

CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA E A CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S31803 SUBMETIDO A DIFERENTES TAXAS DE RESFRIAMENTO

E. Kassab^{1,2}, M.G.B. Guimarães¹, L. Olaya-Luengas¹, J.A.C. Ponciano Gomes²,
I.S. Bott¹

1Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

2Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

DEQM PUC-Rio - Departamento de Engenharia Química e de Materiais

Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea

22453-900 Rio de Janeiro - RJ -Brasil

elisajk@metalmat.ufrj.br

A presença em proporções similares das fases austenita e ferrita em aços inoxidáveis duplex permite excelente combinação de propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão. No entanto, os aços duplex sofrem transformações de fases influenciadas pela taxa de resfriamento imposta por ciclos térmicos de soldagem. Com o objetivo de avaliar as transformações microestruturais e como estas influenciam as propriedades do aço UNS S31803 foram realizados tratamentos térmicos de solubilização em duas temperaturas, 1000 e 1200°C, típicas do ciclo de soldagem seguido de resfriamento em água gelada, água à temperatura ambiente e óleo. A correlação entre a fração volumétrica das fases presentes e a resistência mecânica e a corrosão por cloreto foi avaliada. Foi observado que a 1200°C, ocorreu

aumento das propriedades mecânicas como por exemplo limite de escoamento. No entanto, para uma fração volumétrica de 71,7% de ferrita e 28,3% de austenita houve uma maior susceptibilidade à corrosão por pites.

Aço duplex, tratamento térmico, corrosão

INTRODUÇÃO

Aços inoxidáveis duplex são assim conhecidos por possuírem uma microestrutura composta de fases aproximadamente iguais de austenita (γ) e ferrita (δ). Essa microestrutura é responsável por uma combinação de propriedades que conferem ao material alta resistência à corrosão e boas propriedades mecânicas (1).

De um modo geral, em processos de soldagem por fusão, o balanço entre as fases austenita e ferrita pode ser desfeito devido ao ciclo térmico imposto pelo processo. Neste caso, tanto a resistência à corrosão, quanto o comportamento mecânicos podem ser afetados. O objetivo deste trabalho é investigar o efeito da alteração da fração volumétrica de fases decorrente de tratamentos térmicos sobre as propriedades mecânicas e resistência à corrosão do aço duplex UNS S31803.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado foi o aço inoxidável duplex UNS S31803 (SAF 2205) laminado, fornecido na forma de chapa com 9 mm de espessura.

Tratamentos térmicos

Com o objetivo de obter experimentalmente a fração volumétrica de fases correspondente a diferentes ciclos térmicos, 12 tratamentos térmicos foram realizados, mantendo-se constante o tempo de solubilização. Foram utilizadas as temperaturas de solubilização de 1000 °C e 1200 °C e três meios de resfriamento: resfriamento, água gelada (~8 °C), água à temperatura ambiente. (~27 °C) e óleo (~25 °C). Como consequência, diferentes taxas de resfriamento foram impostas. As

temperaturas escolhidas estão na faixa das temperaturas que ocorrem na ZTA e as amostras foram identificadas de acordo com a temperatura de solubilização e taxa de resfriamento.

O monitoramento da temperatura e das taxas de resfriamento foi efetuado por um termopar em contato com a parte útil do corpo de prova, com leituras realizadas por interface digital, ligada a um microcomputador.

Caracterização Microestrutural através de microscopia óptica

A microscopia óptica foi utilizada com objetivo de avaliar as amostras qualitativamente, quanto ao tamanho e morfologia dos grãos, e quantitativamente, quanto a contagem da fração volumétrica das principais fases presentes, δ e γ . O microscópio utilizado para a caracterização microestrutural óptica foi da marca Zeiss, modelo AxioCam ERc5s, e as imagens foram processadas pelo software Axio Vision.

A quantificação de cada uma das fases, δ e γ , foi realizada utilizando o programa de processamento de imagens, "FIJI", o qual, para cada fotomicrografia extraída ao longo de toda a região atacada da amostra com aumento de 200X, é realizado o processamento das imagens. Este é feito separando as imagens entre níveis de cinza e quantificando cada fase.

Inicialmente as amostras foram lixadas até a granulação de #1200 e polimento manual em pasta de diamante na sequência 6, 3 e 1 μm . O ataque químico utilizado para o contraste de fases foi o Behara, que revela a ferrita- δ na cor preta e a austenita- γ na cor branca. Foram realizados estudos estatísticos em 5 micrografias por condição.

Ensaio mecânicos

Foram realizados ensaios de tração em uma máquina INSTRON com capacidade de 250kN toneladas, modelo 5985.

Ensaio eletroquímico

Para os ensaios de corrosão, as amostras foram lixadas até lixa #600. Os ensaios foram realizados em solução de NaCl 3,5% preparados com NaCl da marca Vetec. Para os ensaios eletroquímicos foi utilizada uma célula de três eletrodos. Os eletrodos de trabalho foram os aços duplex submetidos a diferentes tratamentos térmicos. Os eletrodos de referência e contra-eletródo foram o eletródo de calomelano saturado (ECS) e a platina, respectivamente, os ensaios foram realizados à temperatura de 25°C. Esta célula eletroquímica foi conectada a um potenciostato digital e medidor de impedância da marca Autolab.

A resistência à corrosão foi estudada através da monitoração do potencial de circuito aberto (OCP) por 30 minutos para a estabilização do potencial de corrosão (E_{corr}), seguida de uma medida de polarização anódica. Para a polarização anódica, foi realizada uma varredura do OCP até 1V acima do OCP com uma velocidade de varredura de 1 mVs⁻¹. Foram realizadas ao 5 repetições com cada amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta a média dos resultados de fração volumétrica de ferrita e austenita das amostras analisadas. Cinco imagens foram utilizadas para cada condição de tratamento térmico para a contagem de fase.

Tabela 1: Fração volumétrica de fases presente no aço UNS S31803 após diferentes tratamentos térmicos. Nomenclatura: AG (água gelada), ATA (água à temperatura ambiente), OL (óleo) e ST (sem tratamento)

Identificação	Descrição	Fração volumétrica média de Ferrita (%)	Fração volumétrica média de Austenita (%)
1000°C OL	1000°C, resfriamento em óleo	53,7	46,3
1000°C AG	1000°C, resfriamento água gelada	54,8	45,2
1000°C ATA	1000°C, resfriamento água temp. ambiente	48,2	51,8
1200°C OL	1200°C, resfriamento em óleo	65,7	34,3
1200°C AG	1200°C, resfriamento água gelada	71,7	28,3
1200°C ATA	1200°C, resfriamento água temp. ambiente	64,9	35,1
ST	Sem tratamento	53,3	46,7

A microestrutura do aço sem tratamento, na condição de como recebido observada na Figura 1 revela uma matriz ferrítica com distribuição de placas de

austenita (γ) imersas homoganeamente na matriz. Esta morfologia e distribuição de fases está de acordo com as microestruturas descritas pela literatura para aços inoxidáveis duplex laminados (2).

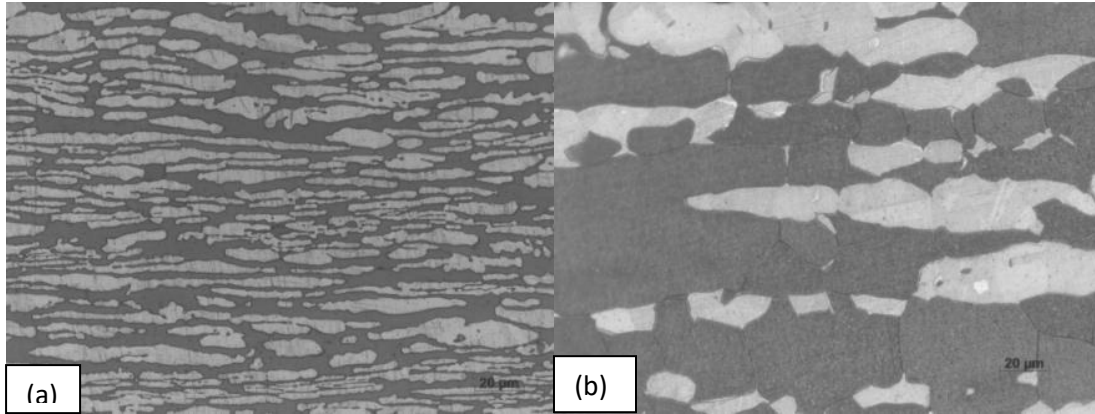


Figura 1. Microscopia ótica do aço UNS S31803, aumento de 20µm, nas condições (a) sem tratamento e (b) tratamento a 1200°C e resfriamento em água gelada

Ao comparar-se a microscopia ótica e os valores de fração volumétrica de cada fase, é possível observar, que a maior fração volumétrica de ferrita foi formada na maior temperatura de solubilização, isto é, a 1200°C. Além disso, o aumento da temperatura de solubilização resulta em um aumento no tamanho de grão. Ambos os efeitos ocorrem devido a uma maior dissolução da austenita em altas temperaturas.

O efeito dos diferentes tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas do aço, mais especificamente do seu limite de escoamento, podem ser observados na Figura 2.

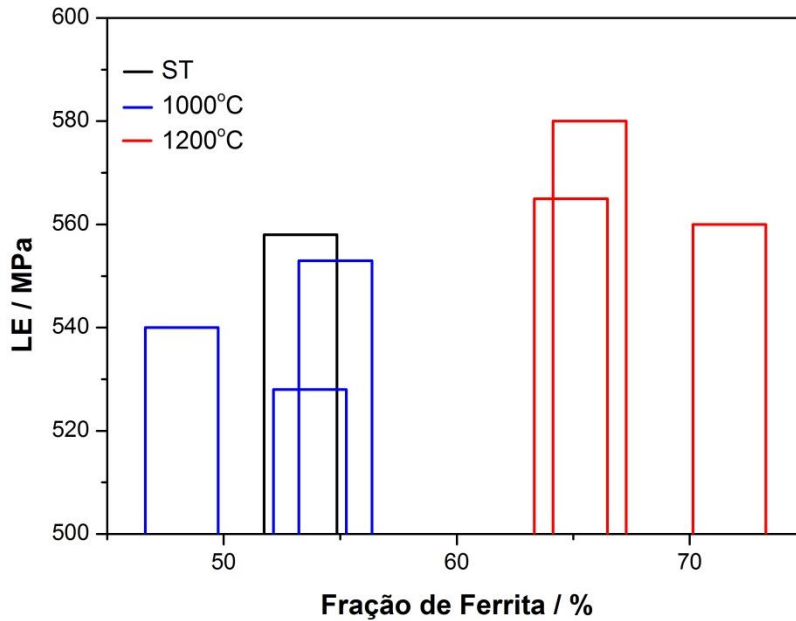


Figura 2. Relação entre o limite de escoamento (LE) e a fração de ferrita para o aço duplex UNS S31803 sob diferentes tratamentos térmicos.

É possível observar que há uma tendência de aumentar o limite de escoamento quando há maior fração volumétrica de ferrita, como no caso do tratamento térmico realizado a 1200°C. Observa-se que os valores médios do limite de escoamento obtidos sob as diferentes condições estudadas os quais ficaram entre (538 - 580MPa), foram superiores aos valores mínimos especificados pela norma ASTM A240- (450 MPa) para aços duplex (3).

Para os ensaios de corrosão, a curva de polarização do aço UNS S31803 como recebido, sem tratamento térmico, está representada na Figura 3. É possível verificar que o aço possui uma ampla faixa de passivação, uma vez que a corrente se manteve baixa, na ordem de μA , durante toda a varredura de potencial. Não foi verificado aumento abrupto da densidade de corrente. Isto indica que não houve ruptura do óxido protetor formado sobre o metal, não ocorrendo corrosão localizada nos ensaios em NaCl 3,5%.

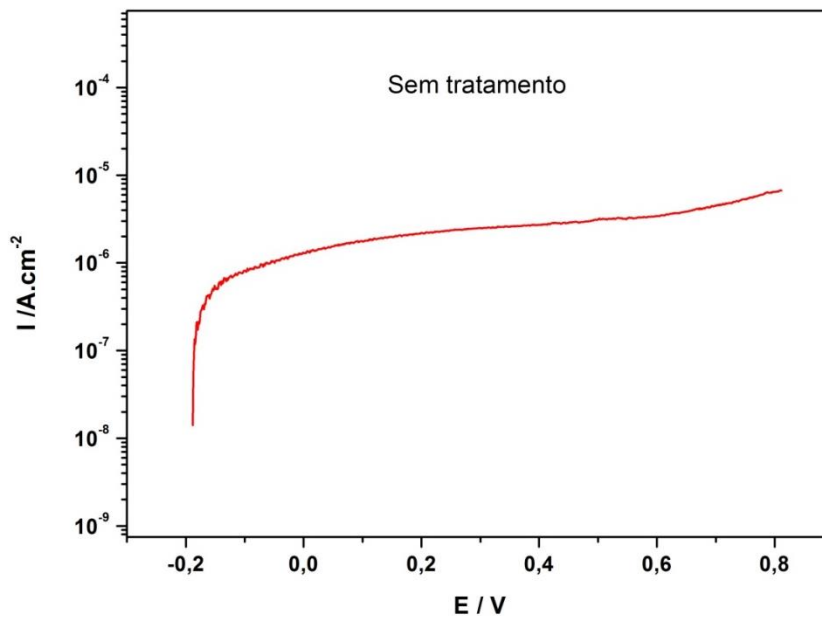


Figura 3. Curva de polarização do aço UNS S31803 na condição de como recebido em NaCl 3,5%.

Utilizando como referência o comportamento típico do aço como recebido, foram realizadas curvas de polarização nas amostras que foram submetidas aos tratamentos térmicos. Foram selecionadas as amostras 1000°C OL, 1000°C ATA, 1200°C AG e 1200°C ATA para a realização destes ensaios. A razão da escolha da amostra 1000°C ATA é que esta apresentou a menor fração volumétrica de fase ferrítica, seguida pela condição 1000°C OL. Em contrapartida, as amostras tratadas a 1200°C AG e 1200°C ATA apresentaram maior fração volumétrica de fase ferrítica após o tratamento térmico. A Figura 4 mostra o efeito do tratamento térmico na resistência à corrosão das ligas do aço duplex UNS S31803.

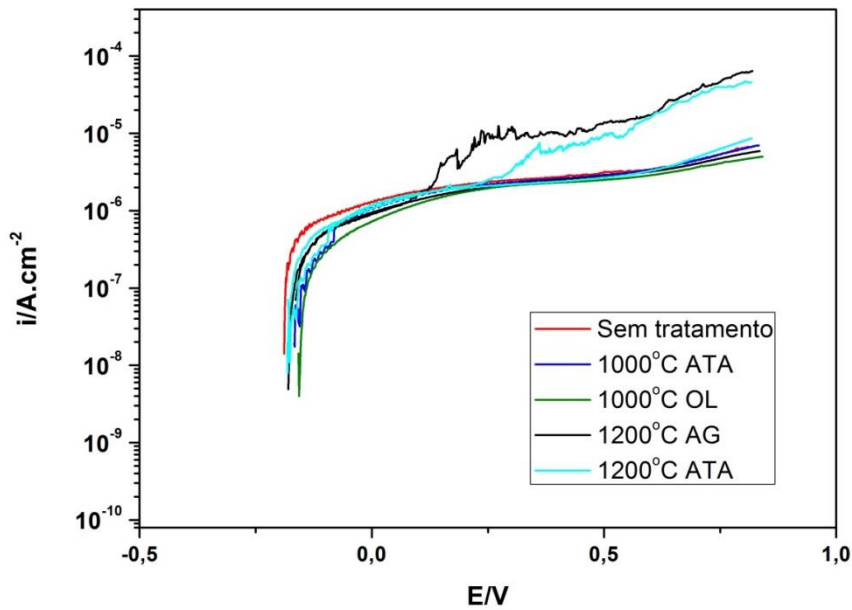


Figura 4. Curva de polarização do aço UNS S31803 submetido a diferentes tratamentos térmicos em NaCl 3,5%.

Nas condições de 1000°C ATA e 1000°C OL, assim como a ST (48 a 53% de Ferrita) o aço duplex se manteve passivo durante a realização dos ensaios de polarização. O valor da corrente de passivação, assim como o valor do OCP, foram próximos da amostra ST. Isso pode ser comprovado na Figura 4, uma vez que as curvas da amostras ST e 1000°C ATA quase se sobrepõe.

Para uma variação da fração volumétrica das fases austenita e ferrita mais significativa (acima de 60% de ferrita) caso das amostras 1200°C ATA e 1200°C AG, um comportamento diferente foi observado. Para a amostra 1200°C ATA, dos cinco ensaios realizados, em três não houve ataque eletroquímico do material, que se manteve passivo. Duas amostras apresentaram aumento contínuo de densidade de corrente, que passou da ordem de microA para miliA, caracterizando o processo de corrosão localizada. O aumento de corrente ocorre pela ruptura do filme de passivação que recobre o material. O potenciais de pite (E_{pite}) das duas amostras que corroeram foram de 136 mV e 528 mV, com média de E_{pite} de 332 mV.

Para a amostra 1200°C AG, dos cinco ensaios realizados, em dois foram verificados corrosão localizada e 3 mantiveram-se passivos. A média do potencial de pite foi de 165 mV.

A partir desses resultados é possível observar o aço duplex UNS S31803 sem tratamento é um aço de alta resistência à corrosão por pites em meio de NaCl 3,5%. Quando os tratamentos térmicos resultaram em proporções de ferrita e austenita próximas de 50%, a alta resistência à corrosão foi mantida pelo aço. No entanto, quando após o tratamento térmico, a proporção de ferrita foi maior que 60%, há uma queda da resistência à corrosão. Nestes casos, parte das amostras tem o seu filme rompido, resultando em corrosão localizada do aço em meio de cloreto. A menor resistência à corrosão pode estar associada à dissolução seletiva de ferrita, descrita por outros autores (1,4).

CONCLUSÕES

A temperatura de solubilização a 1200°C resultou em uma variação significativa da fração volumétrica de fases, com aumento da quantidade de fase ferrita e diminuição de quantidade de austenita. O mesmo não foi observado a 1000°C, em que a porcentagem das fases ferrita e austenita manteve-se próxima a 50%.

A temperatura de solubilização de 1200°C resultou em maior limite de resistência do aço. Entretanto, foi observada uma menor resistência à corrosão.

Não houve variação significativa da resistência à corrosão nas amostras submetidas a tratamentos térmicos a 1000°C quando comparada com a condição de como recebida. Nestes casos, não houve presença de corrosão localizada nas condições ensaiadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. TSAI, W.; CHEN, M.; Stress corrosion cracking behavior of 2205 duplex stainless steel in concentrated NaCl solution. *Corros Sci*, v. 42, n. 3, p. 545-559, 2000.
2. CHAN, Kai Wang; TJONG, Sie Chin. Effect of secondary phase precipitation on the corrosion behavior of duplex stainless steels. *Materials*, v. 7, n. 7, p. 5268-5304, 2014.
3. ASTM Standard : A 240/A 240M – 04ae1 (2004), "Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Application" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, www.astm.org.
4. ENGELBERG, D. L.; ÖRNEK, C.; Probing propensity of grade 2205 duplex stainless steel towards atmospheric chloride-induced stress corrosion cracking. *Corros Eng Sci Techn*, v. 49, n. 6, p. 535-539, 2014.

THE CORRELATION BETWEEN MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE OF DUPLEX STAINLESS STEEL SUBMITTED TO DIFFERENT COOLING RATES

The presence of ferrite and austenite phases simultaneously in similar proportion results in an excellent arrangement of properties for duplex stainless steel such as high corrosion resistance and high mechanical strength. During welding process, phase transformation is influenced by the cooling rate imposed by the thermal cycles associated with the heat input. In this work, the temperatures of 1000 and 1200°C were used, followed by cooling in water, water at room temperature and oil, which provided different cooling rates. In order to evaluate how microstructural transformations affect UNS S31803 properties based on different cooling rates, different heat treatments were carried out. The influence of the volumetric fraction of the phases on the mechanical resistance and corrosion behavior in chloride medium was evaluated. It was observed an improve in the mechanical properties at 1200°C. However, for a volumetric fraction of 71.7% ferrite and 28.3% austenite higher susceptibility to pitting corrosion was noticed.

Duplex steel, heat treatment, corrosion