

AVALIAÇÃO DA SENSITIZAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO AISI439 UTILIZADO NO SISTEMA DE EXAUSTÃO VEICULAR

Gabriel Garcia Silva¹; Susana Marraccini Giampietri Lebrão²

¹Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Sabendo da importância do aço para a indústria automotiva na fabricação de escapamentos e da soldagem como principal meio de união de materiais metálicos, realiza-se o estudo a fim de avaliar os fatores que influenciam na ocorrência e no grau de sensitização nos aços inox AISI 409 e AISI 439, utiliza-se o método Ensaio potencio dinâmico de duplo loop (DL-EPR), seguindo a norma ASTM G108 para gerar as curvas de polarização, observou-se que na avaliação do grau de sensitização das peças o melhor desempenho do aço 439 em relação ao 409 e do arame tubular em relação ao arame sólido, verificou-se também que as peças depois de passarem por um ciclo de fadiga térmico e mecânico não tendem a aumentar sua tendência à sensitização.*

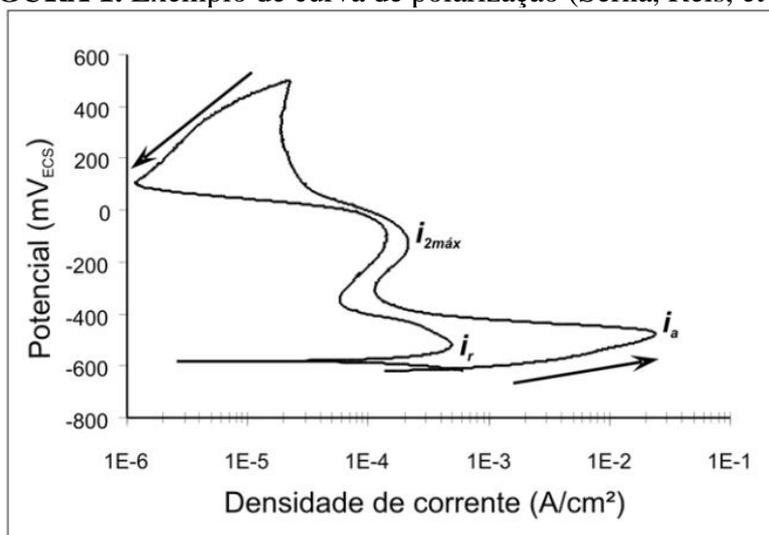
Introdução

A corrosão pode ser definida como o processo destrutivo do material por ação química, eletroquímica ou física (Lima, 2007), sendo assim, a indústria de peças metálicas visa diminuir as ações corrosivas de seus projetos, para obter mais confiabilidade e desempenho de seus produtos, nesse contexto temos o surgimento do aço inoxidável, que devido ao seu alto teor (acima de 10,5%) de cromo, ao entrar em contato com o oxigênio forma uma camada passiva e protetiva de óxido de cromo e esse processo recebe o nome de passivação.

A corrosão intergranular ocorre pelo ataque seletivo dos contornos de grãos dos aços inoxidáveis. Isso ocorre pela precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão, pois essa região é o local mais favorável à precipitação, o que torna uma região com características distintas do restante da estrutura do aço quando da diminuição da concentração de cromo (Lima, 2007). Os aços inoxidáveis, quando soldados, são suscetíveis à corrosão intergranular, devido às elevadas temperaturas do processo que propiciam a precipitação dos carbonetos de cromo.

O método utilizado para identificar a corrosão intergranular nos corpos de prova é o Método Eletroquímico de Reativação Potenciodinâmica com ciclo duplo (DL-EPR), no qual se pode avaliar a relação entre a corrente de ativação (I_a) e a corrente de reversão (I_r), com a relação I_r/I_a obtém-se o grau sensitização (GS) que é a referência utilizada para indicar a tendência à corrosão intergranular da amostra, conforme pode ser observado na FIGURA 1.

FIGURA 1. Exemplo de curva de polarização (Serna, Reis, et al, 2007)



Conforme o gráfico padrão observado na FIGURA 1 é possível obter os valores da corrente de ativação e da corrente de reversão para calcular o GS.

Materiais e métodos

Os corpos de prova avaliados foram recebidos de estudo anterior (Silva, 2019) na condição de tubos de aço inox (AISI 409 e AISI 439) soldados à flange de baixo carbono (AISI 1018) e ensaiadas à fadiga térmica e mecânica, os parâmetros de solda utilizados são arame tubular (AISI 439Ti) e sólido (AISI 307Si) e a posição de solda interna ou externa.

A composição química dos aços estudados e os parâmetros de soldagem utilizados nos corpos de prova desse trabalho encontram-se, respectivamente, nas TABELAS 1 e 2.

TABELA 1. Composição química dos aços ferríticos AISI 409 e AISI 439, dos arames de solda AISI 439Ti e AISI 307Si e do flange AISI 1018.

| Material | %C | %Mn | %Si | %P | %S | %Cr | %Ni | %Mo | %Ti |
|-----------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|--------------|------------|------------|------------|
| AISI 409 | 0,03 | 1 | 1 | 0,04 | 0,02 | 10,5 11,7 | - 0,5 | -- | -- |
| AISI 439 | 0,03 | 1 | 1 | 0,04 | 0,03 | 17 - 19 | 0,5 | -- | -- |
| AISI 307Si | 0,08 | 7 | 0,9 | -- | -- | 18 | 8 | -- | -- |
| AISI 439Ti | 0,02 | 0,5 | 0,5 | -- | -- | 17,5 | 0 | -- | 0,5 |
| AISI 1018 | 0,18 | 0,75 | -- | 0,04 | 0,03 | -- | -- | -- | -- |

TABELA 2. Parâmetros de soldagem dos aços AISI 409 e AISI 439

| Parâmetros | Arame tubular (externa) | Arame tubular (interna) | Arame sólido (interno e externo) |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Programa | 10 (CrNi => 18 - 8 - 6) | 10 (CrNi => 18 - 8 - 6) | 9 (CrNi => 18 - 8 - 6) |
| Arame | 1,2 mm => MC439Ti | 1,2 mm => MC439Ti | 1,0 mm => 307Si |
| Corrente (A) | 325 A | 295 A | 202 A |
| Tensão (V) | 27,3 V | 21,3 V | 37,3 V |
| Indutância | -5 | -5 | -5 |
| Comprimento do arco | -18 | -15 | -18 |
| Velocidade (mm/s) | 25 | 25 | 25 |
| Gás | AG12 | AG12 | AG12 |

A fadiga térmica foi realizada em um queimador industrial aquecido a 700°C e depois resfriado à 25°C totalizando 200 ciclos de 4,5 minutos de duração. Após a ciclagem térmica, os corpos de provas foram submetidos à fadiga mecânica de amplitude de 1200N (tração e compressão), tensão média nula e frequência de 8Hz(Silva, 2019). Para este ensaio cada corpo de prova suportou número de ciclos diferentes até a ruptura, como exposto na TABELA 3.

TABELA 3. Número de ciclos de fadiga para cada corpo de prova.

| Corpo de prova | Número de ciclos |
|--------------------------------------|-------------------------|
| AISI 409 arame tubular solda interna | 188.872 |
| AISI 409 arame tubular solda externa | 213.489 |
| AISI 409 arame sólido solda interna | 151.327 |
| AISI 409 arame sólido solda externa | 53.956 |
| AISI 439 arame tubular solda interna | 120.389 |
| AISI 439 arame tubular solda externa | 280.182 |
| AISI 439 arame sólido solda interna | 246.941 |
| AISI 439 arame sólido solda externa | 92.271 |

As amostras foram cortadas em baixa velocidade para obter apenas a região de interesse, zona termicamente afetada pela soldagem, como mostrado na FIGURA 2:

FIGURA 2. Secção retirada dos corpos de provas recebidos.



As seções obtidas foram embutidas em baquelite, identificadas e furadas para obter o contato elétrico entre o corpo de prova e a haste metálica do potenciostato, em seguida lixadas até lixa #600 e aplicada resina Araldite LY1316-2 BR com o catalisador Aradur 42 sobre a região do flange e do cordão de solda para isolar a região do inox estudado, ao final da preparação obteve-se o corpo de prova como apresentado na FIGURA 3.

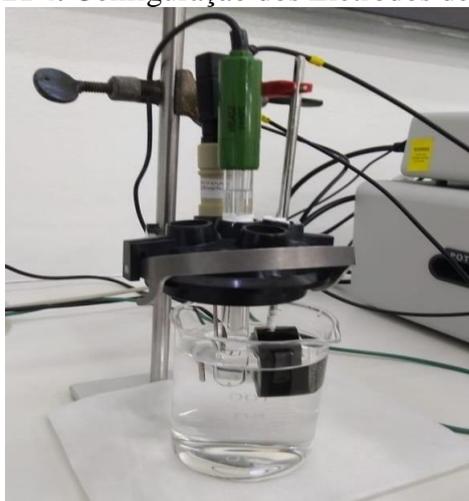
FIGURA 3. Amostra após a preparação.



Os ensaios DL-EPR foram realizados no potenciostato/galvanostato Autolab, de acordo com a norma ASTM G108, utilizando os parâmetros velocidade de varredura de 1,67 mV/s, faixa de polarização partindo do potencial de corrosão (OCP), medido por 60 segundos, até 300

mV, solução aquosa de 0,5 M de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), eletrodo de calomelano como referência, eletrodo de Platina (Pt) como contra eletrodo e o eletrodo de trabalho é acoplado à haste metálica presa pelo furo roscado no corpo de prova como mostrado na FIGURA 4.

FIGURA 4. Configuração dos Eletrodos de ensaio.



Todos os eletrodos são conectados ao potenciostato para coletar os dados e gerar o gráfico de polarização.

Resultados e discussão

Na TABELA 4 são apresentados os graus de sensitização para as amostras ensaiadas. Pode-se observar que a fadiga térmica tende a diminuir o grau de sensitização (GS) para as amostras de aço AISI 409. No entanto, para o aço AISI 439, por se tratar de variações muito pequenas, não se pode dizer que houve impacto nos resultados.

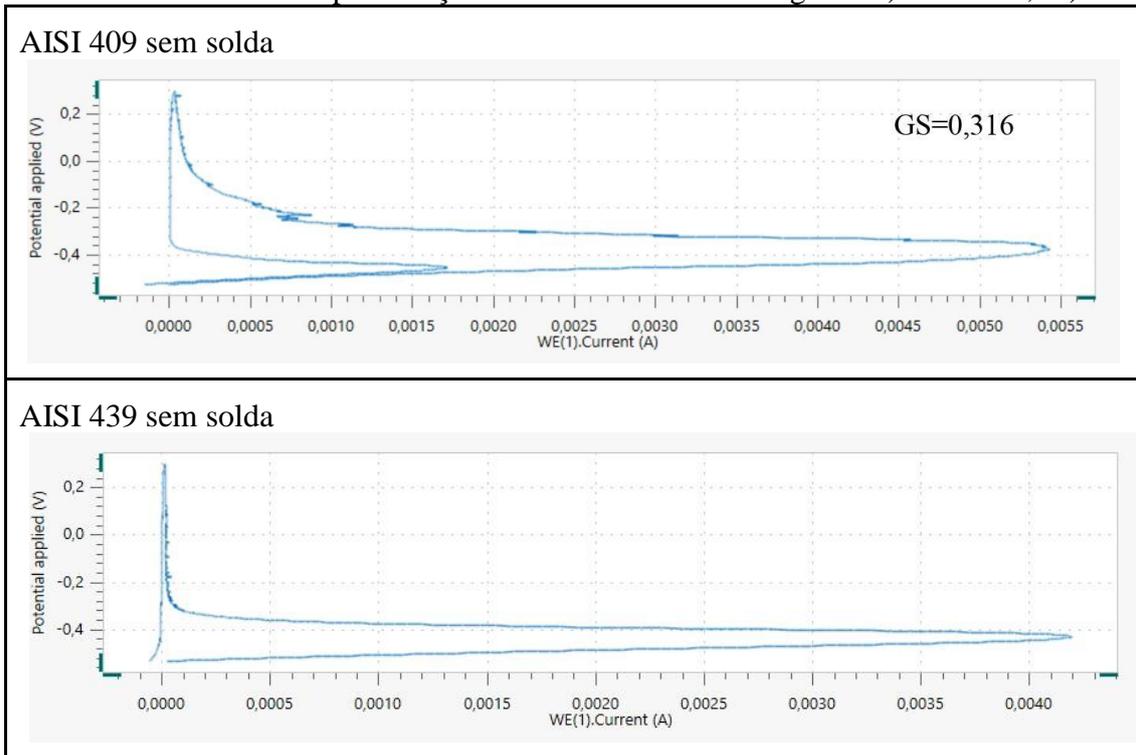
TABELA 4. Grau de sensitização médio de cada amostra.

| Aço | Arame | Posição de solda | Fadiga | GS |
|------------------|------------------|-------------------------|---------------|--------------|
| AISI 409 | Sólido | interna | sim | 0,228 |
| | | | não | 0,496 |
| | | externa | sim | 0,459 |
| | | | não | 0,328 |
| | Tubular | interna | sim | 0,127 |
| | | | não | 0,477 |
| | | externa | sim | 0,15 |
| | | | não | 0,21 |
| Sem solda | | | 0,27 | |
| AISI 439 | Sólido | interna | sim | 0,016 |
| | | | não | 0,009 |
| | | externa | sim | ---- |
| | | | não | 0,006 |
| | Tubular | interna | sim | 0,046 |
| | | | não | 0 |
| | | externa | sim | 0,01 |
| | | | não | 0,002 |
| | Sem solda | | | 0,001 |

Os dados da tabela 4 também indicam que o uso do arame sólido para a união das peças tende a aumentar o grau de sensitização quando comparado com o arame tubular, um dos fatores que podem ocorrer é a diferença de aporte térmico entre os dois métodos de soldagem que impactam diretamente na sensitização como visto em trabalhos anteriores (Silva, Machado, et al, 2015).

A partir dos resultados do ensaio DL-EPR obtém-se as curvas de polarização dos corpos de prova dos aços 409 e 439 sem soldagem, observa-se que o 409 tende a apresentar corrosão intergranular mesmo antes de ser soldado, enquanto o 439 apresenta-se isento de corrosão, conforme FIGURA 5.

FIGURA 5. Curva de polarização das amostras sem soldagem: a-) AISI 409; b-) AISI 439;



Como observado em trabalhos anteriores (Serna, Reis, et al, 2007), quando os aços inoxidáveis são expostos a temperaturas acima de 500°C tendem a sofrer alteração no GS devido a ocorrência da solubilização do cromo na microestrutura. Como a fadiga térmica foi realizada a 700°C pode-se esperar que haja alteração no GS das amostras que sofreram fadiga térmica. As curvas abaixo são um comparativo entre as amostras com e sem fadiga, observa-se que as amostras fadigadas tendem a sensitizar menos que suas correspondentes sem fadiga como mostrados nas FIGURAS 6 e 7.

FIGURA 6. Curva de polarização das amostras AISI 409 arame tubular solda externa: a-) sem fadiga; b-) com fadiga;

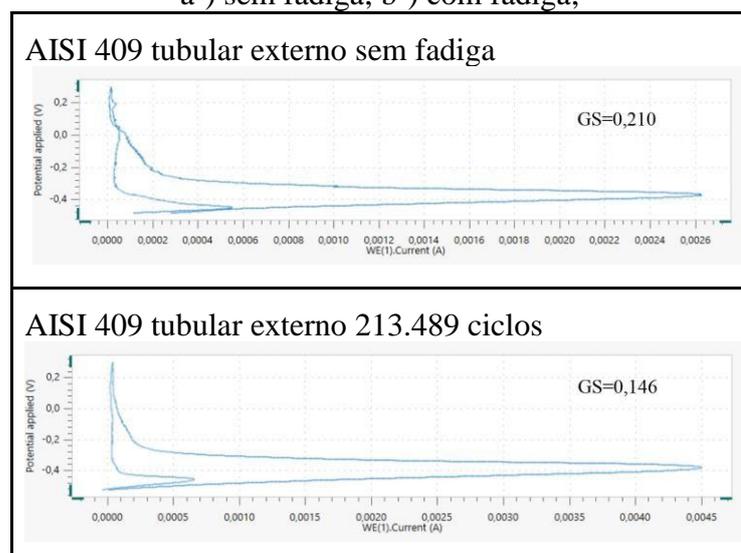
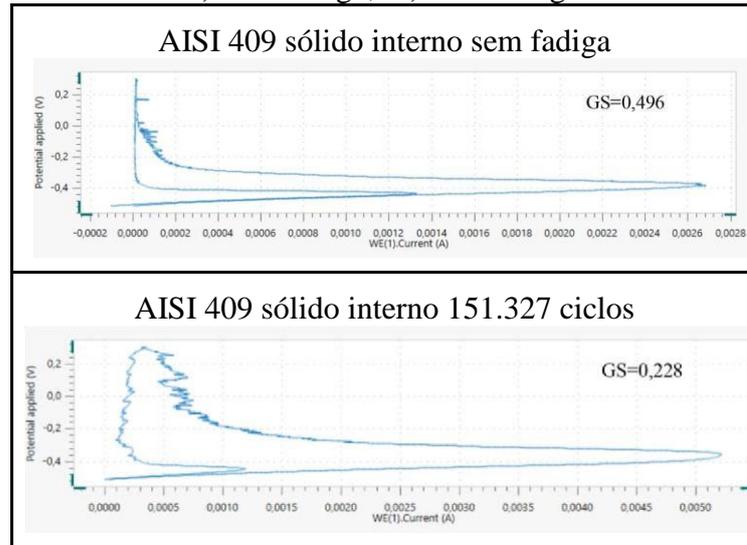
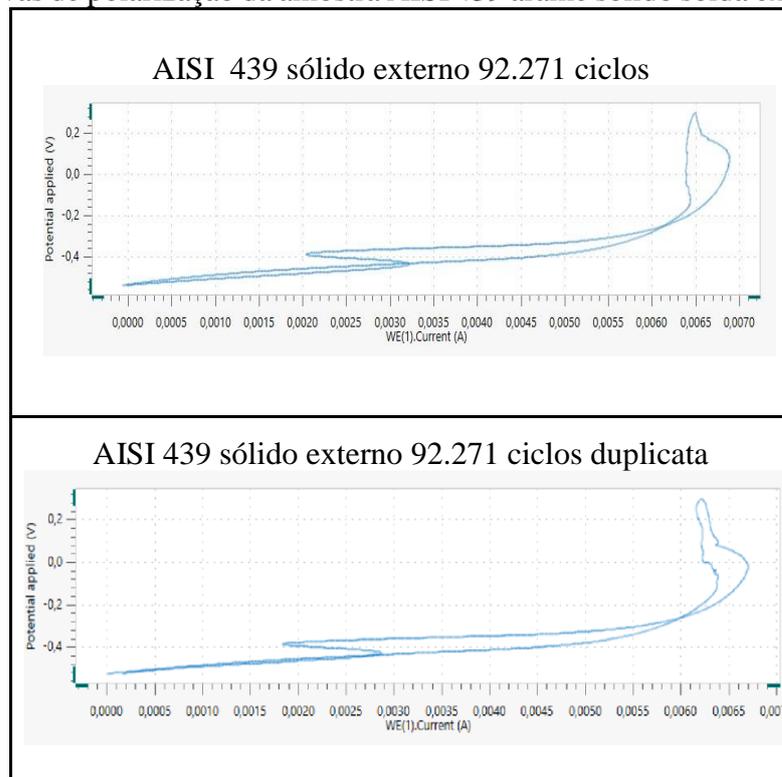


FIGURA 7. Curva de polarização das amostras AISI 439 arame sólido solda externa:
a-) Sem fadiga; b-) Com fadiga.



Em contrapartida, nos ensaios apresentados na FIGURA 8, observa-se que o formato da curva gerado fugiu do padrão obtido para as demais amostras, isso possivelmente ocorra devido à não formação da camada passiva e somente com os resultados do potenciostato não foi possível identificar a causa dessa alteração.

FIGURA 8. Curvas de polarização da amostra AISI 439 arame sólido solda externa com fadiga:



Mesmo sendo possível observar a corrente I_a e a corrente I_r , devido à curva apresentar um comportamento diferente do esperado não é possível determinar o GS neste caso da FIGURA 8.

Conclusão

Conclui-se que, em regra geral, a fadiga térmica não é um parâmetro impactante para a ocorrência de corrosão intergranular, mas a escolha do aço utilizado e os parâmetros de soldagem estão diretamente ligados à taxa de corrosão.

Entre os aços observa-se melhor resistência a corrosão intergranular do aço AISI 439 em relação ao aço AISI 409 e também melhor desempenho do arame tubular em relação ao arame sólido.

Referências bibliográficas

- ASTM A240 - *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*
- ASTM G108 - *Standard Test Method for Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels*
- Lima L.I.L.(2007) *Metodologia Para Avaliação Da Corrosão Da Zona Termicamente Afetada De Aço Inoxidável Ferrítico Aisi 439 Soldado*
- Serna C.A.; Reis C.; MAGNABOSCO R.; KUNIOSHI C.T.; FALLEIROS N.A. (2007) *Investigação do Efeito do Teor de Intersticiais Sobre o Grau de Sensitização em Aços Inoxidáveis Ferríticos A 600°C*
- Silva F.S.(2019) *Avaliação da Soldabilidade e do Desempenho da União Entre Aço e Escapamentos Automotivos*
- Silva C.C.; Machado J.P.S.E.; Sant'ana H.B.; Farias J.P.(2015) *Estudo da Sensitização Causada pelo Ciclo Térmico de Soldagem no Aço Inoxidável Superferrítico Aisi*