



EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE SOLUBILIZAÇÃO EM JUNTAS DE AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S31803 SOLDADAS COM O PROCESSO TIG AUTÓGENO

Paula M. Ferreira^{1*}, Elaine C. Pereira¹, Ronaldo P. R. Paranhos¹ e Flávia W. Pinheiro¹

1 – Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), Campos dos Goytacazes, RJ.

2 - Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), Campos dos Goytacazes, RJ. Avenida Alberto Lamago, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, CEP 28013-602, RJ.

paulamunierf@gmail.com

RESUMO

Na indústria de petróleo e gás, um dos desafios encontrados é a fabricação dos equipamentos, com a utilização de materiais que resistam aos meios agressivos. O aço inoxidável duplex UNS S31803 é muito utilizado para esse fim, devido à sua boa combinação de resistências mecânica e à corrosão. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tratamento térmico de solubilização, por indução, pós-soldagem TIG autógena, em fitas de AID UNS S31803, com espessura de 2,5 mm. As amostras foram submetidas a dois parâmetros diferentes de tratamento, com tempo de 10 segundos, a temperaturas de 1050 e 1150 °C. Os resultados obtidos com o tratamento térmico foram comparados com os da condição como soldada, que foi a condição de referência. Foram feitas análises quantitativa e qualitativa das amostras, além de caracterização microestrutural, com uso de microscopia confocal, e estudo de resistência à corrosão através da norma ASTM G48. Foi observado que os melhores resultados foram encontrados com o tratamento de 10 segundos a 1150 °C, o qual foi capaz de eliminar nitretos de cromo e reestabelecer o equilíbrio adequado das fases ferrita e austenita. Além disso, o tratamento foi capaz de reduzir a dureza e proporcionar soldas isentas de trincas e descontinuidades, apresentando também baixo valor de taxa de corrosão.

Palavras-chave: *Aço inoxidável duplex, soldagem, corrosão, tratamento térmico de solubilização.*

INTRODUÇÃO

A microestrutura dos aços inoxidáveis duplex (AID) é denominada bifásica, pois consiste em frações volumétricas igualmente equilibradas de ferrita e austenita. Esse aço é comumente empregado na fabricação de equipamentos na indústria de petróleo e gás, devido à sua combinação de características favoráveis, como as resistências mecânica e à corrosão. No entanto, o comportamento desse material é dependente de sua microestrutura, que é fortemente influenciada por processamentos térmicos como a soldagem, o que pode acarretar em mudanças microestruturais. O excesso de ferrita e de precipitados indesejáveis pode causar deterioração catastrófica das propriedades, especialmente resistência à corrosão e tenacidade⁽¹⁰⁾.

Embora os AIDs modernos sejam desenvolvidos para ter uma excelente soldabilidade, podendo ser soldados pela maioria dos processos, é necessária a adequação do procedimento de soldagem, devido ao fato de a microestrutura composta por duas fases ser sensível às condições impostas na soldagem⁽⁴⁾. Por exemplo, ao soldar o AID com alto aporte térmico, a ferrita pode ser convertida em CrN e Cr₂N, enquanto a austenita não passa pelo mesmo processo⁽⁹⁾. Portanto, deve-se adotar práticas como realizar o processo soldando em faixas estreitas de energia de soldagem e efetuar o controle da temperatura, por exemplo.

Entretanto, caso isso não seja possível ou suficiente, torna-se necessária a realização de tratamentos térmicos pós-soldagem (TTPS), que têm como objetivos reduzir tensões residuais geradas devido à solidificação, a fim de se evitar a propagação de trincas de soldagem e, principalmente, de solubilizar os precipitados indesejáveis, de modo a reestabelecer o equilíbrio das fases ferrita e austenita⁽⁸⁾.

A literatura sinaliza^(12,13) que há uma grande relação entre os parâmetros de tratamento térmico (temperatura e tempo) e a morfologia, fração de fases e dissolução de precipitados na microestrutura do material. Nesse contexto, o estudo sobre a avaliação dos parâmetros de soldagem e do tratamento pós-soldagem se faz necessário para análise da influência desses processos nas propriedades mecânicas e de corrosão das chapas fabricadas. Assim, este trabalho visa avaliar os efeitos de diferentes tratamentos térmicos pós-soldagem na microestrutura do metal base, da zona fundida e da zona termicamente afetada do AID do tipo UNS S31803.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de aço inoxidável duplex UNS S31803, comercialmente conhecido como SAF 2205, no formato de fitas com espessura de 2,5 mm. Os corpos de prova foram soldados pelo processo TIG automático, com corrente contínua pulsada, polaridade direta (CC-) e sem a adição de metal, configurando assim um processo autógeno. Após o procedimento de soldagem, as amostras foram submetidas a tratamento térmico de solubilização, dissolvendo precipitados que foram formados durante o processo de solidificação. Foi utilizado o método de aquecimento por indução. O tratamento foi realizado na temperatura de 1150 °C, com tempo de 10 segundos. O resfriamento foi feito de forma natural, ao ar, até a temperatura ambiente. A amostra foi comparada com a condição sem tratamento térmico, denominada “condição de referência”, ou “condição como soldada”.

Foi realizado o corte das amostras, de modo a se avaliar a microestrutura da solda ao longo de três regiões: borda, região de 1/4 e região de 1/2 da solda. Elas foram então submetidas à preparação metalográfica, passando pelas etapas de embutimento, lixamento, polimento e ataque eletrolítico, com imersão das amostras em solução de ácido oxálico a 10%, corrente de 3 A, tensão de 3 V e tempo de ataque variando entre 6 a 20 segundos.

Foi empregada a microscopia confocal com o intuito de realizar a caracterização microestrutural qualitativa e quantitativa das amostras. Foi utilizado o microscópio confocal modelo Olympus OLS400. A caracterização da microestrutura foi feita de modo a permitir uma avaliação da microestrutura do metal base (MB), da zona termicamente afetada (ZTA) e da zona fundida (ZF), bem como a avaliação de possíveis precipitados, como nitretos e carbonetos.

A análise quantitativa permitiu a quantificação de ferrita presente nas amostras. Essa quantificação foi realizada utilizando o método manual de contagem de pontos, especificado na norma ASTM E562-11⁽²⁾, sobrepondo a cada imagem de interesse uma malha de 100 pontos.

Foi realizado ensaio de dobramento, de acordo com a ASME IX⁽¹⁾. Realizou-se também o ensaio de líquido penetrante, para avaliar se houve a ocorrência de trincas e discontinuidades na solda, consequentes do esforço de dobramento sofrido. Além disso, para análise da propriedade mecânica de dureza, foi aplicado o método de dureza Vickers, com carga de 500g (HV 0,5), durante um intervalo de 10 segundos.

Para análise da resistência à corrosão, foi realizado ensaio de corrosão com utilização de cloreto férrico, de acordo com a norma ASTM G48⁽³⁾ – método A. Foram submetidas ao ensaio as três regiões da solda, de cada condição de soldagem, contendo ZF, ZTA e parte do MB adjacente. O cálculo da taxa de corrosão foi feito de acordo com as equações da NACE RP 0775-2005⁽⁶⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Microestrutural

Condição Como Soldado

A Figura 1 mostra a microestrutura observada na ZF e na ZTA, respectivamente, da amostra da condição como soldada. É possível visualizar uma microestrutura típica de aço inoxidável duplex soldado com baixa energia de soldagem, apresentando matriz ferrítica e austenita, em uma morfologia de grãos maiores e sem direção preferencial, além da presença de nitretos de cromo na matriz ferrítica⁽¹¹⁾. Houve a presença de grande quantidade de nitretos de cromo na microestrutura em todas as regiões da chapa, tanto na ZF quanto na ZTA. Porém, houve maior quantidade de precipitação destes nitretos na ZTA, devido à elevada quantidade de ferrita nessa região, que se deve ao baixo aporte térmico e à soldagem sem metal de adição (autógena)⁽⁷⁾. Não foram identificados outros precipitados intermetálicos na microestrutura além dos nitretos de cromo (Cr_2N).

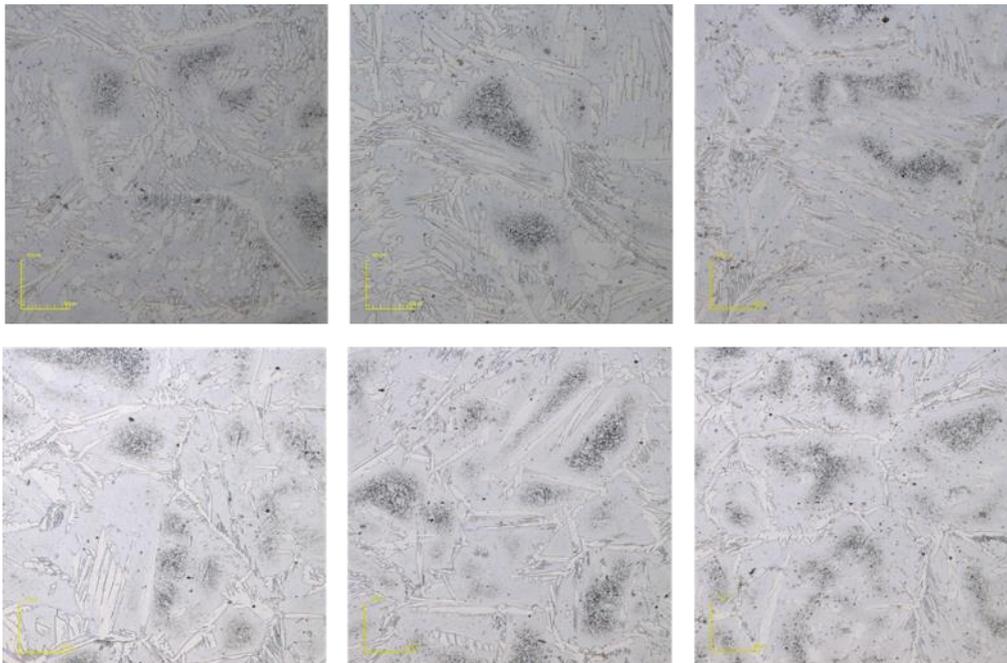


Figura 1 - Microestrutura observada na ZF (fileira de cima) e na ZTA (fileira de baixo) da amostra de condição como soldada.

Tratamento Térmico de Solubilização por 10 segundos a 1150 °C

A microestrutura observada na ZF e na ZTA da amostra tratada a 1150 °C por 10 segundos é exibida na Figura 3. Nesta condição, a microestrutura não apresentou nitretos em quantidade significativa em nenhuma das três regiões, tanto na ZF quanto na ZTA. Dessa forma, afirma-se que os nitretos de cromo foram solubilizados na matriz ferrítica após o tratamento térmico de solubilização, de forma significativa, nas diferentes regiões de solda analisadas. Assim, pode-se então afirmar que o tratamento promoveu a dissolução dos nitretos.

O tratamento também causou crescimento do teor de austenita. Na ZF, o teor de austenita se tornou maior do que o de ferrita, mas mantendo uma proporção considerada aceitável. Já na ZTA, obteve-se equilíbrio entre as proporções de ferrita e austenita. Também é possível notar a presença das diferentes morfologias de austenita: de Widmanstätten, intragranular e de contorno de grão.

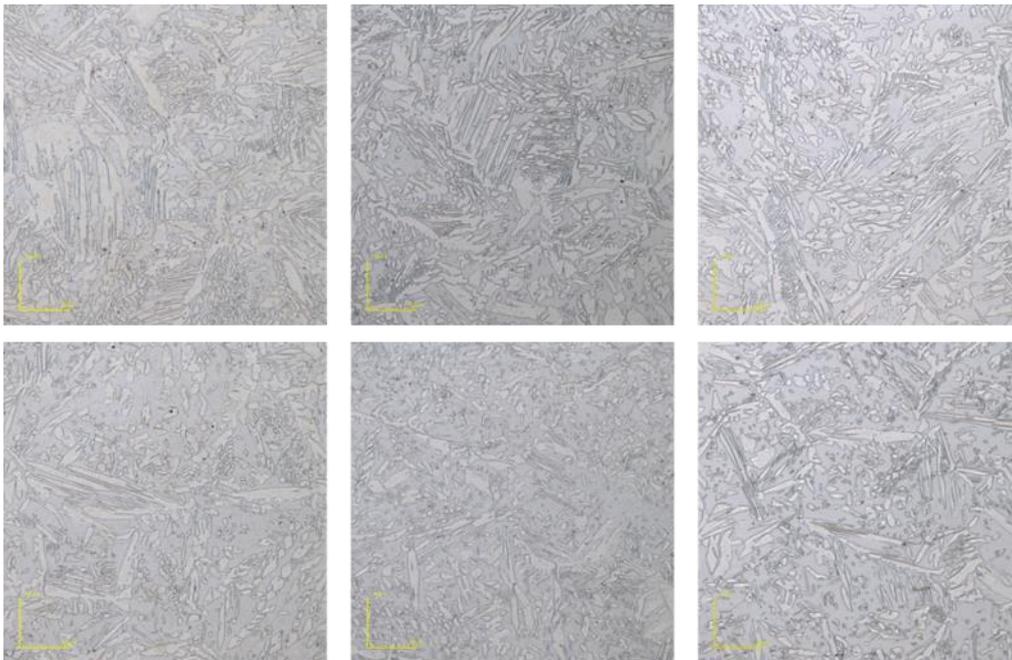


Figura 2 - Microestrutura observada na ZF (fileira de cima) e na ZTA (fileira de baixo) da amostra submetida a tratamento térmico de solubilização pós-soldagem por 10s a 1150 °C.

Ensaio Destrutivo

Após avaliação, todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de dobramento e de líquido penetrante obtiveram resultados considerados satisfatórios segundo o critério da ASME IX⁽¹⁾, que define que o ensaio é aceitável caso não ocorram trincas e descontinuidades maiores que 3,2 mm. Nenhuma das condições soldadas apresentou trinca e/ou abertura na solda.

No ensaio de dureza, os resultados variaram entre 247 a 303 HV, com um valor médio de 272,70 HV, no geral. De acordo com a NACE Standard MR0103-2003⁽⁵⁾, para aços inoxidáveis duplex soldados, a dureza média não deve exceder 310 HV, e nenhuma leitura individual deve exceder 320 HV. Com isso, todos os valores encontrados estão dentro do limite aceitável.

Resistência à Corrosão

A Tabela 1 mostra os resultados encontrados para a taxa de corrosão em cada uma das condições. Pode-se perceber que a condição tratada a 1150 °C por 10 segundos apresentou taxa

de corrosão consideravelmente menor que a condição como soldada. Esse fato confirma os resultados vistos na microestrutura, que se apresentou isenta de nitretos de cromo e com proporções de ferrita e austenita próxima ao equilíbrio.

Tabela 1 - Taxa de corrosão média de cada amostra.

Taxa de Corrosão	Como Soldado	10s a 1150°C
(mm/a)	2,2379	0,1485
(g/m²d)	45,7234	3,1920

CONCLUSÕES

Na condição tratada a 1150 °C a 10 segundos, o TTPS foi considerado eficiente. A microestrutura ao longo de toda a solda (borda, região de 1/4 e de 1/2) se tornou isenta de nitretos, com teores de ferrita e austenita próximos ao equilíbrio e considerados aceitáveis. A dureza também foi reduzida, quando comparada com a condição como soldado. Dessa forma, a microestrutura após o tratamento térmico resultou em uma baixa taxa de corrosão por pites.

O método automático de quantificação de fases apresentou menor dispersão de resultados quando comparado ao método manual, além da necessidade de tempo consideravelmente menor para análise, sendo considerado mais adequado.

Pode-se dizer que o tratamento térmico de solubilização pós-soldagem, de uma forma geral, foi capaz de reduzir a dureza e proporcionar soldas consideradas aceitáveis, com isenção de trincas e descontinuidades, de acordo com os resultados do ensaio de dobramento. Os resultados do ensaio de corrosão confirmaram o que foi visto nas análises microestruturais, de maneira que foi apresentada maior taxa de corrosão para maiores teores de ferrita e maior precipitação de nitretos de cromo.

REFERÊNCIAS

1. ASME seção IX. Qualificação de Soldagem, Brasagem e Fusão, 2010.
2. ASTM E562-11: Standard Test Method For Determining Volume Fraction By Systematic Manual Point Count, ASTM International, 2011.
3. ASTM G 48-03: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution.
4. ELSAADY, M. A., KHALIFA, W., NABIL, M. A., EL-MAHALLAWI, I.S. Effect of prolonged temperature exposure on pitting corrosion of duplex stainless steel weld joints. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 9, n. 4, p. 1407-1415, 2018.
5. NACE Standard MR0103. Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments, 2003.
6. NACE Standard RP 0775. Preparation, installation, analysis and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations, 2005.
7. NUNES, E. B., ALVES JUNIOR, F. N., MIRANDA, H. C., FARIAS, J. P., ABREU, H. F., SILVA, C. C., MOTTA, M. F. Efeito da energia de soldagem sobre a microestrutura e propriedades mecânicas da zona afetada pelo calor de juntas de aço inoxidável duplex. *Soldagem e Inspeção*, v. 16, n. 3, p. 223-231, 2011.
8. PILHAGEN, J., SIEURIN, H., SANDSTRÖM, R. Fracture toughness of a welded super duplex stainless steel. *Materials Science & Engineering A*, v. 606, p. 40-45, 2014.
9. RAMKUMAR, K. D., CHANDRASEKHAR, A., SRIVASTAVA, A., PREYAS, H., CHANDRA, S., DEV, S., ARIVAZHAGAN, N. Effects of filler metals on the segregation, mechanical

properties and hot corrosion behaviour of pulsed current gas tungsten arc welded super-austenitic stainless steel. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 24, p. 46-61, 2016.

10. SOUZA, D. D. B. G., VILARINHO, L. O. Influence of present phases in corrosion and mechanical behavior of UNS S31803 duplex stainless steel welded by conventional short circuit MIG/MAG process. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 5, p. 11244-11254, 2020.

11. TAVARES, S. S. M., PARDAL, J. M., NORIS, L. F., DINIZ, M. G. Microstructural characterization and nondestructive testing and of welded joints of duplex stainless steel in flexible pipes. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 15, p. 3399-3408, 2021.

12. YANG, Y., WANG, Z., TAN, H., HONG, J., JIANG, Y., JIANG, L., LI, J. Effect of a brief post-weld heat treatment on the microstructure evolution and pitting corrosion of laser beam welded UNS S31803 duplex stainless steel. *Corrosion Science*, v. 65, p. 472-480, 2012.

13. ZHANG, Z., JING, H., XU, L., HAN, Y., ZHAO, L., LV, X. Effect of post-weld heat treatment on microstructure evolution and pitting corrosion resistance of electron beam-welded duplex stainless steel. *Corrosion Science*, v. 141, p. 30-45, 2018.

EFFECT OF SOLUBILIZATION HEAT TREATMENT ON S31803 DUPLEX STAINLESS STEEL JOINTS WELDED WITH THE AUTOGENOUS TIG PROCESS

ABSTRACT

In the oil and gas industry, one of the challenges is the manufacture of equipment, using materials that resist aggressive media. UNS S31803 duplex stainless steel is widely used for this purpose, due to its good combination of mechanical and corrosion resistance. The objective of this work was to evaluate the effect of the solubilization heat treatment, by induction, after autogenous TIG welding, on AID UNS S31803 tapes, with a thickness of 2.5 mm. The samples were submitted to two different treatment parameters, with a time of 10 seconds, at temperatures of 1050 and 1150 °C. The results obtained with the heat treatment were compared with those of the as-welded condition, which was the reference condition. Quantitative and qualitative analyzes of the samples were carried out, in addition to microstructural characterization, using confocal microscopy, and corrosion resistance study using the ASTM G48 standard. It was observed that the best results were found with the treatment of 10 seconds at 1150 °C, which was able to eliminate chromium nitrides and reestablish the proper balance of the ferrite and austenite phases. In addition, the treatment was able to reduce hardness and provide welds free of cracks and discontinuities, also presenting a low value of corrosion rate.

Keywords: Duplex stainless steel, welding, corrosion, solution heat treatment.