

SOLDAGEM DE CALIBRAÇÃO PARA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO AÇO INOXIDÁVEL SUPER DUPLEX UNS S32750 NA ESPESSURA DE 3 MM.

Francisco Magalhães dos Santos Junior¹; Leonardo Oliveira Passos da Silva² Luã Fonseca Seixas³; Alexandre Ferraz Dourado⁴; Daniel Marques de Souza⁵; Tiago Nunes Lima⁶; Bruno Caetano dos Santos Silva⁷; Rodrigo Santiago Coelho⁸

¹ Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); magalhaesjun@gmail.com

² Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); leoliveirap@gmail.com

³ Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); lua.seixas03@gmail.com

⁴ Eng. Alexandre Ferraz Dourado; SENAI CIMATEC; Salvador - BA; alexandre.dourado@fieb.org.br

⁵ MSc. Daniel Marques de Souza; SENAI CIMATEC; Salvador - BA; daniel.ms@fieb.org.br

⁶ MSc. Tiago Nunes Lima; SENAI CIMATEC; Salvador - BA; tiago.nunes@fieb.org.br

⁷ MSc. Bruno Caetano dos Santos Silva; SENAI CIMATEC; Salvador - BA; bruno.silva@fieb.org.br

⁸ Prof. Dr.-Ing. Rodrigo Santiago Coelho; SENAI CIMATEC; Salvador - BA; rodrigo.coelho@fieb.org.br

RESUMO

Neste relatório é apresentada a soldagem de calibração do Aço Superduplex UNS S32750, na espessura de 3 mm. Esta soldagem teve como objetivo entender o comportamento térmico da junta soldada, através da parametrização e instrumentação da soldagem, caracterização da microestrutura, obtenção da curva tempo x temperatura e do aporte térmico de cada passe. Foi possível observar que o teor de ferrita aumenta à medida que o ponto analisado se encontra mais próximo da zona de fusão (ZF) devido ao crescimento dos grãos ferríticos nessa região. Em relação a ZF, foi observado que tanto no primeiro quanto no segundo passe o teor de ferrita permaneceu 40 e 60% respectivamente. Adicionalmente, o teor de austenita/ferrita da região da zona de fusão até a ZTA revelou que distanciando da região de crescimento de grãos o teor de ferrita diminui.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem de calibração, Zona Termicamente Afetada (ZTA), Simufact Welding®, *Gas-shielded Tungsten Arc Welding* (GTAW), Aço inoxidável super duplex, Simulação termomecânica.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de monitorar em tempo real um processo de soldagem para um determinado material e que possa informar um plano de ação de correção se necessário, algumas etapas precisam ser avaliadas: (1) revisão sistemática para mapear o que já está disponível no mercado e na literatura, (2) conhecer e caracterizar o aço como recebido, (3) desenhar um planejamento experimental robusto, (4) realizar soldas de calibração que visa configurar e definir os parâmetros da simulação numérica e termomecânica, (5) modelar numericamente e fisicamente o processo de soldagem, seus parâmetros e os efeitos no material, (6) desenvolver uma plataforma de controle, (7) realizar testes experimentais da plataforma e do processo, (8) realizar a calibração dos dados na plataforma e por fim, (9) escalonar o processo para um ambiente real. Este trabalho tem como objetivo descrever, de forma preliminar, a etapa (4) realizar soldas de calibração, que visa configurar e definir os parâmetros da simulação numérica e termomecânica do aço inoxidável super duplex (AISD) UNS32750 na espessura de 3mm. Todas essas informações são necessárias para realizar a calibração da simulação numérica da soldagem através do Software Simufact Welding®.

O AISD UNS S32750 selecionado para o estudo possui uma alta resistência à corrosão e excelente resistência mecânica devido sua microestrutura bifásica composta pelas fases ferrita e austenita, com teores aproximadamente iguais. Porém, vale ressaltar que este aço pode fragilizar e diminuir a resistência à corrosão provocados pelo aquecimento. Neste contexto, a fase sigma é um dos compostos que se precipita e mais prejudica as propriedades do AISD. ¹

2. METODOLOGIA

As soldagens foram executadas utilizando a infraestrutura do SENAI CIMATEC Park e adotado o processo GTAW (*Gas-shielded Tungsten Arc Welding*) manual com argônio puro como gás de proteção e de purga da raiz, com o metal de adição ER2594 com 2,4 mm de diâmetro e composição química requerida pela norma AWS A5.9/A5.9M. Para o monitoramento e coleta de dados do tempo de arco aberto (s), tensão do arco (V), intensidade de corrente (A) e vazão do gás (L/s) foi utilizada a Maleta SAP fabricada pela IMC – Engenharia de Soldagem integrada a um computador para registro das informações coletadas, a temperatura de interpasse (°C) foi monitorada com a câmera termográfica, já a temperatura ao longo da chapa (°C) foi monitorada através dos 6 termopares soldados por solda capacitiva e o tempo de soldagem (s) foi registrada por câmeras de filmagens.

Posicionou-se o termopar “1” a 5 mm do início da junta e a 2 mm da borda chanfrada com objetivo de medição da temperatura interpasse. Os termopares “2” e “3” posicionados a uma distância aproximadamente de 50 mm do termopar “1” e com 10 mm de espaçamento entre eles, a partir da borda do chanfro. Os últimos três termopares foram posicionados a 250 mm do início da junta, sendo o termopar “4” na borda do chanfro, o termopar “5” espaçados 10 mm deste e o termopar “6” a 70 mm da borda.

Para análise macroestrutural, selecionou-se duas seções transversais e cortou-se cada região em cima da marcação do termopar, com o objetivo de relacionar o perfil térmico com a macrografia. Os cortes perpendiculares à zona de fusão foram feitos com disco de corte específico para inox, de espessura 1,6 mm, para evitar contaminação do material base na região monitorada pelo termopar.

Após lixadas e polidas, as amostras foram desembutidas e submetidas a ataque eletrolítico a 3V por cerca de 7 segundos utilizando uma solução de 40% de hidróxido de potássio como reagente (reagente de Murakami adaptado). Os ataques eletrolíticos foram realizados ligando-se cada amostra submersa na solução de 40% KOH ao cátodo e uma barra de titânio ao ânodo da fonte de alimentação de marca ICEL e modelo PS-1500.

O procedimento da coleta dos dados monitorados da soldagem e das análises das amostras/microestruturas foi de acordo com o autor Hosseini com algumas adaptações devido a infraestrutura e equipamentos disponíveis para o estudo. ² As macrografias foram divididas em duas partes, sendo a primeira com o objetivo de obter a geometria de cada passe. Essa análise é fundamental para calibrar a simulação no software Simufact Welding®. A segunda análise foi realizada objetivando obter informações a respeito da morfologia da Zona Termicamente Afetada (ZTA).

As macrografias foram obtidas por um Microscópio Óptico com uma aproximação de 16x. Foram necessárias à obtenção de mais de uma imagem e posterior montagem da macrografia completa com o software de edição de imagens Photoshop. Para medição das dimensões dos passes (largura e altura) utilizou-se o software ImageJ. As micrografias da ZTA foram obtidas em um aumento de 50x utilizando um microscópio Óptico. As imagens foram montadas com o auxílio do software Image Composite Editor (ICE). O mapeamento da quantidade de ferrita/austenita foi realizado em algumas regiões com o auxílio do software AxioVision. ²

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o monitoramento dos parâmetros da soldagem real de calibração foi possível obter os dados de soldagem das juntas e encontrar o aporte térmico de cada cordão e passe. Os dados da Maleta SAP foram confrontados com a filmagem com o objetivo de construir gráficos relacionando a temperatura em cada termopar e o tempo durante a execução das soldas. Estes dados servirão como 3 para calibração da simulação numérica no Simufact Welding®.

A soldagem foi executada em dois passes, sendo o primeiro dividido em seis cordões e o segundo em um único cordão. Os valores médios dos dados monitorados, como velocidade de soldagem e aporte térmico, estão apresentados na Tabela 1, a temperatura de interpasse entre o primeiro e o segundo passe foi de 137,5°C. Para calcular o aporte térmico não considerou a eficiência do processo conforme a norma ASME IX. ³

Tabela 1- Parâmetro coletados da junta de espessura 3 mm. Os valores são uma média dos resultados obtidos.

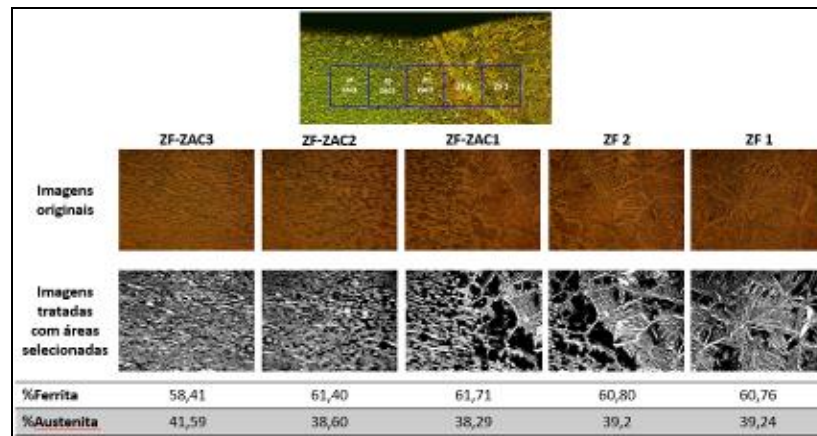
Passes	1º						2º
	1	2	3	4	5	6	7
Cordões							
Voltagem (V)	10,00	9,37	10,04	9,65	9,00	9,79	11,75
Corrente (A)	72,30	71,04	71,72	71,40	72,56	72,14	100,64
Velocidade (mm/min)	90,48	55,67	100,98	92,77	97,75	66,81	81,24
Tempo de Arco aberto (s)	43,7	49,7	47	58,1	54,4	54,4	258,5
Aporte térmico ASME IX (kJ/mm)	0,48	0,72	0,43	0,45	0,40	0,63	0,87
Temperatura de interpasse (° C)	-	-	-	-	-	-	137,5

As macrografias foram realizadas com o objetivo de analisar o perfil geométrico da ZTA e suas diferentes zonas. Foram realizadas análises, uma vez que o perfil da poça de fusão variou e, conseqüentemente, o perfil da ZTA varia de uma região para outra da chapa, o que pode estar associado com a Zona Termicamente Afetada de Temperatura Elevada (ZTATE) e a região mais afastada da zona de fusão apresenta alto teor de ferrita, porém com grãos mais finos, o que pode estar associado com a Zona Termicamente Afetada de Temperatura Baixa (ZTATB). ¹

A contagem de teor austenita/ferrita foi feito em três pontos ZTA, passe de raiz e passe de enchimento. Dessa forma, é possível observar que o teor de ferrita aumenta à medida que o ponto se encontra mais próximo da zona de fusão devido ao crescimento dos grãos ferríticos nessa região. Em relação a Zona de Fusão (ZF), foi observado que tanto no primeiro quanto no segundo passe o teor de ferrita permaneceu dentro da faixa exigida na norma I-ET da Petrobras (40/60%).^{1,4,5}

Também foi realizado um mapeamento de contagem do teor de austenita/ferrita da região da zona de fusão até a ZTA. Através desse mapeamento foi visto que a zona de fusão possui teor de ferrita um pouco acima do limite do recomendado na norma I-ET da Petrobras e, na ZTATE o teor de ferrita é elevado (acima de 61%). À medida que é distanciado da região de crescimento de grãos o teor de ferrita diminui. ^{4,5,6}

Figura 1 - Contagem de teor austenita/ferrita realizado em diferentes pontos da zona de fusão até a ZTA da chapa de 3 mm.



De acordo com a norma ASTM E 562 o teor de ferrita na raiz do metal de solda e no último cordão da solda deve estar na faixa de 30% a 70%. Já pela norma NACE-MR 0175 – ISO 15156, o aço duplex deve conter um teor de ferrita (fração volumétrica) entre 35% e 65% e a faixa exigida na norma I-ET da Petrobras é entre 40 e 60%. Para cada norma a especificação do teor de ferrita / austenita é de acordo com a sua aplicação e a necessidade à resistência mecânica e corrosão. Nesse estudo considerou-se a I-ET da Petrobras como critério de aprovação por se tratar de ambientes mais agressivos como o Pré -sal. ^{4,7,8}

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos, como dimensões do cordão de solda da junta, são as entradas para modelagem da simulação numérica no Simufact Welding®. Os gráficos de perfil térmico versus tempo servirão para comparar com o gráfico obtido pela simulação e, caso os resultados estejam similares, significa que o software simulou com certo grau de precisão. Esses gráficos são de suma importância no projeto, já que também será como input nos ensaios na Gleeble®. As micrografias servirão para comparar os resultados da soldagem real com os resultados obtidos pós ensaios na Gleeble®.

5. REFERÊNCIAS

- ¹SOUZA, Juliana Primo Basílio de et al. **Análise da resistência à corrosão por pite em soldas de reparo pelo processo TIG em aço inoxidável superduplex UNS S32750.** *Soldagem & Inspeção*, v. 16, n. 2, p. 104-113, 2011.
- ²HOSSEINI, Vahid A. et al. Influence of multiple thermal cycles on microstructure of heat-affected zone in TIG-welded super duplex stainless steel. *Welding in the World*, v. 60, n. 2, p. 233-245, 2016.
- ³ASME, “**Welding, Brazing and Fusing Qualifications,**” *ASME IX - Boil. Press. Vessel Codes*, 2013, doi: 10.1115/1.861981_ch25
- ⁴PETROBRAS. **I-ET-3010.90-1200-955-PPC-002, Welding Technical Specification**, Presalt FPSOs – Standard Modules.
- ⁵DE LIMA, Daniela Bianchi Ponce Leon; PAREDES, Ramón Sigifredo Cortés; GOMES, Rogerio. **Efeitos da energia de soldagem na microestrutura do aço inoxidável Superduplex Uns S32750.** 2011.
- ⁶VASCONCELLOS, 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.
- ⁷ASTM E562-19, **Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count**, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2019
- ⁸ISO 15156 / NACE-MR0175 **Petroleum and natural gas industries— Materials for use in H2S-containing Environments in oil and gas production**, Geneva, 2001.