

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

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

Corrosão em torno do cordão de solda em um aço inoxidável austenítico 304L

Carlos A. Picon¹, Tarcísio A. Morando², Stênio C. Heck³, Frederico A.P. Fernandes⁴, Luiz C. Casteletti⁵, Artur de J. Motheo⁶

Abstract

Among the greatest concerns involving the welding processes, the heat supply and cooling rate are those that influence significantly the microstructure of both the weld bead and adjacent base plate. In austenitic stainless steels depending on the welding parameters, a phenomena named sensitization can occur, which reduces the toughness, ductility and corrosion resistance of this class of steels. Therefore, minimizing the steel spent time under unfavorable conditions is the great motivation for formulating the optimums parameters. In this work, an AISI 304L stainless steel was subjected to welding varying the welding current and cooling rates. Subsequently, the welded material was subjected to corrosion tests in different regions of the test specimens to verify the effect of processing variables on the corrosion behavior of these steel.

Key-words: Welding; AISI 304L; Corrosion; Sea water.

Resumo

Dentre os grandes interesses envolvendo os processos de soldagem estão o aporte de calor e a velocidade de resfriamento que influenciam significativamente nos aspectos microestruturais, tanto do cordão de solda como na chapa base adjacente. Em aços inoxidáveis austeníticos dependendo dos parâmetros de soldagem, pode ocorrer o fenômeno chamado de sensitização, que reduz a tenacidade, ductilidade e resistência à corrosão desses tipos de aços. Portanto, minimizar o tempo de permanência do aço sob condições desfavoráveis, é a grande motivação para serem formulados parâmetros de otimização. Neste trabalho um aço inoxidável AISI 304L foi submetido à soldagem, variando-se a corrente de soldagem e as velocidades de resfriamento. Posteriormente, realizaram-se ensaios de corrosão em diferentes regiões do corpo-de-prova para a verificação do efeito das variáveis de processamento no comportamento à corrosão desses aços.

Palavras-chave: Soldagem; AISI 304L; Corrosão; Água do mar.

¹ Prof. Doutor, Físico – FEIS - UNESP

² Graduando – FEIS - UNESP

³ Mestrando, Químico – EESC - USP

⁴ Engenheiro Químico, Doutorando, EESC - USP

⁵ Prof. Doutor, Engenheiro de Materiais – EESC - USP

⁶ Prof. Doutor, Químico – IQSC - USP

Introdução

Aços com teores crescentes de cromo têm suas resistências à oxidação e a corrosão aumentadas. Aços com teor mínimo de 12 % Cr são classificados como inoxidáveis. A resistência à corrosão das ligas a base de Fe-Cr está associada ao fenômeno de passivação, que se constitui na formação de uma camada de espessura nanométrica de óxido de cromo.

A eficácia do cromo como elemento protetor está associada a sua dissolução completa na matriz. Quando os aços inoxidáveis são mantidos na faixa de (425-815) °C, ou resfriados lentamente ao passarem pela mesma, pode ocorrer a formação de carbonetos do tipo $Cr_{23}C_6$ nos contornos dos grãos. As regiões próximas a esses contornos ficam empobrecidas pela retirada do cromo para a formação dos carbonetos, e torna-se susceptível à corrosão [1], com um ataque preferencial nessa região, comprometendo o conjunto nos processos de soldagem desses aços, é comum acontecer esse fenômeno, denominado de sensitização, uma vez que uma região da zona termicamente afetada será submetida à faixa de temperaturas.

Em aços inoxidáveis austeníticos, os principais precipitados que podem ocorrer no metal de solda são a ferrita, a fase σ e carbonetos $M_{23}C_6$. Redes contínuas dessas fases intergranulares reduzem a tenacidade, ductilidade e resistência à corrosão desses tipos de aços [2].

Aços inoxidáveis susceptíveis à sensitização são aquelas com teores de carbono acima de 0,04 % e não contém elementos estabilizadores de carbonetos, como o titânio e o nióbio [3].

Os aços inoxidáveis do tipo *low-carbon* foram desenvolvidos para evitarem o fenômeno, uma vez que seus baixos teores de carbono (0,02 %) não disponibilizam esse elemento para uma formação acentuada do carboneto. Isto permite que o cromo permaneça em solução sólida protegendo o material.

Nos processos de soldagem, o aporte de calor e a velocidade de resfriamento influenciam significativamente nos aspectos microestruturais, tanto do cordão de solda como na chapa base adjacente.

Neste trabalho, um aço inoxidável AISI 304L foi submetido a soldagem, variando-se a corrente de soldagem e as velocidades de resfriamento. Posteriormente, realizaram-se ensaios de corrosão em diferentes regiões do corpo-de-prova para a verificação do efeito das variáveis de processamento no comportamento à corrosão desses aços.

Materiais e Métodos

Para a obtenção dos corpos-de-prova para os ensaios de corrosão, chapa de aço inoxidável (AISI 304L) foi cortada em pedaços iguais. A composição química nominal do aço AISI 304L é apresentada na Tabela 1. Cada chapa foi colocada lado a lado com outra a uma distância de 1,5 mm. Essa distância justificar-se-á com análises posteriores feitas somente na região do cordão entre os dois materiais a serem unidos.

Para a deposição de um cordão de solda foi utilizado um aparelho de solda retificador (corrente contínua) e um eletrodo revestido da marca OK, tipo 61.30.

Tabela 1 – Composição química (% massa) do aço e do eletrodo para soldagem.

Material	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
AISI 304L	0,03	1,00	2,00	18-20,00	8-12,00	Bal.
Eletrodo OK	0,03	0,80	0,80	19,60	9,90	Bal.

No processo de soldagem, foram realizadas variações nos parâmetros, intensidade da corrente e resfriamento logo após a soldagem. Tais parâmetros e variações estão inseridos na Tabela 2. Nos procedimentos de soldagem o eletrodo foi posicionado a 90 graus em relação à peça, e

após o termino do processo, o resfriamento foi realizado em água corrente, com a amostra soldada ainda incandescente.

Tabela 2 – Parâmetros e procedimentos estudados no processo de soldagem.

Procedimento	Corrente de soldagem (A)	Resfriamento
P1	140	Não
P2	140	Sim
P3	75	Não
P4	75	Sim

As amostras resultantes dos quatro procedimentos descritos na tabela acima foram lixadas, polidas e limpas, para os ensaios de corrosão. Os ensaios de polarização potenciodinâmicas foram realizados em três regiões distintas de cada amostra, conforme mostra a Figura 1.

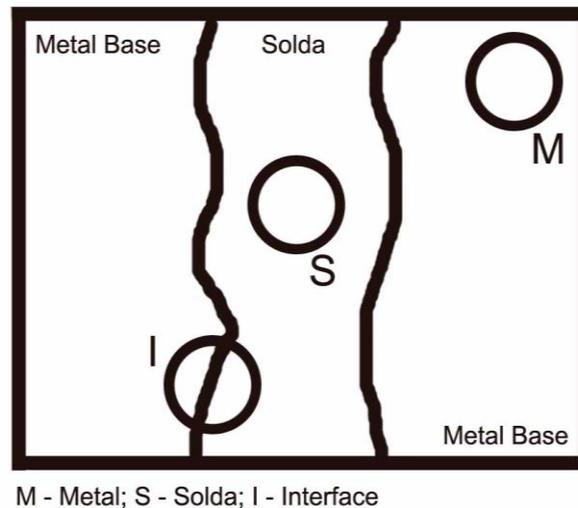


Figura 1 – Esquema da realização dos experimentos nas amostras do aço AISI 304L.

Os círculos, com área real de aproximadamente $0,5 \text{ cm}^2$, representam a área exposta ao eletrólito durante os ensaios de corrosão. Foram obtidas três curvas de polarização, em cada procedimento (P1, P2, P3 e P4), num total de doze curvas.

Essas curvas foram obtidas sobre as regiões distintas das amostras de cada procedimento, utilizando-se um potenciostato modelo Autolab-VGSTAT-302. A célula eletroquímica empregada para a obtenção das curvas de polarização potenciodinâmicas consta de um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e um eletrodo auxiliar de platina. O eletrólito usado foi água do mar natural oriunda da praia de Itapuã - Salvador (BA) (pH 8,5). A velocidade de varredura foi de 1 mV/s .

Nas análises metalográficas realizadas antes e após os ensaios de corrosão foi empregado um Microscópio Óptico Zeiss modelo Axiotech.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de polarização potenciodinâmicas dos procedimentos de soldagem (P1, P2, P3 e P4) nas regiões do metal base (M), da solda (S) e da interface (I). Verifica-se que os potenciais de corrosão da região do metal base (Fig. 1a) estão bastante

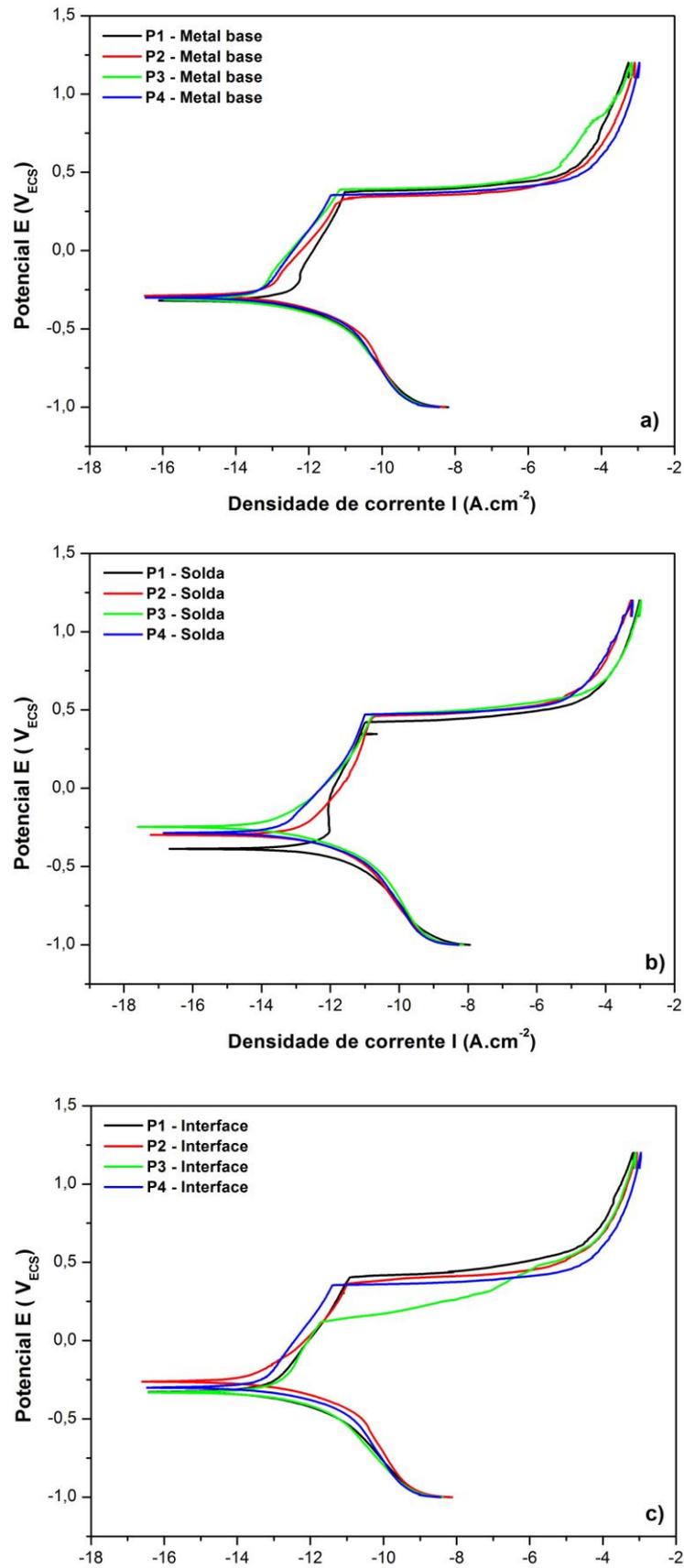


Figura 1 – Curvas de polarização potenciodinâmicas dos quatro procedimentos de soldagem nas regiões: a) Metal base, b) Solda e c) Interface.

próximos entre si, não diferindo entre os procedimentos, conforme se observa também na Tabela 3. Isto mostra que o meio de resfriamento e a corrente de soldagem não influenciaram significativamente as propriedades de corrosão do metal base (AISI 304L).

Comparando as curvas de polarização dos quatro processos na região de solda (Fig. 1b) verifica-se que, para o procedimento 1 e 2 há um deslocamento do potencial de corrosão para potenciais mais negativos, enquanto que para os procedimentos 3 e 4 o deslocamento é em direção oposta. Isso indica que os procedimentos 3 e 4, que ocorreram em menor corrente de soldagem (75 A – menor temperatura de soldagem), são mais adequados.

Levando-se em conta o potencial de pite na região de solda (Fig. 1b), os mesmos ocorrem antes e bastante próximos para os procedimentos 1 e 2, e posteriormente para os procedimentos 3 e 4. Isso indica que os materiais submetidos aos procedimentos 3 e 4 são mais resistentes à formação de pites.

Finalmente, pode ser observado que o procedimento 4 foi o mais adequado para o processo de soldagem empregado, conforme os valores de I_{pite} apresentados na Tab. 3.

As curvas de polarização relativas à região da interface (Fig. 1c) mostram que tanto a corrente quanto o potencial de corrosão diminuem, em relação ao resfriamento lento (ao ar) para o rápido (em água), para as duas correntes de soldagem. Entretanto para os procedimentos 3 e 4 essa diminuição é menos pronunciada. Observando-se o potencial e a corrente de pite ocorre uma diminuição destes para os procedimentos 1 e 2, enquanto que para os procedimentos 3 e 4 ocorre aumento do potencial e da corrente de pite.

Tabela 3 – Parâmetros eletroquímicos das curvas de polarização.

Procedimento/ Região	E_{corr} (mV)	I_{corr} x 10⁻¹⁰ (A)	E_{pite} (mV_{ECS})	I_{pite} x 10⁻⁶ (A)
P1-M	-319	178,22	373	6,20
P1-S	-387	91,55	422	6,57
P1-I	-329	122,07	407	7,62
P2-M	-289	113,52	327	5,83
P2-S	-298	48,83	428	7,38
P2-I	-261	99,49	361	6,43
P3-M	-313	20,99	391	5,52
P3-S	-246	31,74	471	9,20
P3-I	-332	122,07	120	2,81
P4-M	-301	115,97	352	3,97
P4-S	-286	75,07	471	6,34
P4-I	-301	115,97	290	3,39

A Figura 2 exibe as superfícies após levantamento das curvas potenciodinâmicas, do material submetido ao procedimento 4, mostrando a região do metal base (Fig. 2a), da solda (Fig. 2b) e a região de interface (Fig. 2c). São observados pites nessas três regiões. Na região do metal base, esses pites apresentam maiores diâmetros, na região da solda os pites são menores. Na região da interface, os pites seguem a mesma tendência das regiões do metal e da solda. Este fato indica que, para este procedimento a região da solda é bastante resistente à corrosão por pites.

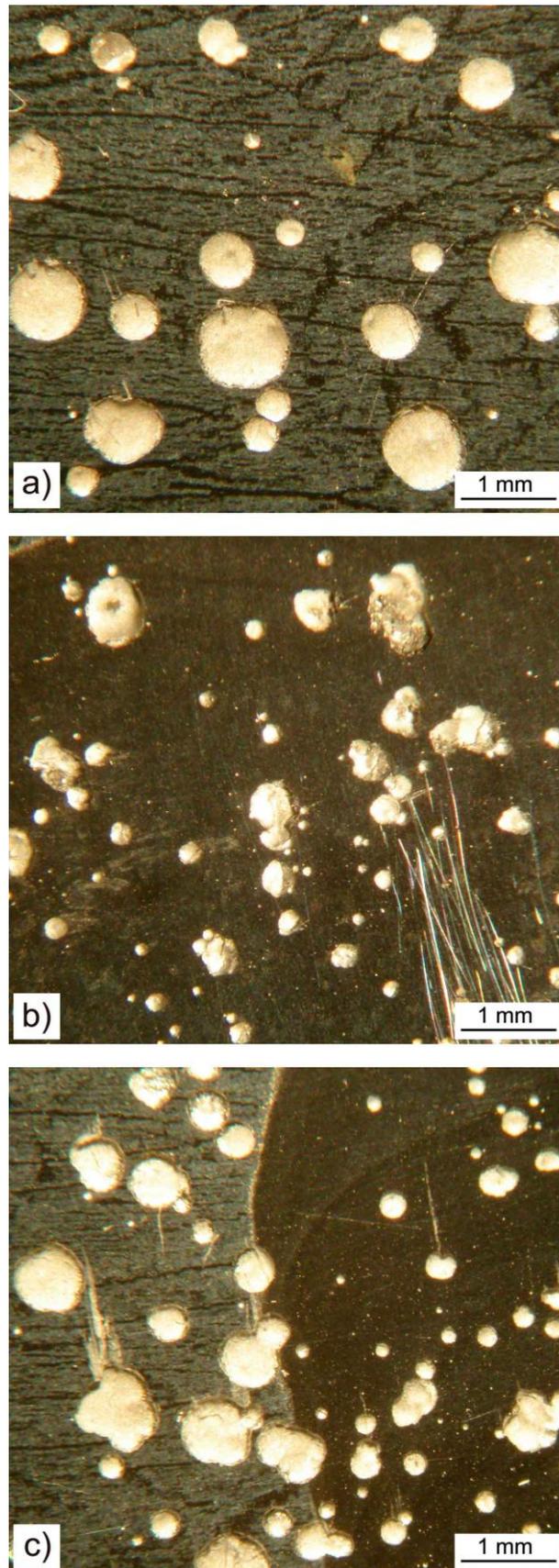


Figura 2 – Micrografias ópticas das superfícies após os ensaios de corrosão nas regiões: a) Metal base, b) Solda e c) Interface, do procedimento P4.

Conclusões

Foram obtidas soldas entre placas do aço AISI 304L, para todos os procedimentos empregados,

As curvas de polarização na região do metal base foram bastante similares, indicando que o meio de resfriamento e a corrente de soldagem não influenciaram significativamente seus parâmetros de corrosão. Além disso, as correntes de corrosão são bastante baixas, da ordem de nA.

Na região da solda foi verificado que o procedimento 4, realizado em 75 A, foi o mais adequado para o processo de soldagem empregado, ao seu menor potencial de corrosão.

Em relação à interface foi verificado que o resfriamento rápido (em água) foi mais adequado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à ENGEMASA – Engenharia de Materiais LTDA pelo fornecimento dos materiais, ao CNPq (proc. 150799/2008-0) e à CAPES (pela bolsa concedida à F.A.P. Fernandes).

Referências Bibliográficas

1. SILVA, A.L.V.C.; SILVA, P.R.M. **Aços e ligas especiais**, Edgard Blücher, São Paulo, 2006.
2. ASM - AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals handbook: Corrosion of stainless steel weldments**, Corrosion: Testing and protection: Materials Park. 2003. V.13A. p. 301-316.
3. ASM - AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals handbook: Corrosion: Materials Park**. 1992. V.13.