

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, para 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 destaca; a resistência a corrosão.

Palavras-chave: Aço inoxidável super duplex. Soldagem a laser pulsado Nd: YAG. Corrosão.

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), aonde vai se aplicar o laser pulsado Nd: YAG em chapas de aço inoxidável super duplex UNS S32750.

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

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

A corrosão nos metais a condições hostis são 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) caracteriza-se, fundamentalmente, por resistirem a 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.

2.1.1 Os aços inoxidáveis austeníticos

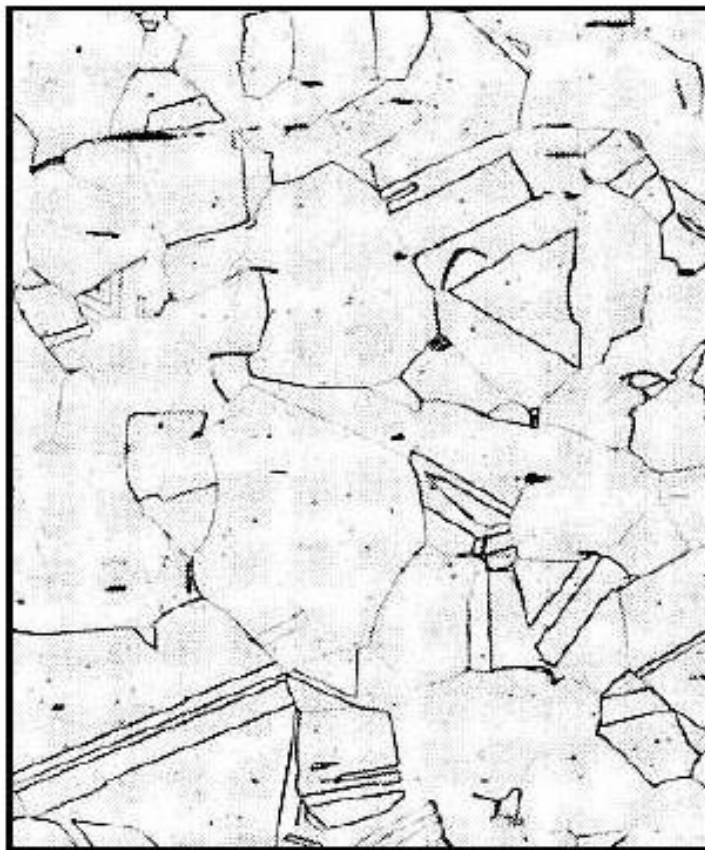
Segundo Folkhard (1988), são ligas formadas principalmente de Ferro, Cromo e Níquel. Possui uma estrutura austenítica, não sendo endurecíveis por tratamentos térmicos. De acordo com Nilsson (1992), estão entre os aços inoxidáveis, os materiais de melhor

soldabilidade e resistência a corrosão. Segundo Sedriks (1996), a temperatura ambiente apresenta um baixo limite de escoamento, alto limite de resistência e alta ductilidade.

Segundo Padilha e Guedes (1994), se comparados os aços ferríticos e martensíticos são os aços produzidos, em maiores quantidades, não são magnéticos e devido aos elevados teores de Cromo e as 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.

2.1.2 Os aços inoxidáveis ferríticos

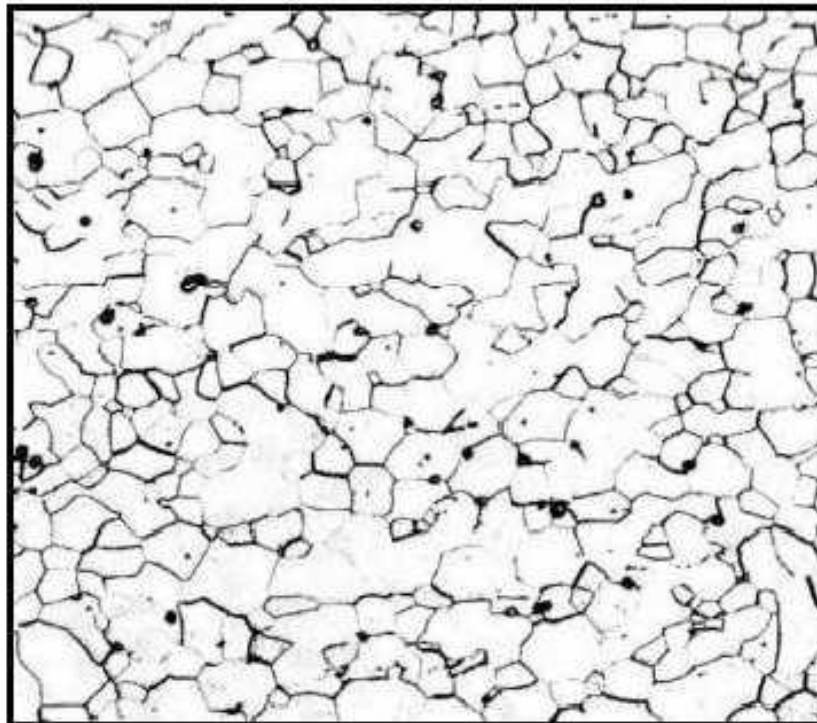
Segundo Sedriks (1996), os elementos de liga comumente encontrados nos aços inoxidáveis são considerados estabilizadores da fase austenítica ou estabilizadores da fase ferrítica. A porcentagem relativa destes elementos é convenientemente expressada em medidas de níquel equivalente (estabilizador de austenita) 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 á 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 acetico-15 ml HCl –2 gotas de glicerol (100x)



Fonte: Voort, 2000.

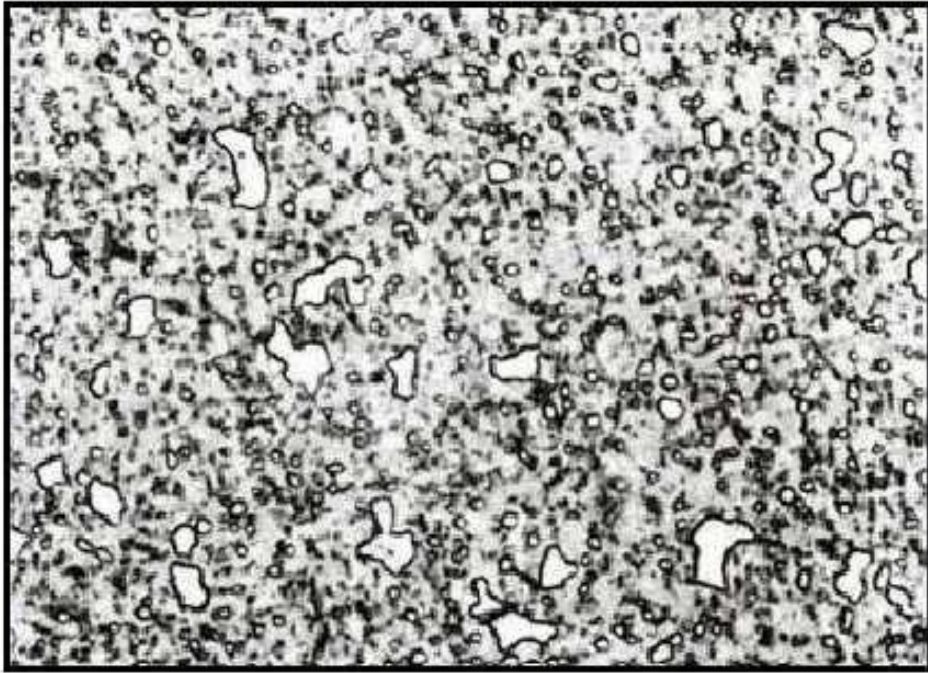
2.1.3 Os aços inoxidáveis martensíticos

São ligas Fe-Cr que contem 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 apos 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.

2.1.4 Os aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação

São obtidos através da adição de liga 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).

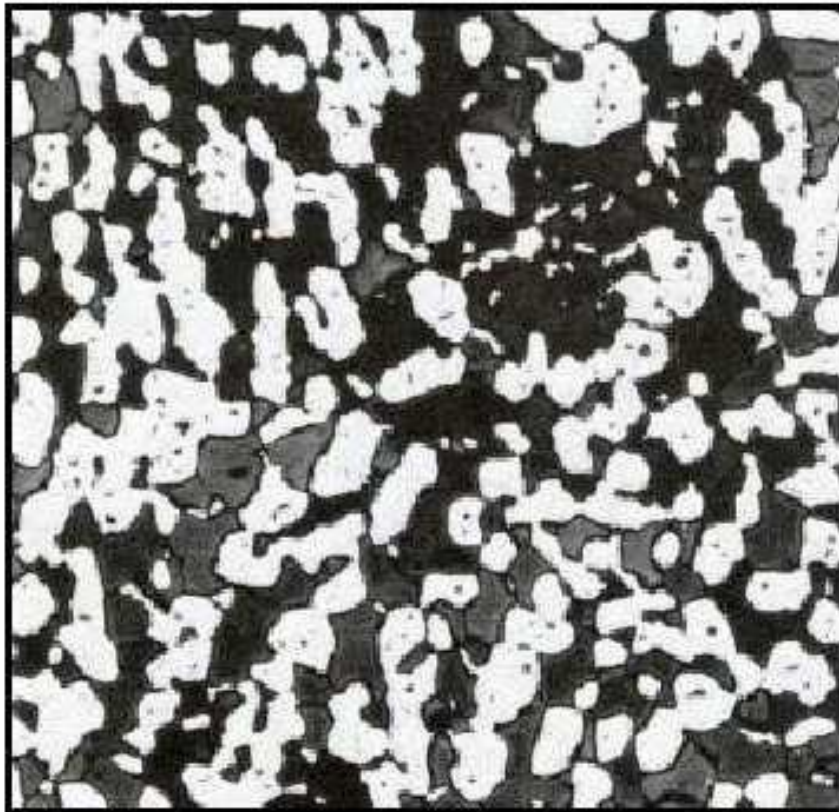
2.1.5 Os aços inoxidáveis duplex

Os aços inoxidáveis duplex foram desenvolvidos para atender 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 - Aço inoxidável duplex AISI 312 recozido com ferrita (escura) e austenita (branca). Ataque: Solução aquosa HCl 10%-K₂S₂O₅ 1%



Fonte: Voort, 2000.

2.1.6 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 refinada durante a solidificação pode ser uma maneira de contornar este problema (SANTOS; BOLFARINI, 2005).

2.2 PRINCIPAIS MÉTODOS DE SOLDAGEM

2.2.1 Soldagem a arco submerso

De acordo com Modenesi, Marques e Santos (2012, p.15), soldagem a arco submerso é um procedimento no qual a junção dos metais é produzida pelo esquentamento destes, com um arco definido entre um eletrodo metálico contínuo e a peça. O arco é protegido por um revestimento de material fusível granulado (fluxo) que é colocado sobre a peça enquanto o eletrodo é alimentado continuamente. O fluxo na região próxima ao arco é fundido, protegendo o arco e a poça de fusão e formando, posteriormente, uma camada sólida de escória sobre o cordão. O fluxo fundido ajuda a estabilizar o arco e desempenha uma função purificadora sobre o metal fundido. Como o arco ocorre sob a concentração de fluxo, ele não é visível, daí o nome do processo.

2.2.2 Soldagem com arame tubular

Segundo Modenesi, Marques e Santos (2012, p.15), soldagem com arame tubular é um método no qual a junção dos metais é obtida pelo esquentamento destes, por um arco entre um eletrodo tubular contínuo e a peça. O eletrodo tubular mostra internamente uma fluência, que desempenha as funções de estabilizar o arco e ajustar a composição da solda.

2.2.3 Soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (MIG/MAG)

Para Modenesi, Marques e Santos (2012, p.15), soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (MIG/MAG) é um procedimento de soldagem a arco que produz a junção dos metais

pela esquentação destes com um arco elétrico determinado entre um eletrodo metálico contínuo (e consumível) e a peça.

O involucro do arco e poça de fusão é obtido por um gás ou mistura de gases. Se este gás é inerte, o processo é também chamado de MIG (*Metal Inert Gas*). Se o gás for ativo, o técnica é chamado de MAG (*Metal Active Gas*).

2.2.4 Soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (TIG)

De acordo com Modenesi, Marques e Santos (2012, p.15), TIG (*Tungsten Inert Gas*) é um procedimento no qual a união dos metais é alcançada pela esquentação destes, por um arco definido, entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça. O invólucro do eletrodo e da área da solda é feito, por um gás inerte, geralmente o argônio, ou mistura de gases inertes (Ar e He). Metal de acréscimo pode ser utilizado ou não.

2.2.5 Solda com eletrodos revestidos

A solda com eletrodos revestidos é um procedimento no qual a união dos metais é alcançada pelo esquentamento destes com um arco definido, entre um eletrodo especial revestido e a peça.

Eletrodo é estruturado por um centro metálico ("alma"), encoberto por uma camada de minerais e/ou outros materiais (revestimento). A alma do eletrodo transporta a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a área sendo soldada e estabilizam o arco (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012, p. 14).

2.2.6 Soldagem a laser

A soldagem a laser é um processo no qual consiste no bombardeamento de um feixe concentrado de luz, com alta intensidade, gerando uma fonte de calor, que ocasiona a fusão do material, este processo apresenta algumas vantagens como o de não haver contato físico com a peça, sendo um processo rápido, produzindo uma pequena ZTA, soldando formas complexas e é passível de automação.

3 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.

3.2 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 pequenas chapas de aço inox Super duplex UNSS32750, com 20 mm de largura, por 10 mm de comprimento e espessura de 1,0 mm, conforme Figura 6 abaixo.

FIGURA 6 - Chapas de aço inox Superduplex UNSS32750



Fonte: Voort, 2000.

3.3 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 0,2mm. A energia do pulso (E_p) foi fixada em 6,0 J. A vazão do gás utilizado para o processo esteve em uma média de 15l/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 secção 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.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

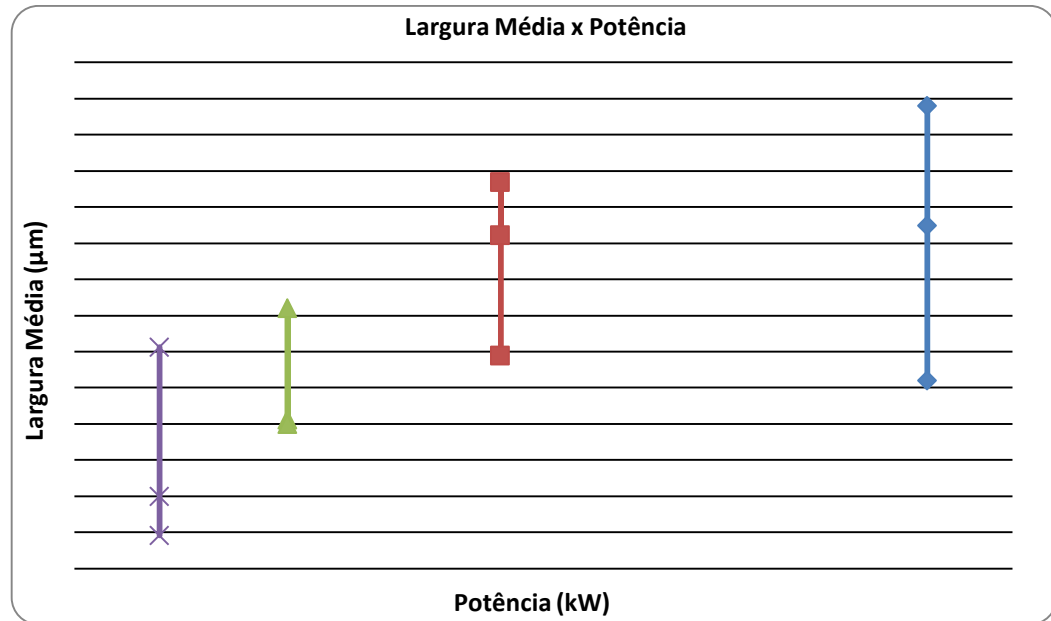
Na realização da solda nota-se que, conforme a potência do cordão de solda se elevava, produziam cordões de solda, cada vez mais profundos e mais largos, ao passo que quando se baixava a potência, os cordões ficavam mais rasos e estreitos. Na potência máxima de solda os valores utilizados oscilavam entre 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 2, conforme experimento realizado por Crespo (2014), apresentando 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

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

Fonte: Crespo, 2014.

Para se obter uma maior confiabilidade nos resultados foram utilizadas três seções em cada cordão de solda, pois com isso foi possível analisar melhor, o desenvolvimento do cordão de solda. Pode-se observar que os locais com maiores larguras e profundidade foram justamente os pontos de maior potência de solda. Conforme a pesquisa realizada por Crespo (2014) a Figura 7 abaixo demonstra um comparativo entre largura média e potência.

FIGURA 7 - Gráfico 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 sofreram 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).

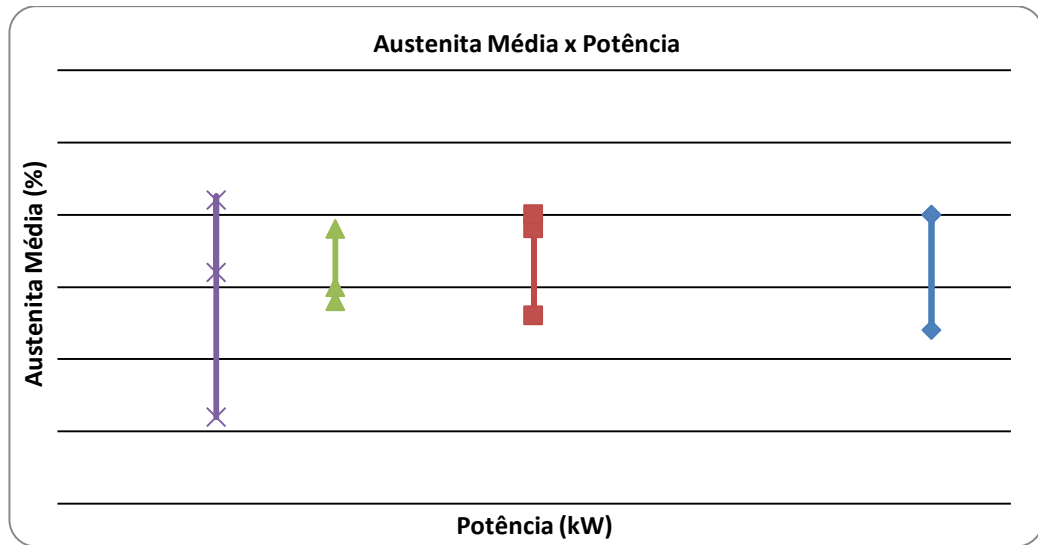
TABELA 3 - Medidas de porcentagem de austenita e ferrita em cada uma das direções do aço inoxidável duplex UNS S 32205 como recebido

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.

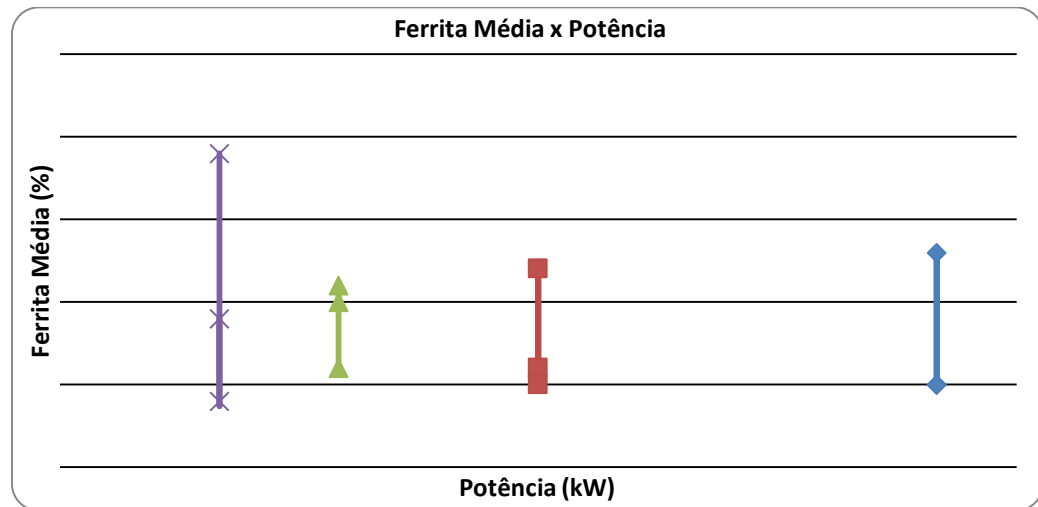
Foi realizado também, um comparativo entre a fase do material (ferrita e austenita) com a potência utilizada, para saber a influência dos mesmos no cordão de solda. Na pesquisa apresentada por Crespo (2014), analisando-se os gráficos das figuras 8 e 9, constata-se que a potência de 0,6 kW foi a que teve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

FIGURA 8 - Gráfico de variabilidade da porcentagem de austenita média para cada potência de soldagem utilizada



Fonte: Crespo, 2014.

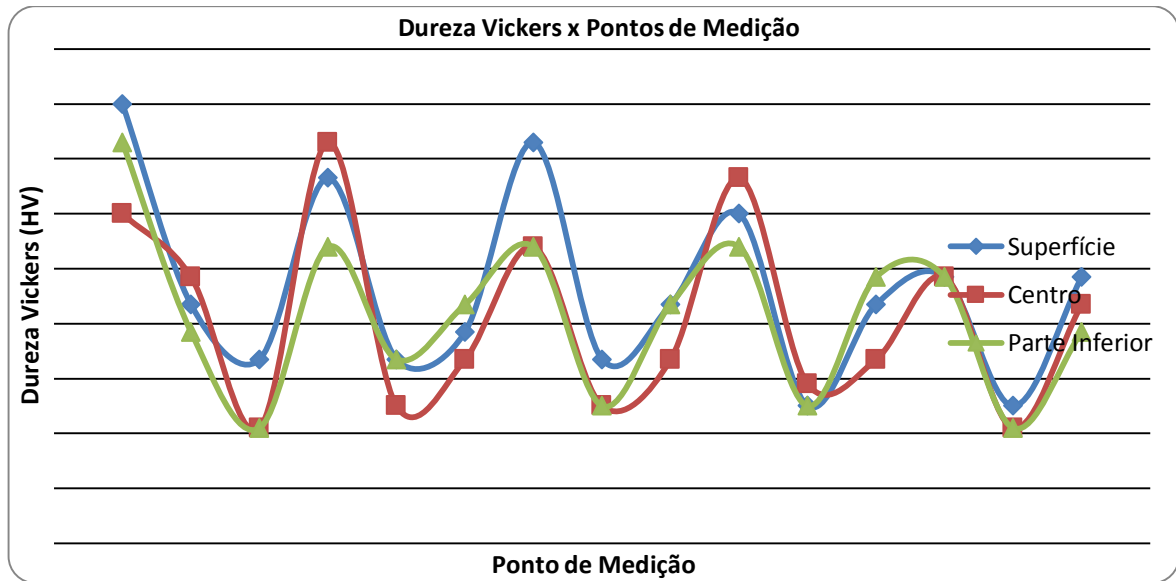
FIGURA 9 - Gráfico de variabilidade da porcentagem de ferrita média para cada potência de soldagem utilizada



Fonte: Crespo, 2014.

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

FIGURA 10 - Gráfico 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 baseadas nos resultados obtidos muito úteis para a utilização deste processo de solda neste tipo de material. Pode-se observar que quanto maior a potência aplicada, mais profundos e largos 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, mais próximo, possível do fabricante, que é de 50% cada um. A dureza do material não variou, manteve-se basicamente a mesma nas 03 regiões, que forma realizadas as análises.

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, to observe the change of austenite and ferrite levels, which 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 due to its properties, among which stands out; the resistance to corrosion.

Keywords: Stainless steel super duplex. Laser welding pulsed Nd: YAG lasers. Corrosion.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIAVERINI, V. *Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento*. 2. ed, vol. 3. Editora: McGraw-Hill, 1986. Disponível em: <<https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2012/10/vicente-chiaverini-tecnologia-mecc3a2nica-vol-iii-materiais-de-construc3a7c3a3o-mecc3a2nica.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- 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. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113854/000802220.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- FOLKHARD, E. *Welding metallurgy of stainless steels*. Springer-Verlag Wien, New York, 1988. (Tradução). Disponível em: <<https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/Valtair%2520-%2520Metalurgia/Pasta%2520de%2520inox/Welding%2520Metallurgy%2520Of%2520Stainless%2520Steel-002.pdf&prev=search>>. Acesso em: 18 out. 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). Disponível em: <<https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://documentslide.com/documents/cyclic-deformation-behaviour-of-superduplex-stainless-steels.html&prev=search>>. Acesso em: 16 out. 2016.
- 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. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>. Acesso em 10 out. 2016.
- 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). Disponível em: <<https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/mst.1992.8.8.685&prev=search>>. Acesso em: 11 set. 2016.
- 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). Disponível em: <<https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://isi-dl.com/downloadfile/52601&prev=search>>. Acesso em: 19 set. 2016.

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). Disponível em: <https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=https://books.google.com/books/about/Phase_Diagrams_of_Ternary_Iron_Alloys_Ph.html%3Fid%3DGqdTAAAAMAAJ&prev=search>. Acesso em: 10 set. 2016.

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. Disponível em: <http://abmbrasilkbrtec.hospedagemdesites.ws/seminarios/conaf/5017_pt.asp>. Acesso em: 06 set. 2016.

SEDRIKS, A. J. *Corrosion of stainless steel*. New York, 1996. (Tradução). Disponível em: <<https://www.abebooks.com/Corrosion-Stainless-Steels-Hardback-Aristide-John/2685072368/bd>>. Acesso em: 02 out. 2016.

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). Disponível em: <https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=https://books.google.com.br/books%3Fid%3DVF3kkYBI0-oC%26pg%3DPA13%26lp%3DPA13%26dq%3DDuplex%2Bstainless%2Bsteels%2B%25E2%2580%2593%2Ba%2Btale%2Bof%2Btwo%2Bphases%26source%3Dbl%26ots%3DUms9y0fMiA%26sig%3DBDFb6Gl8qj_5ZbmSl5RixfVz8TQ&prev=search>. Acesso em: 11 out. 2016.

VOORT, G. F. V. *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures*. 2000. (Tradução). Disponível em: <<https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=https://www.scribd.com/doc/145863510/Asm-Handbook-Vol-9&prev=search>>. Acesso em: 06 out. 2016.