta. Logo em seguida deu-se início ao processo de soldagem no qual foi utilizado um feixe de diâmetro de 0,2 mm. A energia do pulso (E_p) foi fixada em 6,0 J. A vazão do gás argônio utilizado para o processo esteve em uma média de 15 l/min.

Após o procedimento de soldagem a próxima etapa foi a realização do teste metalográfico, no qual as amostras já soldadas e que estavam em repouso foram cortadas transversalmente e preparadas para o teste, sendo lixadas e polidas.

O teste consistiu em um ataque eletroquímico com uma solução para possibilitar uma análise com maior acurácia. As propriedades no entorno da seção da solda foram avaliadas com um ensaio de microdureza, e as medições de descontinuidades, que foram realizadas em áreas diferentes na zona termicamente afetada (ZTA), na zona fundida (ZF) e no metal base (MB). Para quesito comparativo também foram realizados os mesmos ensaios nas amostras, sem nenhum outro procedimento, além do ataque químico, para a realização dos ensaios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na realização da solda nota-se que conforme a potência do cordão de solda se elevava produziam cordões de solda cada vez mais profundos e mais largos, ao passo que quando se baixava a potência de solda, os cordões ficavam mais rasos e estreitos. Na potência máxima de solda os valores utilizados oscilavam entre 1,0 e 1,5 Kw, já na utilização da potência mínima os valores oscilavam entre 0,6 Kw e 0,75Kw. Pode-se ter uma melhor compreensão na Tabela 02, conforme tabela 02 que apresenta valores das geometrias das amostras, após as devidas soldas.

TABELA 2 - Medidas de largura (μm) e profundidade (μm) calculadas em cada uma das três seções analisadas para cada cordão de solda e valores de média e desvio padrão

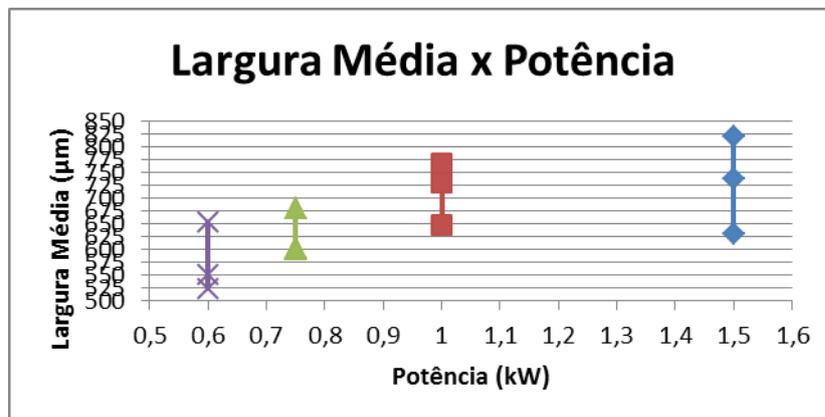
		SEÇÃO 1	SEÇÃO 2	SEÇÃO 3	MÉDIA (DESVIO PADRÃO)
--	--	---------	---------	---------	--------------------------

Cordão	Potência	Largura	Profundidade	Largura	Profundidade	Largura	Profundidade	Largura	Profundidade
1	0,5	830	1040	810	840	820	810	820 (10)	897 (125)
2	0,6	760	560	720	460	710	490	730 (26)	503 (51)
3	0,7	610	420	580	380	620	330	603 (21)	377 (45)
4	0,8	670	130	620	120	670	140	653 (29)	130 (10)
5	0,9	720	890	720	980	770	1320	737 (29)	1063 (227)
6	1	770	780	760	820	770	800	767 (6)	800 (20)
7	1,1	690	500	710	530	640	510	680 (36)	513 (15)
8	1,2	580	410	580	410	490	350	550 (52)	360 (35)
9	1,3	460	920	720	930	710	1310	630 (147)	1053 (222)
10	1,4	500	620	720	880	720	740	647 (127)	747 (130)
11	1,5	440	380	670	610	690	650	600 (139)	547 (146)
12	1,6	400	290	600	410	570	470	523 (108)	390 (92)

Fonte: Crespo, (2014).

Para se obter uma maior confiabilidade nos resultados foram utilizadas três secções em cada cordão de solda, pois com isso foi possível analisar melhor, o desenvolvimento do cordão de solda, através do cordão. Pode-se observar que os locais com maiores larguras e profundidade foram justamente os pontos de maior potência de solda. Conforme a figura 7 demonstra um comparativo entre largura média e potência.

FIGURA 8 - Gráfica de variabilidade da largura média para cada potência de soldagem utilizada



Fonte: Crespo, (2014).

Sobre os resultados químicos, conforme Tabela 3, nota-se que o teor de ferrita e austenita do material sofreu alterações, pois conforme padrão de fábrica os mesmos possuíam 50% e 50%, após o processo de soldagem passaram a ter respectivamente 52% e 48% (CRESPO, 2014).

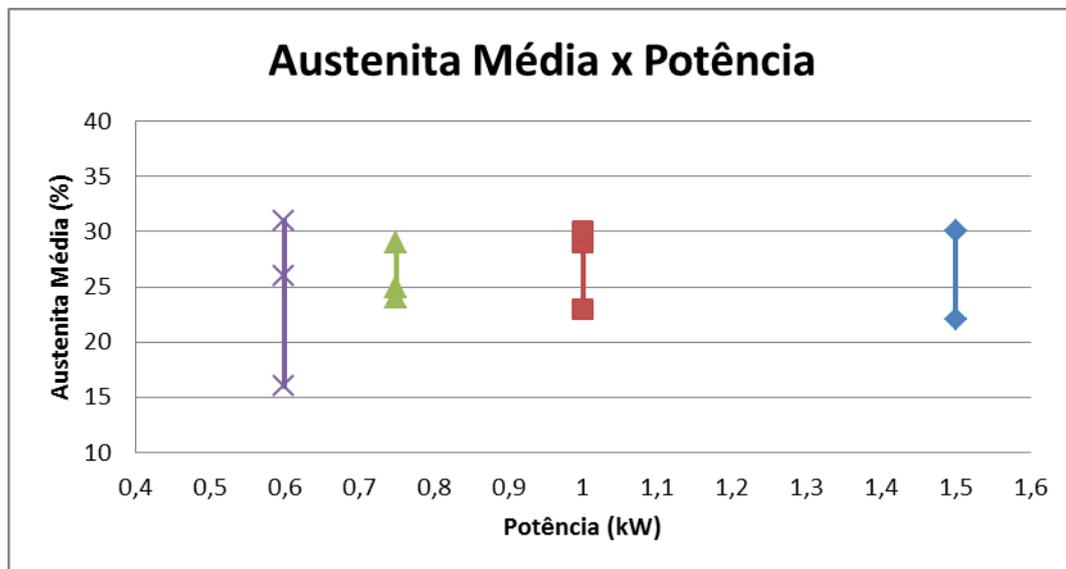
TABELA 3 - Medidas de porcentagem de austenita e ferrita em cada uma das direções do aço inoxidável duplex UNS S 32205 como recebido

IMAGEM	NORMAL		LAMINAÇÃO		TRANSVERSAL	
	AUSTENITA	FERRITA	AUSTENITA	FERRITA	AUSTENITA	FERRITA
1	45,7	54,3	51,2	48,8	48,9	51,1
2	47,4	52,6	56,6	43,4	52,2	47,8
3	47,6	52,4	57,5	42,5	52,6	47,4
4	44,1	55,9	56,7	43,3	59	41,0
5	51,4	48,6	55,9	44,1	53,3	46,7

Fonte: Crespo, (2014).

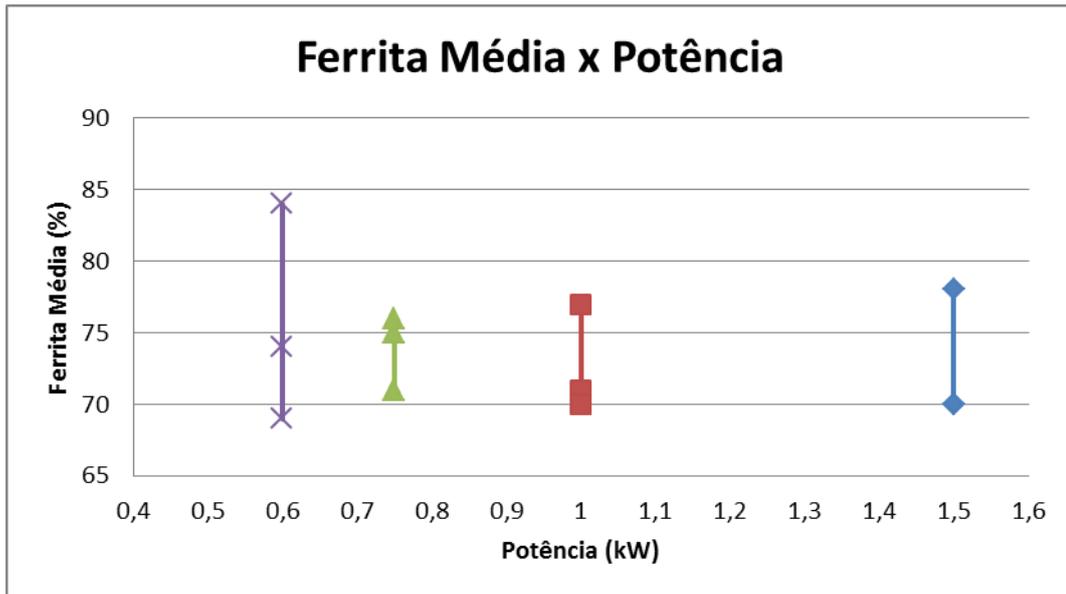
Foi realizado também, um comparativo entre a fase do material (ferrita e austenita) com a potência utilizada, para saber a influência dos mesmos no cordão de solda. Na pesquisa apresentada por Crespo (2014), analisando-se os gráficos das figuras 8 e 9, constata-se que a potência de 0,6 kW foi a que teve maior variação entre ferrita/austenita, enquanto que a potência de 0,75 foi a que menos apresentou variações.

FIGURA 9 - Gráfico de variabilidade da porcentagem de austenita média para cada potência de soldagem utilizada



Fonte: Crespo, (2014).

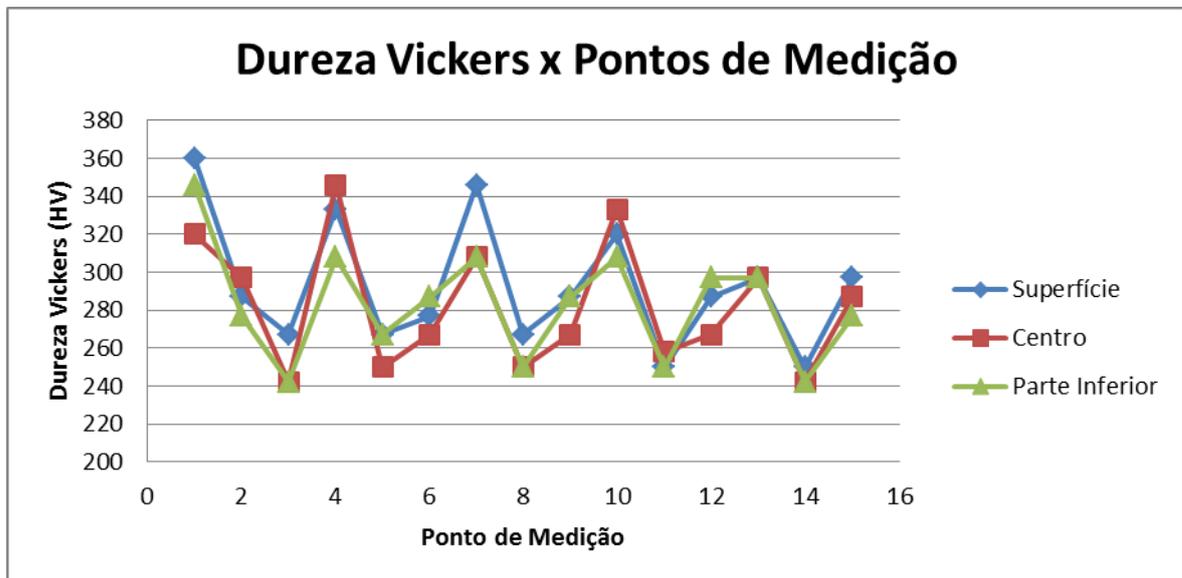
FIGURA 10 - Gráfico de variabilidade da porcentagem de ferrita média para cada potência de soldagem utilizada



Fonte: Crespo, (2014).

No quesito dureza observou-se que praticamente não houve variações, com um valor médio de 268 HV, conforme Figura 10.

FIGURA 11 - Gráfica dos valores de microdureza das 15 impressões realizadas em cada região do metal base



Fonte: Crespo, (2014).

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível realizar algumas observações:

- Baseados nos resultados, verificou-se que com a utilização do processo de soldagem a Laser Nd: YAG, as características do metal de solda e das variáveis que participam do processo de soldagem, foram mais determinantes;
- Observou-se que quanto maior a potência aplicada mais profunda e larga são os cordões de solda e foi possível obter bons resultados utilizando pouca potência;
- Outro ponto muito importante é referente ao balanço entre ferrita e austenita do material que agregam respectivamente resistência mecânica e a corrosão dos materiais e foi possível chegar a um valor o mais próximo possível do fabricante que é de 50% de cada um;
- A dureza do material não variou, e se manteve basicamente a mesma nas 03 regiões que forma realizadas as análises.

**CASE STUDY: APPLICATION OF PULSED ND: YAG LASER IN
WELDING SUPER DUPLEX STAINLESS STEEL UNS S32750 USED IN
OIL AND NATURAL GAS INDUSTRY**

ABSTRACT

With the need to work in increasingly aggressive environments, the industries of petroleum and natural gas have been forced to develop increasingly effective processes for your need. Based on this theme this research project was developed, in which we intend to observe the change of austenite and ferrite levels that will have significant impacts on the mechanical properties and the strength of the material. The chosen material as body of evidence was the stainless steel, widely used because of its properties, among which stands out the resistance to corrosion. The required contribution should be towards greater dissemination of information on the implementation of this laser source on this welding steel. The project has great potential for innovation in the area of lasers, by applying pulsed solid state laser in the Union of these steels. The results obtained could contribute in reducing losses caused by premature failure of components, reducing the risks of environmental accidents and caused by these failures.

Keywords: Stainless steel. Mechanical properties. Welding.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM HANDBOOK – Volume 9 – Metallography and Microstructures. P. 228-293, 2000.

CHIAVERINI, V. *Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento*. 2. ed, vol. 3. Editora: McGraw-Hill, 1986.

CRESPO, G. S. *Influência da potência laser Nd: YAG na soldagem do aço inoxidável duplex UNS S32205*. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita filho, Ilha Solteira, 2014.

DAMOULIS, G. L., BATALHA, G. F. Solda Laser Aplicada ao Processo de Fabricação de Carrocerias Automotivas. *16th National Conference on Sheet Metal Forming*, Ed. Lício Schaeffler, LDTM-UFRGS, Porto Alegre, 2004.

FOLKHARD, E. *Welding metallurgy of stainless steels*. Springer-Verlag Wien, New York, 1988. (Tradução).

GIMENES JR, L.; RAMALHO, J. P. Soldagem laser. *Infosolda.com.br*, o portal brasileiro da solda. Disponível em: <www.infosolda.com.br/download/61deu.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2016.

JUSTI, J.; VIEIRA, T. P. *Manual para padronização de trabalhos de graduação e pós graduação lato sensu e stricto sensu*. Rio Verde: Ed. UniRV, 2016.

MATEO, A.; GIRONES, A.; KEICHEL, J.; LLANES, L.; AKDUT, N.; ANGLADA, M. *Cyclic deformation behavior of superduplex stainless steels*. Materials Science and Engineering, A314, 2001. (Tradução).

MAYER, A. *Der Lasermarkt in Europe*. Process of the European Laser Marketplace, p. 6-11. 1994.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. *Introdução à metalurgia da soldagem*. 209f. Monografia – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012..

NASCIMENTO, P. E. R. *Soldagem de aços duplex e superduplex com laser pulsado Nd: YAG*. 2016. 45f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UNESP Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Estudos Especiais II, Ilha Solteira, 2016.

NILSSON, J. O. *Super duplex stainless steels: materials science and technology*. v. 8, n. 8, 1992. (Tradução).

PADILHA, A.F.; GUEDES, L.C. *Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutura e propriedades*, Hemus Editora Ltda, 1994. 170 p.

POTGIETER, J. H.; CORTIE, M. B. *Determination of the microstructure and alloy element distribution in experimental duplex stainless steels*. Materials characterization. v.26, p. 155-165, 1991. (Tradução).

RAYNOR, G. V.; RIVLIN, V. G. *Phase equilibria in iron ternary alloys: a critical assessment of the experimental literature*. The Institute of Metals, 1 Carlton House Terrace, London, SW 1 Y 5 DB, UK, 1988. (Tradução).

SANTOS, R. J.; BOLFARINI, C. Controle da evolução microestrutura durante a solidificação de fundidos de aços inoxidáveis superduplex. *12º CONAF – Congresso de Fundição*, 27 a 30 de Setembro de 2005, Expo Center Norte, São Paulo, 2005.

SEDRIKS, A. J. *Corrosion of stainless steel*. New York, 1996. (Tradução).

SOLOMON, H. D.; DEVINE, T. M. Duplex stainless steels: a tale of two phases. *In: Conference Duplex Stainless Steels*, 1994. Proceedings. Ohio, p. 693-757, 1984. (Tradução).

VOORT, G. F. V. *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures*. 2000. (Tradução).