

Copyright 2022, ABINOX, ABRACO, IPT

Trabalho apresentado durante o INOXCORR 2022 - Seminário Brasileiro de Aços Inoxidáveis como Solução Contra Corrosão, realizado presencialmente no dia 23 de novembro de 2022.

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

Propriedades eletroquímicas do aço inoxidável AISI 410 goivado com eletrodo de grafita e soldado por arco submerso

Elvio Figueiredo¹, Ana Larissa Soares Cruz², Claudemiro Bolfarini³, Guilherme Yuuki Koga⁴

Resumo

Nas indústrias petroquímicas o processo de goivagem a arco elétrico com eletrodo de grafita é utilizado para a remoção de soldas defeituosas em juntas de aço ao carbono. Contudo, quando se trata de aços inoxidáveis, não existe na literatura muitas informações sobre a quantidade de carbono que é depositada na goiva, tampouco dos riscos de corrosão intergranular. Assim, a utilização desse método de remoção não é aceita pelas normas da indústria de óleo e gás. Este trabalho avaliou as alterações metalúrgicas e suas consequências eletroquímicas e de microdureza Vickers oriundas da goivagem com eletrodo de grafita seguida de soldagem por arco submerso com eletrodo AWS-ER 410, no aço inoxidável AISI 410 com espessura de 20 mm. O grau de sensitização das juntas soldadas foram avaliadas através da técnica de reativação potenciocinética em duplo loop (DL-EPR) segundo a ISO 12732, a susceptibilidade à corrosão intergranular de acordo com a norma ASTM A763, prática W, além dos ensaios de microdureza Vickers. Ao final, espera-se revelar a possibilidade da obtenção de juntas soldadas em AISI 410 não sensitizadas, para emprego seguro no setor petroquímico.

Palavras-chave: Aço inoxidável; goivagem a arco; eletrodo de grafita; susceptibilidade à corrosão; grau de sensitização.

Introdução

O aço inoxidável AISI 410 é muito utilizado nas indústrias de petróleo e gás, por aliar resistência mecânica e à corrosão. O estudo da região soldada é muito importante, pois o processo de soldagem é muito utilizado nas indústrias durante a fabricação e/ou reparo de equipamentos. Representa também um aço de menor custo dentre os aços inoxidáveis, devido à ausência de Mo e Ni, além de valores de Cr perto do limite inferior típico de aços inoxidáveis (10,5 %p).

O processo de corte por goivagem a arco elétrico com eletrodo de grafita é muito difundido nas indústrias por ter boa produtividade, ser simples e de custo relativamente baixo, sendo empregado para a remoção de defeitos em soldas e na preparação de juntas a serem soldadas em aço ao carbono. Porém, o processo tem sido evitado para aços inoxidáveis pela possibilidade do aumento do teor de carbono na região da goiva, favorecendo a sensitização e risco de corrosão intergranular.

Não foi encontrado nenhum estudo que demonstre que a goivagem com eletrodo de grafita seguido de soldagem pelo processo de arco submerso em aços inoxidáveis ferríticos realmente tenha influência negativa no comportamento eletroquímico da junta soldada. Informações confiáveis sobre a utilização da goivagem com eletrodo de grafita poderia levar

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

a um grande aumento da produtividade, visto que o esmerilhamento é a prática mais frequente nas indústrias, que além de ser um processo lento é mais caro que a goivagem.

Neste estudo serão consideradas amostras apenas soldadas pelo processo de arco submerso (amostras de controle) e amostras soldadas pelo mesmo processo, seguida de goivagem a arco elétrico com eletrodo de grafita e ressoldadas pelo mesmo processo.

O grau de sensitização das juntas soldadas será avaliado pela técnica de reativação eletroquímica potenciocinética em duplo loop (DL-EPR) baseada na ISO 12732 de 2006 (1) e seus resultados serão correlacionados com o ataque eletrolítico em ácido oxálico, para avaliar a susceptibilidade a corrosão intergranular segundo a ASTM A763 de 2015 (2).

A microdureza Vickers será avaliada para verificar o aumento de dureza da amostra devido à alterações metalúrgicas como a formação de martensita.

Ao final do estudo, espera-se compreender se a deposição de carbono proveniente da goivagem tem influência nas propriedades mecânicas e eletroquímicas da junta soldada por arco submerso, e se ela possui características que indiquem seu uso seguro em componentes da indústria petroquímica.

Metodologia

As amostras recebidas foram avaliadas quanto sua composição química e propriedades mecânicas, estando de acordo com a norma ASTM A240/240M-20a (3). A composição química do arame de soldagem também foi checada e atende a norma AWS A5.9/A5.9M (4).

O material foi atacado quimicamente, com reagente Villela, conforme ASTM E407 (5) e submetido a avaliação do tamanho de grão conforme ASTM E112-13 (6) e as inclusões de acordo com a ASTM E45-18a (7). As amostras de aço inoxidável AISI 410 foram usinadas pelo processo de fresagem de acordo com as especificações mostrado na Figura 01 (A) e soldadas por arco submerso com eletrodo de 1,6 mm de diâmetro, corrente de 350 A, tensão 24 - 25 V e velocidade de 450 mm/min.

Após a soldagem, foram adotados dois métodos para avaliação: No primeiro grupo, as amostras foram apenas soldadas (sem passar pelo processo de goivagem). No segundo grupo, as amostras foram soldadas, posteriormente foi realizado a goivagem com eletrodo de 3/8" e com corrente de 280 A e finalmente realizado a ressolda (sem nenhum tipo de limpeza pós goivagem). Foram retiradas três amostras da seção transversal de cada placa para cada tipo de ensaio e usinado conforme Figura 01(B).

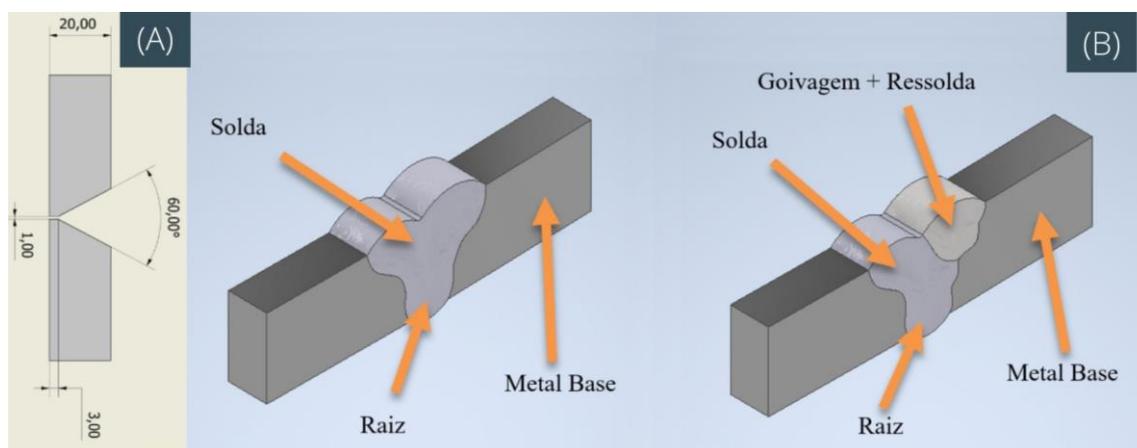


Figura 01 - Especificações das amostras de 410 para usinagem por fresagem (A) e representação esquemática de amostras retiradas das chapas soldadas e goivadas, com suas respectivas regiões (B).

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

As amostras foram lixadas de forma sequencial até a lixa SiC #1200, polida com alumina 1 μm e atacadas com reagente Vilella (5 mL HCl + 1 g de ácido pícrico + 100 mL de etanol 95%) para revelar a microestrutura (5).

Ensaio de microdureza Vickers (HV) foram realizadas nas peças para avaliar se houve formação de fases duras, como a martensita. Ademais as amostras foram submetidas a ensaios de susceptibilidade à ataque intergranular, de acordo com a norma ASTM A763-15, prática W, para que pudessem ser classificadas como microestrutura do tipo degrau (não sensitizada), vala (sensitizada) ou mista. Ensaio complementar para avaliar o grau de sensitização no material foi realizado utilizando a técnica de reativação potenciocinética em duplo loop (DL-EPR) em solução de 0,5 M de H_2SO_4 + 0,001 M KSCN.

Resultados e discussão

O material recebido foi preparado para metalografia e atacado por reagente Villela e a microestrutura foi considerada adequada para utilização neste estudo, como mostrado na Figura 03.



Figura 03 - Micrografia do aço 410 como recebido, apresentando inclusões finas de óxidos

A microestrutura foi classificada com inclusões de óxidos finos, alumina fina e tamanho de grão 7 planar. Óxidos finos, sulfetos finos e tamanho de grão 7 na transversal e longitudinal, considerando as normas ASTM E112 e E45. A microestrutura foi considerada adequada para utilização no presente projeto.

Microdureza Vickers

A microdureza Vickers encontrada nas amostras, conforme pode ser observado na Figura 04, teve pequena variação se comparado a amostra soldada e a amostra goivada. A variação de microdureza também foi pequena se observado as localizações, como exemplo, pode ser citado na amostra goivada as regiões de solda, ZTA e região da goiva. A importância na manutenção da microestrutura ferrítica, principalmente na ZTA, é assegurar a tenacidade da junta soldada, que seria comprometida caso houvesse formação de martensita.

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

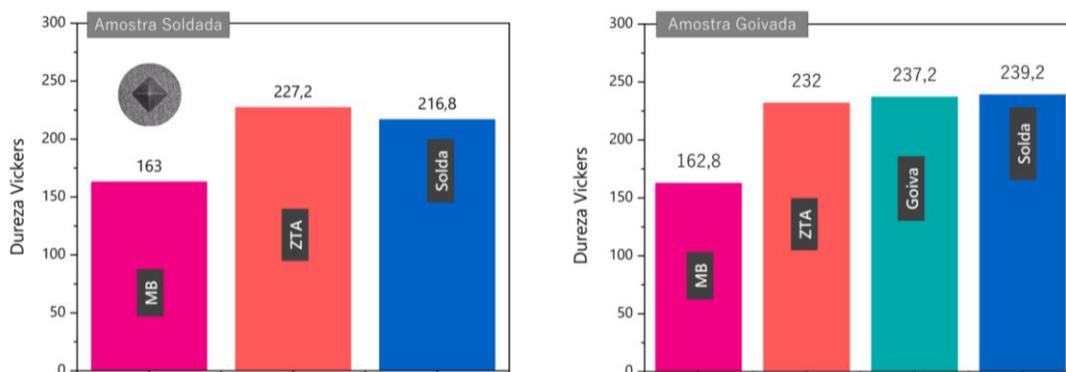


Figura 04 - Gráfico de dureza Vickers obtido para AISI 410 na condição soldada e goivada + ressoldada. MB: Metal Base, ZTA: Zona Termicamente Afetada.

Susceptibilidade ao ataque intergranular e grau de sensitização

Na Figura 05 (a) e (b) é possível verificar as imagens feitas após ensaio de susceptibilidade à corrosão intergranular na amostra apenas soldada, obtida região da solda (A), e na amostra goivada, obtida na região da goiva (B). De acordo com a classificação da ASTM A763, prática W, as figuras são classificadas como valas, sendo amostras suspeitas. Para melhor caracterizar a influência dos ciclos térmicos associados à soldagem e sua influência na microestrutura final, foram realizados testes eletroquímicos para avaliar o grau de sensitização da amostra.

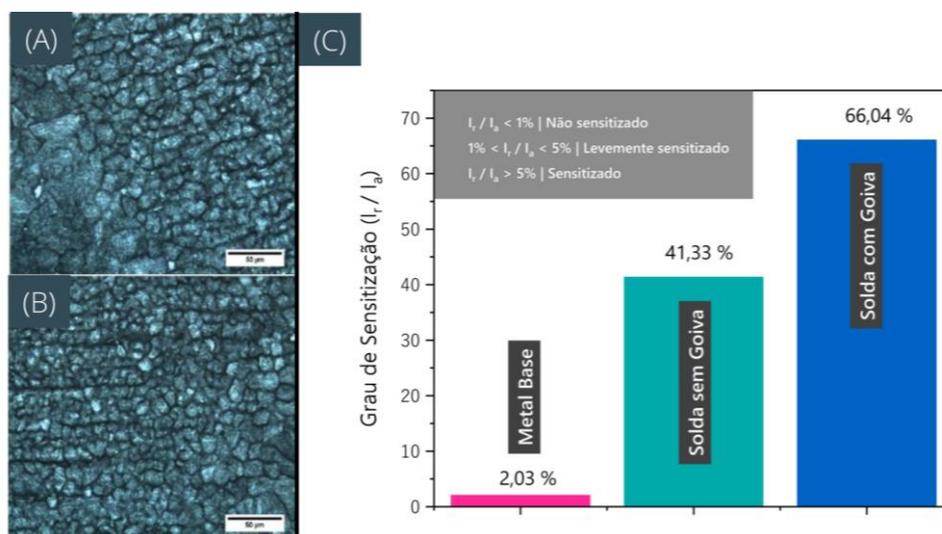


Figura 05 - Micrografias após ensaio de susceptibilidade à corrosão intergranular na amostra soldada, na região da solda (A), e na amostra goivada, na região da goiva (B). Gráfico de grau de sensitização comparando metal base, solda sem goiva e solda com goiva (C).

A partir da Figura 05(c) é possível inferir o grau de sensitização associada ao metal base e as diferentes condições de solda. O metal base exibe grau de sensitização maior que 1%, porém inferior à 5%, indicando uma condição levemente sensitizada. Ambas as soldas

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

² Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

apresentaram grau de sensitização superior a 5%, indicando que o processo soldagem com ou sem goiva é capaz de induzir sensitização no material. Condição mais crítica é observada para solda com goiva, exibindo grau de sensitização de 66% contra 41% para solda sem goivagem. O maior grau de sensitização na região da goiva pode ser explicado pela deposição de carbono oriundo do eletrodo de grafita utilizado no processo de goivagem, assim, facilitando a precipitação de carbonetos de cromo e a sensitização nesta região.

Conclusões

As amostras, tanto soldada quanto a goivada, apresentaram valas como mostrado no ensaio de susceptibilidade a corrosão intergranular. O grau de sensitização encontrado para as condições de solda avaliada foi maior que 5%. Para ambas as amostras a sensitização ocorreu, independente da realização ou não do processo de goivagem, mostrando que a goivagem não é a causadora da sensitização, mais sim os ciclos térmicos que as amostras foram submetidas, causadas pela soldagem por arco submerso, caracterizado por seu elevado aporte térmico. A microdureza Vickers aumentou na região da solda, goiva e na ZTA se comparado com o metal base, porém esse aumento foi discreto indicando que não houve a formação de martensita frágil.

Referências bibliográficas

- (1) International Organization for Standardization. **ISO 12732:2006(E); Corrosion of metals and alloys – Electrochemical potentiokinetic reactivation measurement using the double loop method (based on Cihal’s method)**. Suíça, 2006
- (2) American Society for testing and Materials. **A763-15: Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels. Practice W and Z**. West Conshohocken: ASTM International, 2015.
- (3) American Society for Testing and Materials. **A240/A240M-20a: Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications**. West Conshohocken: ASTM International, 2020.
- (4) American Welding Society. **A5.9/A5.9M: Welding Consumables – Wire Electrodes, Strip Electrodes, Wires, and Rods for Arc Welding of Stainless and Heat Resisting Steels – Classification**. Danvers: AWS, 2017
- (5) American Society for testing and Materials. **E407-07: Standard Practice for Microetching Metals and alloys**. West Conshohocken: ASTM International, 2015.
- (6) American Society for testing and Materials. **E112-13: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size**. West Conshohocken: ASTM International, 2013.
- (7) American Society for testing and Materials. **E45-18a: Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel**. West Conshohocken: ASTM International, 2018.

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) - UFSCar

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) - UFSCar