

## EFEITOS DO ENVELHECIMENTO TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO METAL DE SOLDA EM AÇO INOXIDÁVEL SUPERDUPLEX

III Congresso Online de Engenharia de Materiais. inscrições encerradas, 4ª edição, de 27/04/2021 a 30/04/2021  
ISBN dos Anais: 978-65-89908-00-5

**SILVA; Gustavo Teixeira da <sup>1</sup>, FARNEZE; Humberto Nogueira <sup>2</sup>, DIAS; Joanes Silva <sup>3</sup>, GUIMARÃES; Pedro Ivo <sup>4</sup>**

### RESUMO

#### RESUMO

Os aços inoxidáveis Superduplex (AISD) apresentam excelentes propriedades mecânicas e de resistência à corrosão, quando comparados à outras famílias de aços inoxidáveis. Essas características são oriundas principalmente de sua composição química e microestrutura composta de austenita( $\gamma$ ) e ferrita ( $\delta$ ). Neste sentido, o mesmo está sendo especificado para o segmento offshore, para aplicações em serviços com temperaturas elevadas. Porém, o processo de fabricação de soldagem pode provocar mudanças nas principais características desses aços, principalmente na resistência à corrosão. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos do envelhecimento térmico na microestrutura e resistência à corrosão do metal de solda em aço UNS 32750, produzido pelo processo Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). Para este estudo foram efetuados tratamentos de envelhecimento térmico a 550°C durante 24 horas e 850°C durante 1 hora. Nestas condições, foram realizadas caracterizações microestruturais por microscopia ótica (MO) e permeabilidade magnética. A resistência a corrosão foi avaliada por ensaios potenciodinâmicos cíclicos em solução de 3,5% de NaCl. Os resultados obtidos indicaram que o aumento da temperatura de exposição promoveu no metal de solda a formação progressiva de fases intermetálicas, acarretando a queda da resistência à corrosão por pites.

#### ABSTRACT

Super duplex stainless steels have excellent mechanical properties and resistance to corrosion, when compared to other families of stainless steels. These characteristics come mainly from its chemical composition and microstructure composed of austenite ( $\gamma$ ) and ferrite ( $\delta$ ). In this sense, the same is being specified for the offshore segment, for applications in services with high temperatures. However, the welding manufacturing process can cause changes in the main characteristics of these steels, mainly in corrosion resistance. Thus, the objective of this work was to analyze the effects of thermal aging on the microstructure and corrosion resistance of the UNS 32750 steel weld metal, produced by the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process. For this study, thermal aging

<sup>1</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, gustavo.teixeira@aluno.cefet-rj.br

<sup>2</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, humberto.farneze@cefet-rj.br

<sup>3</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, joanes.dias@cefet-rj.br

<sup>4</sup> NUCLEP, pedroivo@nuclep.gov.br

treatments were carried out at 550°C for 24 hours and 850°C for 1 hour. Under these conditions, microstructural characterizations were performed by optical microscopy (OM) and magnetic permeability. Corrosion resistance was evaluated by cyclic potentiodynamic tests in a 3.5% NaCl solution. The results obtained indicated that the increase of the exposure temperature promoted in the weld metal the progressive formation of intermetallic phases, causing the drop of resistance to pitting corrosion.

## INTRODUÇÃO

O Brasil se tornou um país de grande relevância na demanda energética mundial. A descoberta de grandes reservas de petróleo e gás de qualidade e alto valor de mercado fez do Pré-Sal uma descoberta de maior relevância da indústria petrolífera dos últimos tempos. O Pré-Sal revelou grandes desafios para perfuração e exploração de petróleo e seus derivados, devido sua complexidade de produção por dificuldade de acesso e estrutura montada, que dentre elas se destacam a distância da costa cerca de 300 km, lâmina d'água de 2200 m de profundidade, camada de sal de 2000 m e grandes reservas a 5000 m do leito do mar [1]. Frente ao rumo que a indústria de petróleo brasileira se encaminhava, para extração e produção obter sucesso em eficiência e segurança de operação, foi necessário aprimorar e desenvolver novas tecnologias. As inovações necessárias à aplicação de novos materiais correlacionados a equipamentos e tubulações capazes de resistir a fluidos altamente corrosivos e com altas pressões foram peças fundamentais neste processo de crescimento. As condições meteocenográficas imposta pelo ambiente marítimo atrelado a novas exigências de resistência mecânica fez com que os aços inoxidáveis ganhassem grande aplicabilidade no segmento "offshore". Os aços inoxidáveis superduplex, vem ganhando espaço e sendo aplicados em diversos segmentos na indústria naval, petroquímica, energética e plataformas de petróleo e gás, sendo utilizados em vasos de pressão, reatores, trocadores de calor, digestores, tubulações, umbilicais, bombas e ainda em equipamentos em que a produção não pode ser interrompida. Para materiais com fases metaestáveis como os superduplex, ainda há desafios a serem superados, principalmente quando se trata de processos de fabricação por união metálica por solda em campo. É necessário se obter um maior controle do processo para que as porcentagens de austenita e ferrita atendam aos requisitos normativos e assim evitar que o material venha a falhar nesses pontos de união. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo ampliar os conhecimentos e aplicação dos materiais inoxidáveis duplex e superduplex, pelo estudo dos efeitos provocados pelo envelhecimento térmico, com as temperaturas de 550°C e 850°C, na microestrutura e na resistência à corrosão do metal de solda (MS) produzido pela soldagem do tubo de aço inoxidável superduplex UNS 32750, no processo Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, o material utilizado como metal de base foi um tubo sem costura de aço inoxidável superduplex UNS 32750, fabricado conforme a norma ASME B36.19 [2], possuindo diâmetro nominal de 4" com espessura de 6 mm. A soldagem foi realizada pelo processo GTAW com soldador qualificado. Como material de adição foi utilizada a vareta do tipo AWS ER 2594, com diâmetro (f) de 2,4 mm. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as composições químicas do

<sup>1</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, gustavo.teixeira@aluno.cefet-rj.br

<sup>2</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, humberto.farneze@cefet-rj.br

<sup>3</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, joanes.dias@cefet-rj.br

<sup>4</sup> NUCLEP, pedroivo@nuclep.gov.br

metal de base, de adição, metal de solda e os parâmetros utilizados para controle da soldagem.

Os envelhecimentos térmicos foram realizados em um forno tipo mufla, nas temperaturas de 550°C e 850°C, por períodos de 24 horas e 1 hora, respectivamente, com posterior resfriamento em água. É ressaltado que estas condições foram comparadas à condição da amostra como soldada (CS), ou seja, sem tratamento de envelhecimento. As microestruturas dos metais de solda foram analisadas por microscopia ótica (MO). O teor de ferrita delta ( $\delta$ ) na junta soldada foi medido utilizando um Ferritoscópio Helmut Fisher®. A avaliação da susceptibilidade do material a corrosão por pites foi realizada pela técnica de polarização potenciodinâmica cíclica, conforme a norma ASTM G 61 [3].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1(a) mostra a micrografia do metal de solda na condição como soldado. É possível observar que a microestrutura apresenta o aspecto característico de um aço superduplex, onde também se verifica a presença de austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\delta$ ) em proporções equilibradas, sem a presença de fases intermetálicas. Na Figura 1(b) estão apresentados os aspectos microestruturais do metal de solda que sofreu envelhecimento térmico à 550°C durante 24 horas. É possível observar as fases austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\delta$ ), e ainda o surgimento de fases intermetálicas (FI) no interior da ferrita ( $\delta$ ).

Para a microestrutura das amostras envelhecidas à 850°C durante 1 hora foi verificado um aumento das fases intermetálicas (FI) na ferrita ( $\delta$ ), causando uma decomposição quase completa da ferrita ( $\delta$ ), conforme mostrado na Figura 2. Esse comportamento está relacionado ao efeito da temperatura na taxa de difusão de Cr e Mo na ferrita ( $\delta$ ), aumentando a precipitação de fases intermetálicas ricas nesses elementos, tais como as fases sigma ( $\sigma$ ) e chi ( $\chi$ ) [4].

A Figura 3 apresenta a variação do teor de ferrita ( $\delta$ ) no cordão de solda das amostras como soldado e envelhecidas à 550°C e 850°C, conforme medições realizadas com ferritoscópio. Nota-se uma redução percentual da ferrita  $\delta$  que possivelmente é decorrente da precipitação de fases intermetálicas (FI), devido ao aumento da temperatura de envelhecimento. Essas fases são paramagnéticas e alteram a permeabilidade magnética do material [5,6]. Desta forma, a amostra envelhecida a 850°C apresenta maior variação, correspondendo ao observado na microestrutura da Figura 2.

É possível verificar na Tabela 3 que a amostra envelhecida termicamente a 850°C durante 1 hora, apresentou menor potencial de pite (EPITE) e menor intervalo de passivação (EPITE - EPCA), quando comparada as

<sup>1</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, gustavo.teixeira@aluno.cefet-rj.br

<sup>2</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, humberto.farneze@cefet-rj.br

<sup>3</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, joanes.dias@cefet-rj.br

<sup>4</sup> NUCLEP, pedroivo@nuclep.gov.br

outras condições deste estudo, indicando que o aumento da temperatura de exposição pode desencadear a perda da resistência à corrosão por pites. Tal fato também foi observado no estudo de MOURA et al. [7], ao estudarem o efeito da resistência a corrosão por pites em um aço inoxidável duplex UNS S31803, quando exposto a temperaturas elevadas.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho que teve como objetivo analisar e estudar os efeitos do envelhecimento térmico nas condições de 550°C durante 24 horas e 850°C durante 1 hora, na microestrutura e resistência à corrosão do metal de solda em aço inoxidável UNS 32750, produzido pelo processo Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), permitiu as seguintes conclusões:

- Os ensaios de permeabilidade magnética indicaram uma diminuição abrupta da ferrita (d), nas amostras que sofreram envelhecimento térmico. Essa ocorrência é evidenciada na comparação do metal de solda como soldado, com o envelhecido a 850°C, indicando uma redução de cerca de 98% no teor de ferrita (d). Tal fato pode ser explicado pelo aumento da precipitação de fases intermetálicas.
- Comparada as outras condições, no metal de solda envelhecido a 850°C durante 1 hora sofreu uma diminuição significativa da resistência à corrosão, apresentando uma redução de 31% no potencial de pite, em relação ao metal de solda na condição como soldado, possivelmente pelo aumento da precipitação de fases deletérias.
- A amostra envelhecida a 850°C apresentou a pior condição, indicando que a temperatura foi o fator que mais afetou a resistência à corrosão do metal de solda.

## REFERÊNCIAS

- [1] PETROBRAS. Tecnologia e Inovação. Petrobras, 2018. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/tecnologia-e-inovacao/>>. Acesso em: 10 mar. 2021..
- [2] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B.36.19M - Stainless Steel Pipe, 2004.
- [3] ASTM INTERNATIONAL. G 61: Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys, 2009.
- [4] VILLANUEVA, D. M. E.; JUNIOR, F.C.P; PLAUT, R.L.; PADILHA, A. F. Comparative study on sigma phase precipitation of three types of stainless steels: austenitic, superferritic and duplex. Materials Science and Technology. v. 22, n. 9, 2006.
- [5] LO, K. H.; SHEK, C. H.; LAI, J. K.L. Recent developments in stainless steels. Materials Science and Engineering. n. R65, p. 39-104, 2009.
- [6] SILVA, E. M.; LEITE, J.P.; NETO, F.; LEITE, J. P.; FIALHO, W.M.L; ALBUQUERQUE, V.H.C.; TAVARES, J. M.R.S. Evaluation of the Magnetic Permeability for the Microstructural Characterization of a Duplex Stainless Steel. Journal of Testing and Evaluation. 44. 10.1520/JTE20130313. 2014.
- [7] MOURA, V. S.; LIMA, L.D.; PARDAL, J.M.; KINA, A.Y.; CORTE, R.R.A;

<sup>1</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, gustavo.teixeira@aluno.cefet-rj.br

<sup>2</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, humberto.farneze@cefet-rj.br

<sup>3</sup> CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, joanes.dias@cefet-rj.br

<sup>4</sup> NUCLEP, pedroivo@nuclep.gov.br

TAVARES, S.S.M. Influence of microstructure on the corrosion resistance of the duplex stainless steel UNS S31803. V.59, n.8 Materials Characterization, 2008.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Instituições pelo apoio prestado na execução do presente trabalho: Ao CEFET/RJ pelo suporte experimental; a CAPES, CNPq pelo apoio financeiro e a NUCLEP pelo apoio na realização da soldagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** UNS 32750, GTAW, Envelhecimento térmico, Corrosão por pites