



Copyright 2019, ABINOX, ABRACO, IPT

Trabalho apresentado durante o INOXCORR 2019 - Seminário Brasileiro de Aços Inoxidáveis como Solução Contra Corrosão, em São Paulo no mês de agosto de 2019.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## Método eletroquímico para avaliação da sensitização de austeníticos goivados e soldados

Beatriz Gonçalves<sup>1</sup>, Guilherme Y. Koga<sup>2</sup>, Ana P. B. Guerra<sup>3</sup>, Claudemiro Bolfarini<sup>4</sup>

### Resumo

Em atividades de manutenção e de fabricação de equipamentos, o procedimento de goivagem a arco elétrico com eletrodo de grafita é utilizado na preparação de juntas a serem reparadas ou unidas pelo processo de soldagem. Como o eletrodo é de carbono, esse elemento pode ser introduzido no material, o que pode deteriorar a qualidade da junta reparada/soldada, tornando-a inadequada para utilização no setor de petróleo, especialmente no caso de aços inoxidáveis, que tem limites muito baixos para carbono. O trabalho tem como objetivo o uso de diferentes técnicas eletroquímicas na avaliação do risco de sensitização de superfícies goivadas e soldadas de aços inoxidáveis austeníticos de interesse da indústria petroquímica. A metodologia em andamento envolve a caracterização estrutural e eletroquímica dos aços inoxidáveis em diferentes condições: como recebido, após o processo de goivagem e das juntas soldadas sobre a região goivada. Ensaios de potencial de circuito aberto, de resistência à polarização linear, de impedância eletroquímica e de polarização cíclica serão utilizados para avaliar a robustez da técnica de reativação eletroquímica potenciocinética em duplo loop como candidata a ser empregada na avaliação da sensitização da superfície goivada e soldada de aços inoxidáveis austeníticos.

**Palavras-chave:** aço inoxidável austenítico, sensitização, corrosão intergranular, goivagem a arco elétrico, soldagem, reativação eletroquímica potenciocinética.

### Introdução

O processo de goivagem a arco elétrico com eletrodo de grafite é conhecido pela sua eficiência na retirada de material e sua utilização resulta em ganho de produtividade e redução de custos na preparação de superfícies de soldagem, tanto de fabricação como de reparo (1).

<sup>1</sup> Mestranda, Pesquisadora – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) / CENTRO DE CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS (CCDM)

<sup>2</sup> Doutor, Professor Adjunto - UFSCar

<sup>3</sup> Doutoranda, Pesquisadora – UFSCar / CCDM

<sup>4</sup> Doutor, Professor Titular e Diretor Técnico - UFSCar / CCDM



O eletrodo de grafite utilizado no processo enriquece a superfície do material de base em carbono, resultando em uma camada superficial rica neste elemento. No caso dos aços inoxidáveis da Série 300, o enriquecimento em carbono da superfície goivada pode torná-los susceptíveis a mecanismos de dano a que não estariam submetidos caso o carbono fosse mantido dentro dos limites das especificações correspondentes. Como exemplo, temos o mecanismo de sensitização.

O fenômeno da sensitização sujeita os aços inoxidáveis austeníticos a um dos tipos mais danosos de corrosão, a corrosão intergranular. A corrosão intergranular ocorre ao longo dos contornos de grão, devido à natureza mais reativa dos mesmos, sob condições particulares. Na sensitização, átomos de carbono difundem para os contornos de grão durante o aquecimento, com enriquecimento desta região neste elemento. Os átomos de cromo existentes na região adjacente se movem para os contornos de grão, com formação de carbeto de cromo ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ), insolúvel em uma determinada faixa de temperaturas (2). Como o cromo foi removido da solução sólida, a corrosão pode ocorrer se o teor do elemento for reduzido para abaixo dos 10% necessários para a passivação na região adjacente aos contornos de grãos. O ataque ocorrerá na região empobrecida em cromo, que se torna anódica em relação ao grão e também aos carbetos (3). A corrosão intergranular é também chamada de degradação da solda já que, durante a soldagem, regiões próximas ao cordão de solda passam por ciclos térmicos acima ou na temperatura de sensitização (4). A quantificação do grau de sensitização pode ser necessária para esclarecer o mecanismo de corrosão e prever as taxas de crescimento de fissuras nos contornos de grão.

A técnica de reativação eletroquímica potenciocinética (*electrochemical potentiokinetic reactivation*, EPR) avalia a intensidade de sensitização. Dois testes têm sido desenvolvidos para mensurar a extensão da sensitização em uma curva de polarização anódica: os testes ciclo simples (*single-loop*, SL) e duplo ciclo (*double-loop*, DL).

No SL-EPR, a amostra é polida de uma maneira específica e colocada em contato com uma solução de teste a 30 °C. Depois de estabilizado o potencial de corrosão, o potencial da amostra é aumentado para uma faixa de potencial passivo e permanece neste potencial por alguns minutos. Após este estágio de passivação, o potencial é decrescido até o potencial de corrosão a uma taxa de varredura constante. Este decréscimo resulta na reativação da amostra, envolvendo preferencialmente a quebra do filme passivo em regiões empobrecidas do material (5). Conseqüentemente, uma larga volta é gerada na curva potencial versus corrente.

Assumindo que o ataque é restringido pelos contornos de grão, que é uniformemente distribuído e que a largura do ataque é constante, a área total dos contornos de grão pode ser calculada a partir da área da amostra e do tamanho de grão. A medida da carga é então normalizada para um valor independente do tamanho de grão, e esse valor é comparado com um limite de tolerância de sensitização para uma dada aplicação (6). Porém, a necessidade de medição do tamanho de grão conforme norma e o polimento específico dificultam a utilização do ciclo simples em campo. O teste duplo ciclo foi desenvolvido primeiramente para superar estas dificuldades.

No DL-EPR, a amostra é primeiramente polarizada anodicamente através da região ativa antes da realização da varredura de reativação na direção reversa. A composição da solução, temperatura de teste e a taxa de varredura são iguais ao do teste simples. O grau de sensitização



(GDS) é medido pela determinação da razão da máxima corrente gerada pela varredura de reativação e a máxima corrente anódica (7),

$$GDS = \frac{i_r}{i_a}$$

Não existe uma norma especificada para os testes DL-EPR. Ensaio utilizando a norma ASTM G108 como referência, com soluções modificadas, diferentes taxas de varredura do potencial e aplicação em outros materiais, têm sido feitos por estudiosos da área com sucesso.

O trabalho proposto tem como objetivo o uso de diferentes técnicas eletroquímicas na avaliação do risco de sensibilização de superfícies goivadas e soldadas de aços inoxidáveis austeníticos de interesse da indústria petroquímica.

## **Metodologia**

---

Os materiais selecionados serão aços inoxidáveis da Série 300, em particular Tipos 304, 316, 321 e 347.

Corpos de prova terão superfícies goivadas a arco elétrico com eletrodo de grafite, simulando eliminação de trincas pré-existentes, de dimensões adequadas. Planejou-se dois tipos de chanfros de soldagem: em "X", em que a goivagem será realizada na limpeza da raiz antes do início da contra solda, e em "V", em que a goivagem simularia reparo de descontinuidades próximas à superfície. Estes chanfros serão submetidos a diversas condições de limpeza da superfície, com (i) retirada total da camada alterada pela goivagem, por esmerilhamento, (ii) retirada parcial da camada alterada e (iii) sem retirada da camada alterada.

Ensaio de potencial de circuito aberto, de resistência à polarização linear, de impedância eletroquímica e de polarização cíclica serão utilizados para avaliar a robustez da técnica de DL-EPR como candidata a ser empregada na avaliação da sensibilização da superfície goivada e soldada de aços inoxidáveis austeníticos.

## **Resultados esperados**

---

Resultados anteriores sugerem que a relação de cargas, GDS, possa ser um parâmetro utilizado na comparação da integridade de filmes passivos (8). Porém, também indicam que não é possível estabelecer critérios únicos e adoção de valores arbitrários para estabelecer a presença de fases precipitadas, como é o caso do carbetto de cromo. Materiais pertencentes à mesma classe apresentaram respostas diferentes ao ensaio quando observados em condições diversas (6) e, ainda, dentro de uma mesma condição, amostras mostraram resultados divergentes (9). Contudo, uma vez que estudos envolvendo outras técnicas de caracterização eletroquímicas e a resposta do material por meio do ensaio de DL-EPR não foram encontrados na literatura, espera-se determinar de maneira estatística uma escala de valores que possa ser utilizada de forma mais apropriada como padrão de comparação.



---

## Conclusões

---

A técnica de DL-EPR é capaz de detectar diferenças entre distintas condições dos materiais avaliados. Sugere-se que a reativação eletroquímica potenciocinética possa ter um espectro de aplicação maior do que aquele ao que está restrita atualmente.

Espera-se o estabelecimento de um método rápido, direto, não-destrutivo e com potencialidade de ser extrapolado para a inspeção de estruturas em campo. Pretende-se produzir especificações mais efetivas na metodologia de aplicação do procedimento de goivagem, sem que efeitos colaterais indesejáveis sejam produzidos, descritas de forma a que possam ser utilizadas tecnologicamente pela indústria de petróleo e gás, visando amplo benefício para todos os envolvidos no setor.

## Referências bibliográficas

---

- (1) SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL; COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO. **Noções Básicas de Processos de Soldagem e Corte**. Vitória: SENAI, 1996.
- (2) GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- (3) JONES, D. A. **Principles and Prevention of Corrosion**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.
- (4) KOBELCO WELDING. **The ABC's of Arc Welding**. Disponível em: <[https://www.kobelco-welding.jp/education-center/abc/ABC\\_1999-04.html](https://www.kobelco-welding.jp/education-center/abc/ABC_1999-04.html)>. Acesso em: 29 jul. 2019.
- (5) ČÍHAL, V., ŠTEFEC, R. On the development of the electrochemical potentiokinetic method. **Electrochimica Acta**, v. 46, n. 24-25, p. 3867-3877, 2001
- (6) CAMPOS, C. V. F. **Suscetibilidade à corrosão sob tensão dos aços AISI 321 e 347 em meio de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CuSO<sub>4</sub>**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- (7) SEDRIKS, A. J. **Corrosion of stainless steels**. Sponsored by The Electrochemical Society, Princeton, NJ, and John Wiley & Sons. New York, 1996.
- (8) PALÁCIO, F. de O. **Efeito do tratamento térmico no grau de sensitização do aço inoxidável austenítico AISI 304, avaliado por método de reativação eletroquímica potenciocinética na versão ciclo duplo (DL-EPR)**. 2008. 44 p. Monografia (Graduação em Engenharia) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.
- (9) LEAL, P. H. M. **Análise crítica da técnica de reativação eletroquímica potenciocinética em duplo loop (DL-EPR) aplicada a aços inoxidáveis duplex: limitações e potencialidades**. 2013. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.