



Efeito de tratamentos isotérmicos na resistência a tribocorrosão do aço inoxidável duplex UNS S32205

Effect of isothermal treatments on the tribocorrosion resistance of UNS S32205 duplex stainless steel

Vinícius Melo Canestraro¹, Jomar José Knaip Ribeiro², Paulo César Borges³

RESUMO

Este trabalho avaliou o desempenho do aço duplex UNS S32205 em condições de tribocorrosão, considerando diferentes tratamentos térmicos. Os resultados destacam que o tratamento a 850°C, que precipita a fase sigma, proporcionou a melhor resistência à tribocorrosão, com menor perda de material e coeficiente de atrito. A condição a 1000°C também mostrou baixa perda de material, sugerindo uma menor diferença de potencial na superfície de deslizamento. As análises eletroquímicas indicaram uma deterioração do filme passivo durante o ensaio. Em resumo, o tratamento térmico desempenha um papel crítico nas propriedades de tribocorrosão do aço UNS S32205, com implicações importantes para aplicações em ambientes corrosivos e de desgaste.

PALAVRAS-CHAVE: Aço Duplex; Tratamento Térmico; Tribocorrosão.

ABSTRACT

This research evaluated the performance of duplex steel UNS S32205 under tribocorrosion conditions, considering different heat treatments. The results highlight that treatment at 850°C, which precipitates the sigma phase, provided the best resistance to tribocorrosion, with lower material loss and friction coefficient. The 1000°C condition also showed low material loss, suggesting a smaller potential difference on the sliding surface. Electrochemical analyzes indicated a deterioration of the passive film during the test. In summary, heat treatment plays a critical role in the tribocorrosion properties of UNS S32205 steel, with important implications for applications in corrosive and wear environments.

KEYWORDS: Duplex Steel; Heat Treatment; Tribocorrosion.

¹ Bolsista do(a) (Fundação Araucária). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.. E-mail: canestraro@alunos.utfpr.edu.br . ID Lattes: 7968596737927337.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.. E-mail: jomarribeiro@alunos.utfpr.edu.br . ID Lattes: 2509827040271647.

³ Paulo César Borges/DAMEC/PPGEM. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: pborges@utfpr.edu.br . ID Lattes: 2389356434049800.

INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex são reconhecidos por sua capacidade de resistir à corrosão e apresentar maior resistência mecânica do que as categorias de aços austeníticos e ferríticos (GUNN, 1997). A consideração tanto da resistência à corrosão quanto à resistência ao desgaste é essencial, pois essas situações em que o material se degrada devido à combinação do desgaste mecânico e da corrosão exemplificam o fenômeno denominado tribocorrosão (LANDOLT e MISCHLER, 2011).

Entretanto, quando esses aços inoxidáveis são expostos a elevadas temperaturas, processos de soldagem inadequados ou tratamento térmico inadequado, existe a possibilidade de ocorrer a formação da fase sigma (σ), a qual tem o potencial de impactar as propriedades de resistência à corrosão e desgaste do material. A fase σ , que se forma rapidamente na faixa de temperatura entre 600 e 1000 °C, pode reduzir a tenacidade, ductilidade e resistência à corrosão localizada em ambientes que contenham cloretos. (BADJI et al., 2008; FARGAS; MESTRA; MATEO, 2013).

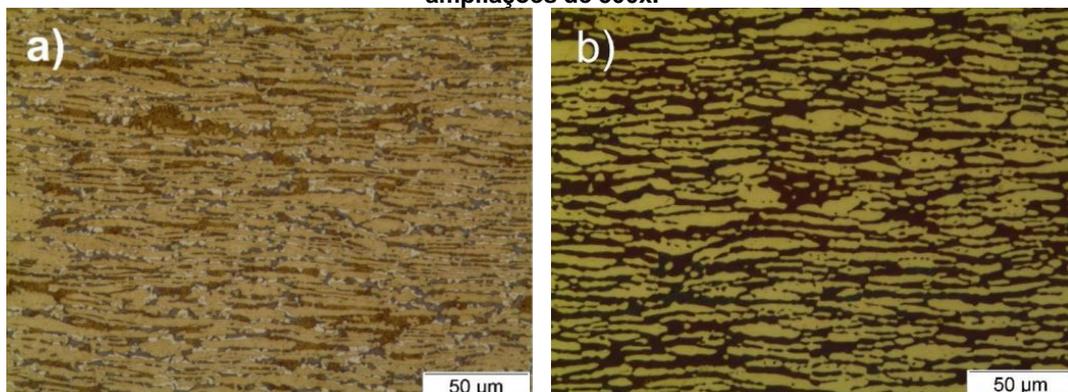
A fase σ exibe uma maior capacidade de resistência ao desgaste e exibe coeficientes de atrito (CoF) mais baixos devido ao processo de endurecimento por precipitação. O desgaste que ocorreu nas áreas localizadas dos grãos da fase sigma foi menos evidente quando comparado aos grãos da estrutura ferrítica e austenítica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do aço duplex UNS S32205 nas condições de envelhecimento a 850°C e 1000°C, resistência a corrosão e resistência ao desgaste na tribocorrosão em meio a solução de 0,5M de NaCl.

MATERIAIS E MÉTODOS

As condições adotadas neste estudo envolvem o tratamento das amostras de duas maneiras distintas: primeiro, elas foram submetidas a um processo de envelhecimento a 850°C, caracterizado por uma rápida formação da fase σ e aumento na dureza. Em seguida, passaram por tratamentos de solubilização a 1000°C, cada um durando 30 minutos, seguidos por resfriamento em água. A Figura 1 apresenta as imagens das microestruturas das condições analisadas: 850°C (a) e 1000°C (b), que foram analisadas após ataque químico por imersão, com os reagentes Behara modificado e Behara, respectivamente (conforme descrito por Turin et al., 2023).

FIGURA 1. Microestrutura na seção longitudinal das condições de 850°C (a) e 1000°C (b). Imagens em ampliações de 500x.



Fonte: Autoria própria.



Após a conclusão dos tratamentos térmicos, começou a preparação das amostras, que foram retiradas das peças retangulares de 25x20 mm por meio de corte com jato de água, seguindo-se o processo de lixamento utilizando lixas d'água de granulometrias de P220, P320, P400, P600 e P1200. Em seguida, realizou-se a etapa de polimento das amostras utilizando uma politriz automática da marca Buehler, empregando alumina com partículas de 1 μm de tamanho.

Os testes de tribocorrosão foram realizados utilizando um método no qual uma esfera entra em contato com uma superfície plana que se movia de forma recíproca, os testes foram feitos em um tribômetro modelo UMT Multi-Specimen Test System da CETR. Para simular as condições de teste, foram usadas esferas de nitreto de silício (Si_3N_4) com um diâmetro de 10 mm como contracorpo. Durante os testes, uma carga normal de 5 N foi aplicada, e a amplitude de deslizamento foi de 4 mm. A análise do comportamento eletroquímico das superfícies estudadas envolveu o uso de duas técnicas: o Potencial de Circuito Aberto (PCA) e a Resistência à Polarização Linear (RPL). Para realizar essas medições, utilizou-se um potenciostato portátil chamado EmStat 3+ da PalmSens.

A configuração da célula eletroquímica incluiu três tipos de eletrodos distintos: um eletrodo de referência (ER), um eletrodo Ag/AgCl saturado em KCl com potencial padrão E_0 de +200 mV e um eletrodo de trabalho que foi a própria amostra, e um contraeletrodo de grafite. Além disso, foi usado um tubo de Luggin para posicionar o eletrodo de referência de modo a se aproximar da região de contato entre as superfícies em deslizamento. Em todos os testes, a solução empregada foi uma solução de NaCl com concentração de 0,5 M.

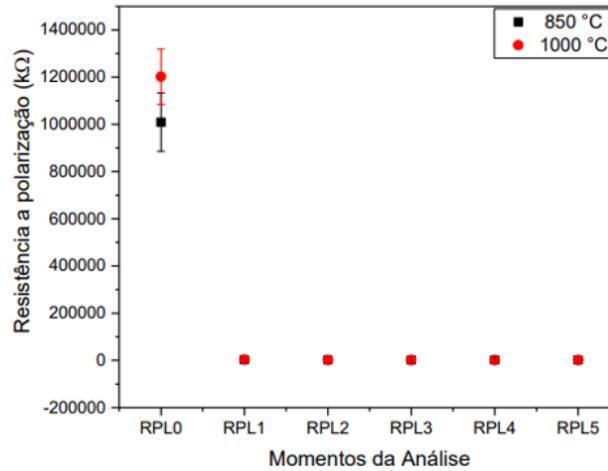
O ensaio consistiu em uma série de deslizamentos, com 400 ciclos no primeiro conjunto e 5600 ciclos no segundo, intercalados por um período de recuperação sem desgaste, com duração de 10 minutos. A cada 5 minutos durante a segunda série de deslizamento, foram realizadas medições de RPL. Além disso, o potencial foi monitorado durante 10 minutos após os ensaios. Simultaneamente foi medido o coeficiente de atrito (COF). O volume total de material perdido na superfície de deslizamento foi avaliado utilizando um interferômetro óptico confocal TalySurf CCI Lite, fabricado pela Taylor Hobson.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se que o potencial de circuito aberto (PCA) do UNS S32205 desloca-se rapidamente na direção negativa, o que está relacionado à remoção periódica do filme passivo. Esse comportamento é um fenômeno característico observado na tribocorrosão de metais passivos, conforme documentado em Landolt, Mischler e Stemp (2001). Além disso, os cálculos da resistência à polarização foram realizados em seis momentos, como mostrado na Figura 2. Pode-se notar que, a partir do início do movimento deslizante, ambas as condições de teste apresentaram uma diminuição na resistência à polarização linear. Isso é atribuído à deterioração do filme passivo, o que sugere uma intensificação do processo corrosivo.



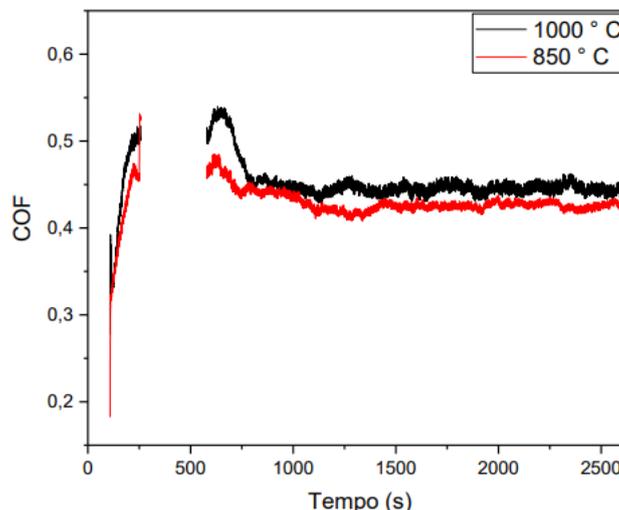
FIGURA 2. Resistência à polarização linear em função dos momentos de análise do ensaio de tribocorrosão para as condições de 850 e 1000°C.



Fonte: Autoria própria.

Outra avaliação realizada foi a de coeficiente de atrito (COF) ao longo do ensaio de tribocorrosão, apresentado na Figura 3. Foi observado que na condição de 850°C ocasiona uma diminuição no coeficiente de atrito, isso pode ser devido ao aumento de dureza do material.

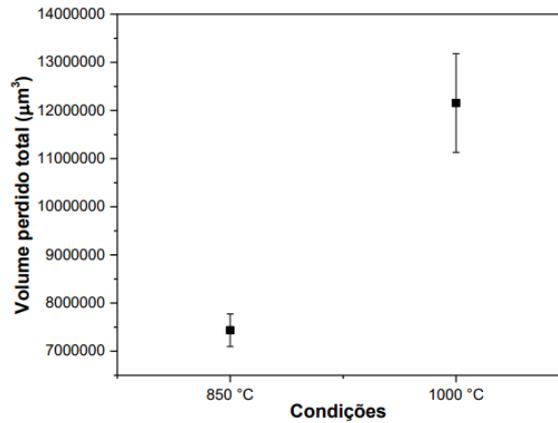
FIGURA 3. Evolução do coeficiente de atrito (COF) ao longo do ensaio de tribocorrosão para as condições de 850 e 1000°C.



Fonte: Autoria própria.

Podemos notar na Figura 4 que a condição a 850°C apresentou o melhor desempenho em termos de tribocorrosão, com o menor volume de material perdido, isso devido a precipitação da fase σ , que como citado anteriormente aumenta a dureza do material. Outros estudos já confirmavam este resultado (DAVANAGERI; NARENDRANATH; KADOLI, 2017).

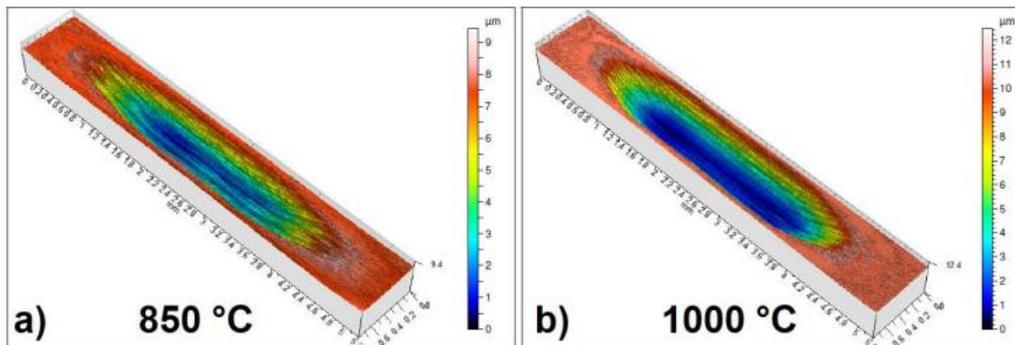
FIGURA 4. Volume perdido após os 6000 ciclos nos ensaios de tribocorrosão para as condições de 850 e 1000°C.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 representa as trilhas de desgaste para as condições de 850°C (a) e 1000°C (b). As medições de dureza para essas condições resultaram em 333 ± 15 HV_{0,5} para 850°C e 240 ± 13 HV_{0,5} para 1000°C.

FIGURA 5. Projeção axonométrica para os ensaios de tribocorrosão em meio de NaCl 0,5 M na condição de 850 (a) e 1000°C (b).



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

As conclusões fundamentais a serem destacadas são as seguintes:

- A Resistência à Polarização Linear (RPL) antes do início do deslizamento apresentou valores mais elevados na condição solubilizada, indicando um desempenho menos favorável em termos de corrosão na temperatura de 850°C devido à formação da fase σ ;
- A condição envelhecida (850°C) apresentou melhor resistência a tribocorrosão, devido aos menores valores de volume perdido e de COF;
- A menor perda de volume desgastado foi na condição de 1000°C, isso pode ser resultante de uma menor diferença entre o potencial da pista e da vizinhança.



Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Fundação Araucária pela disponibilização da bolsa para o seguimento das atividades, também agradeço ao professor Paulo César Borges por todo apoio e orientação desde o começo, e obrigado por me dar a oportunidade de poder trabalhar com o senhor.

Agradeço também a todos os colegas do laboratório de corrosão, em especial meu grande amigo Jomar José Knaip Ribeiro que me ensinou tudo desde o primeiro dia e sempre me auxiliou em todas as dúvidas.

Conflito de interesse

“Não há conflito de interesse”.

REFERÊNCIAS

- GUNN, Robert N. **Duplex Stainless Steels – microstructure, properties and applications**. 1st ed. Woodhead Publishing limited, 1997.
- LANDOLT, D.; MISCHLER, S. **Tribocorrosion of passive metals and coatings**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, United Kingdom, 2011.
- BADJI, R. et al. **Phase transformation and mechanical behavior in annealed 2205 duplex stainless steel welds**. *Materials Characterization*, v. 59, n. 4, p. 447–453, 2008.
- FARGAS, G.; MESTRA, A.; MATEO, A. **Effect of sigma phase on the wear behavior of a super duplex stainless steel**. *Wear*, v. 303, n. 1–2, p. 584–590, 2013.
- LANDOLT, D.; MISCHLER, S.; STEMP, M. **Electrochemical methods in tribocorrosion: A critical appraisal**. *Electrochimica Acta*, v. 46, n. 24–25, p. 3913–3929, 2001.
- AVANAGERI, M. B.; NARENDRANATH, S.; KADOLI, R. **Effect of Sigma (σ) phase on Mechanical and Dry sliding wear**. *Materials Today: Proceedings*, v. 4, n. 9, p. 10189–10196, 2017.
- TURIN, A. R.; RIBEIRO, J. J. K.; DE QUADROS, P. V. C. A.; BORGES, P. C. **EFEITO DE TRATAMENTOS ISOTÉRMICOS NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205 (SAF 2205)**. Em: 2023, São Paulo, São Paulo. Anais.Em: XXII CONEMI. São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xxiiconemi/574696>>. Acesso em: 23 ago. 2023.