

ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE APORTE TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES DE CHAPAS SOLDADAS DO AÇO INOXIDÁVEL SUPERDUPLEX UNS S32750

Aline Costa Cezar¹; Alexandre Ferraz Dourado²; Tiago Nunes Lima²; Francisco Magalhães do Santos Jr²; Leonardo Oliveira Passos da Silva²; Bruno Caetano dos Santos Silva²; André Souza Oliveira²; Rodrigo Santiago Coelho²

¹ Bolsista; Iniciação Tecnológica – Petrobras/ANP; alineczar08@gmail.com

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; e-mail do orientador

RESUMO

Os aços inoxidáveis superduplex, quando soldados, podem precipitar fases deletérias que afetam as propriedades mecânicas finais, especialmente na zona termicamente afetada (ZTA). Dentre os parâmetros de soldagem, destaca-se o aporte térmico como um dos possíveis causadores desse efeito, principalmente em soldagens multipasses. Dessa forma, o presente trabalho avaliou a influência da variação do aporte térmico no balanceamento da microestrutura final e nas propriedades mecânicas da ZTA de chapas soldadas com multipasses do aço inoxidável superduplex UNS S32750. Neste estudo, foram realizadas análises comparativas entre as amostras com aportes de 1; 1,45 e 1,47 kJ/mm utilizando o processo TIG mecanizado. Foi analisada a variação do aporte térmico sobre a fração volumétrica de ferrita δ e a microdureza na ZTA. Os resultados da análise microestrutural mostram que quanto maior o aporte, menor a quantidade de ferrita; já para dureza não foi possível identificar uma tendência.

PALAVRAS-CHAVE: soldagem; microestrutura; superduplex; aporte térmico.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo de união de peças metálicas baseado no aquecimento das superfícies de contato de modo a levá-las a um estado de fusão ou de plasticidade.¹ Esse procedimento de fabricação tem sido fundamental no setor de óleo e gás, sobretudo para soldagem de aços inoxidáveis superduplex (AISD). Estes materiais apresentam a combinação adequada de resistências mecânica e à corrosão por pite, necessárias em uma série de aplicações, principalmente na presença de água do mar, como é o caso de equipamentos utilizados nas plataformas *offshore*.² Essas características são provenientes de uma microestrutura bifásica balanceada, de frações similares de ferrita delta e austenita, e também, da composição química baseada no sistema Fe-Cr-Ni com adições de Cr, Mo, N, W e Cu.³

Apesar destas vantagens, a soldabilidade desse material oferece um grande desafio. A composição química do AISD o faz suscetível à precipitação de fases intermetálicas, além de carbonetos e nitretos que comprometem o desempenho das juntas soldadas.³ A ZTA é a região onde geralmente ocorrem os problemas associados a soldagem de superduplex.⁴ Dentre os parâmetros da solda, o aporte térmico é considerado um dos mais importantes, pois corresponde a energia térmica necessária para fundir o material durante a soldagem. No caso de múltiplos passes, ou seja, múltiplos aportes térmicos, há o reaquecimento da ZTA e isto conduz a mudanças microestruturais nesta região em função do ciclo térmico⁵.

Quando a junta é reaquecida pelos passes sucessivos, o reaquecimento pode levar ao crescimento da austenita intergranular e à precipitação de austenita intragranular. Da mesma forma, os nitretos são parcialmente ou totalmente dissolvidos, gerando um aumento no teor de nitrogênio na matriz e favorecendo a precipitação da austenita.⁶ Dessa forma, a garantia de uma junta balanceada e isenta de fases indesejadas está diretamente relacionada ao controle dos parâmetros e ciclos térmicos.³

O controle da fabricação de peças soldadas é uma prática fundamental. Por ser um procedimento sensível às condições operacionais, ocorrem desvios durante o processo e, conseqüentemente, uma variabilidade de características nas soldas resultantes. Atualmente, sistemas de monitoramento vêm sendo utilizados com intuito de reduzir os prejuízos (materiais e humanos) provocados por falhas em juntas soldadas.⁷ No entanto, para que essa ferramenta tenha confiabilidade, o estudo do material e a coleta de dados da soldagem se faz imprescindível.

Portanto, visando compreender melhor a influência desse parâmetro nas propriedades finais do AISD, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os resultados de fração volumétrica de ferrita e microdureza da ZTA em função da variação do aporte térmico em chapas soldadas.

2. METODOLOGIA

Materiais

O material utilizado foi o AISD UNS S32750 sob o formato de chapa de 3mm. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química obtidas no certificado do material como recebido. O certificado da chapa indica que a chapa possui dureza de 326 HV e percentual de 49/51% de ferrita/austenita.

Tabela 1. Composição química em % da chapa de 3 mm do AISD UNS S32750.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
0,014	0,37	0,77	0,027	0,001	24,78	6,87	3,84	0,270	0,265

Para análise foram utilizadas 3 juntas soldadas com dois passes, empregando-se o processo TIG; o metal de adição foi o ER2594 similar ao metal de base e o valor do aporte médio foi monitorado pela maleta portátil Arc Logger XIII (ALX III). Para a definição dos valores do aporte térmico (Tabela 2) foi utilizada a norma I-ET-3010.90-1200-955-PPC-002, específica para soldagem de aços inoxidáveis, que sugere a janela de valores de aporte térmico entre 0,5 e 1,5 kJ/mm para promover o balanceamento de fases entre a ferrita e austenita.

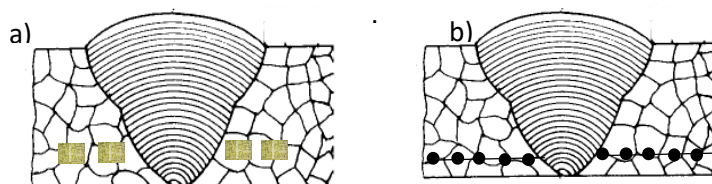
Identificação da Amostra	Número de Passes	Aporte Térmico (kJ/mm)		Corrente (A)	Tensão (V)
		1° Passe	2° Passe		
CP1	2	1,00	0,87	94-138	10-12
CP2	2	1,45	1,26	123-187	10-12
CP3	2	1,47	1,33	123-188	10-13

Caracterização

A quantificação da ferrita/austenita foi realizada seguindo a norma ASTM E 562 em que as imagens das micrografias foram cobertas com uma grade de 196 pontos e a porcentagem de ferrita foi calculada a partir do número de pontos sob a fase ferrítica e do número total de pontos. Foram retiradas duas imagens da ZTA de cada lado do primeiro passe da solda com aproximação de 500x, conforme ilustrado na Figura 1.

As propriedades mecânicas da ZTA foram avaliadas a partir da microdureza Vickers (HV2) com micrômetro da marca Shimadzu, Modelo HVM-2TE. O ensaio seguiu orientações da norma NACE MR0175 e foram realizadas 5 impressões ao longo da ZTA sob carga de 19,61N em 10s, com espaçamento de 2,5mm entre elas.

Figura 1. Representação esquemática da região estudada. a) método para análise microestrutural; b) método para microdureza HV



Fonte: Chiaverini, 1986 (adaptado)

Os corpos de provas tanto para obtenção de imagens no microscópio quanto para microdureza foram polidos com pasta de diamante e atacados eletroliticamente com solução de KOH durante 7s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos referentes ao percentual médio volumétrico das fases presentes e microdurezas do material estão descrito nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 4.

Tabela 2. Valores do percentual médio de fases encontradas na ZTA do AISD UNS S32750



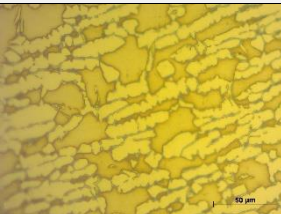
	CP1	CP2	CP3
			
%Ferrita	42% ± 5%	39% ± 2%	28% ± 2%
%Austenita	58% ± 5%	61% ± 2%	72% ± 2%

Tabela 3. Microdureza da ZTA do AISD UNS S32750

	Lado Esquerdo	Lado Direito
CP1	293,6 ± 9,3	289,2 ± 9,8
CP2	273,2 ± 5,8	277,0 ± 5,2
CP3	292,2 ± 10,5	275,4 ± 8,0

As normas ASTM E562 e NORSOK 630 determinam que na região de raiz do UNS S32750 devem conter teores de 35 a 65% de ferrita para a solda ser considerada aprovada. Dessa forma, a partir dos resultados obtidos têm-se que o CP3 não atende essas condições. Percebe-se que à medida que o aporte aumenta, a fração volumétrica de ferrita diminui, chegando a atingir 28% com desvio de $\pm 2\%$ na última amostra. Isso pode ser atribuído ao fato que a ZTA, durante a soldagem com elevados aportes, o resfriamento se torna mais lento e ocorre a transformação da ferrita em austenita.^{5,7} Além disso, nota-se que mesmo com a pouca variação de energia fornecida entre CP1 e CP2, houve o decréscimo brusco de grãos ferríticos que pode sugerir a decomposição dessa fase em fases deletérias^{4,7}. No entanto, as mesmas não foram identificadas nas imagens com aproximação de 500x.

A tabela indica que não houve uma tendência do comportamento da dureza à medida que o valor do aporte térmico aumentou⁵. Esperava-se que os aços soldados que apresentaram menores percentuais de ferrita correspondessem às menores durezas, visto que a dureza da ferrita é mais elevada que a da austenita.⁵ Entretanto para o CP 3, mesmo possuindo a menor quantidade de ferrita das amostras, a região termicamente afetada apresentou valores próximos ao de CP1, com uma dureza média de 292,2 HV e desvio de $\pm 10,43$. Esse comportamento se mostra bastante incondizente com os encontrados na literatura e merece uma atenção mais detalhada, porém, este fato pode ser indicativo de formação de fase sigma.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise microestrutural indica que o percentual de ferrita delta é inversamente proporcional ao aporte térmico, entretanto, como houve uma queda brusca para a última amostra é indicado análises suplementares para a completa elucidação do estudo, como identificação de fases por difração de raio x, análise da taxa de resfriamento. Sendo assim, será possível avaliar se houve a precipitação de fases intermetálicas ou nitretos\carbonetos. Para os resultados da microdureza, o comportamento das primeiras amostras se mostraram condizentes com a literatura, enquanto a última apresentou dureza comparável à primeira, mesmo tendo percentuais de ferrita bem diferentes. De forma a obter dados mais concretos, sugerem-se análises futuras com base em dados referentes à tenacidade do material e avaliação dos desvios.

5. REFERÊNCIAS

- ¹CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia mecânica. McGraw Hill, 1986.
- ²MARTINS, Marcelo; CASTELETTI, Luiz Carlos. Aços inoxidáveis duplex e super duplex—obtenção e caracterização. Revista Fundação e Serviços, ano, v. 17, 2007.
- ³VASCONCELLOS, Pedro Ivo Guimarães de; ROSENTHAL, Ruben; PARANHOS, Ronaldo Pinheiro da Rocha. Estudo da soldagem de tubos de aço inoxidável duplex e superduplex na posição 5G. Soldagem & Inspeção, v. 15, n. 3, p. 191-199, 2010.
- ⁴FONSECA, C. S. Influência do aporte térmico sobre a microestrutura e a susceptibilidade a formação de fase sigma no aço inoxidável duplex SAF2205. 2015. 105f. Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais, v. 105, 2015.
- ⁵ALVES, F. P. Estudo da Evolução Microestrutural de Juntas de Aço Inoxidável Superduplex em Soldagem TIG Orbital com Múltiplos Passes. Rio de Janeiro: Dissertação (mestrado)—UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2011.
- ⁶OLIVEIRA, Carolyn Gomes de. Soldagem multipasse e envelhecimento térmico à 475° C de tubos de aço inoxidável superduplex UNS S32750. 2019..
- ⁷COELHO, Fagner Guilherme Ferreira et al. Uso de Sistema de Visão de Baixo Custo para Monitoramento de Distorções Durante Deposições Multicamadas no Processo de Soldagem GMAW. Soldagem & Inspeção, v. 25, 2020.
- ⁸VIDEIRA, Arthur et al. Influência do aporte térmico da soldagem GTAW no balanço de fases Ferrita/Austenita do Aço Inoxidável Duplex UNS S32205. 2016