

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 347 APÓS SOLDAGEM¹

Pedro Netto da Silva²
Ellen de Carvalho Pessanha³
Bárbara Ferreira de Oliveira²
Luis Augusto Hernandez Terrones⁴

Resumo

Neste trabalho estudou-se a microestrutura de um aço inoxidável austenítico AISI 347 após um processo de soldagem e avaliou-se o efeito de um posterior tratamento térmico de solubilização a 1.150°C sobre esta microestrutura. A preparação metalográfica das amostras consistiu de lixamento úmido, polimento abrasivo e ataque eletrolítico, para o qual se utilizou como eletrólito uma solução de ácido oxálico. Posteriormente, a microestrutura foi analisada por meio de microscopia ótica e eletrônica de varredura. Inicialmente, a estrutura do material consistia de grãos equiaxiais de austenita com presença de maclas no seu interior. A zona fundida do material soldado apresentava uma matriz austenítica com presença da fase ferrita delta com diferentes morfologias, que na zona termicamente afetada apresentava-se em menor quantidade, sendo quase inexistente no metal base. Com o tratamento térmico de solubilização a 1.150°C, observa-se uma diminuição da fração volumétrica da ferrita delta.

Palavras-chave: Ferrita delta; Aço inoxidável austenítico; Soldagem; Solubilização.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 347 AFTER WELDING PROCESS

Abstract

In this work, the microstructure of austenitic stainless steel AISI 347 after welding process was studied, and the result of the following solution heat treatment at 1,150°C was measured. The metallographic preparation of the samples consisted in wet sanding, abrasive polishing and electrolytic etching, for which oxalic acid was used as electrolyte. After, the microstructure was analysed by optical microscopy and scanning electron microscopy. In its initial state, the material structure consisted of equiaxial austenitic grains with twin crystals inside. The fusion zone of the welded material had an austenitic matrix and delta ferrite with different morphologies, which, in the heat-affected zone, was in minor quantity and almost none in the base metal. After the solution heat treatment at 1,150°C, the decrease in the delta ferrite volume fraction's can be observed.

Key words: Delta ferrite; Austenitic stainless steel; Welding; Solution.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UENF, Lamav.

³ Eng.^o Metalúrgico e de Materiais. Mestrando em Engenharia e Ciência dos Materiais, UENF, Lamav

⁴ Eng.^o Metalúrgico. D.Sc., Professor Associado, UENF, Lamav.

1 INTRODUÇÃO

Devido à sua alta resistência mecânica, elevada resistência à corrosão, boa ductilidade e soldabilidade satisfatória, os aços inoxidáveis austeníticos são muito utilizados nas indústrias química, nuclear, alimentícia e de refino de petróleo, podendo trabalhar tanto a temperaturas elevadas quanto a temperaturas criogênicas.^(1,2) Para muitas de suas aplicações, no entanto, é necessário o uso de operações de soldagem.

Apesar da grande importância da soldagem para possibilitar a montagem de uma forma geométrica complexa, cuja fabricação como peça única seria por demais trabalhosa e cara, ou unir partes de estruturas muito grandes, este processo afeta térmica, mecânica e metalurgicamente o material soldado. Alterações de microestrutura e de composição química, aparecimento de tensões residuais e degradação de propriedades mecânicas podem resultar no material.⁽³⁾

No que se refere às alterações microestruturais que podem ocorrer nos aços inoxidáveis austeníticos devido ao processo de soldagem, um problema que pode ocorrer durante a aplicação desses aços é a precipitação de fases prejudiciais, como a ferrita delta (δ) na zona fundida.⁽³⁾

A ferrita delta, dependendo da fração volumétrica e da aplicação da liga pode ter efeito benéfico ou não. Quando o nível de ferrita delta é considerado relativamente alto, as propriedades mecânicas do material podem ser comprometidas, caso o mesmo venha a ser utilizado em situações em que é submetido tanto a temperaturas elevadas quanto a temperaturas criogênicas.

Para reduzir a fração volumétrica de ferrita delta na sua estrutura, os aços inoxidáveis austeníticos podem ser submetidos a um tratamento térmico de solubilização. Este tratamento consiste em aquecer o aço a uma faixa de temperatura entre 950°C e 1.150°C por um tempo necessário à dissolução da ferrita delta na matriz austenítica e então resfriá-lo rapidamente a fim de evitar a precipitação de carbonetos.^(4,5)

Este trabalho tem como objetivo estudar as alterações microestruturais em um aço inoxidável austenítico AISI 347 submetido a uma operação de soldagem e um posterior tratamento térmico de solubilização. É analisado principalmente a variação no tamanho de grão da austenita e a fração volumétrica da ferrita delta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi um aço inoxidável austenítico AISI 347 soldado através dos processos TIG (raiz) e PAW (enchimento e acabamento). A composição química nominal do metal base e do metal de adição é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do metal base (AISI 347) e do metal de solda (ER308L)

AISI 347										
Elemento	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Nb	
(% em peso)	0,015	1,89	0,44	17,06	10,1	0,33	0,015	0,002	0,66	
ER308L										
Elemento	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	P	S	N
(% em peso)	0,015	1,85	0,48	20	10,1	<0,20	0,50	0,015	0,010	<0,60

Deste material foram retiradas amostras com aproximadamente 130 mm de comprimento, 13 mm de espessura e 10 mm de profundidade, e com o cordão de solda no centro das amostras e perpendicular ao plano de análise.

As amostras foram preparadas metalograficamente por lixamento, polimento e ataque eletrolítico, realizado segundo a norma ASTM 262A. A solução utilizada como eletrólito foi preparada a partir da completa dissolução de 10 g de ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) em 100 mL de água destilada. A voltagem utilizada foi de 0.03 V e a corrente, de 0.18 A, aplicada durante 1 minuto e meio. Como catodo, fez-se uso de uma placa de aço inoxidável.⁽⁶⁾

A caracterização microestrutural foi realizada em cada um das três zonas de soldagem: metal base (MB), zona termicamente afetada (ZTA) e zona fundida (ZF) (Figura 1). A observação estrutural dessas zonas foi realizada através das técnicas de microscopia ótica (Neophot-32) e microscopia eletrônica de varredura (Shimadzu SSX-550) no Lamav.

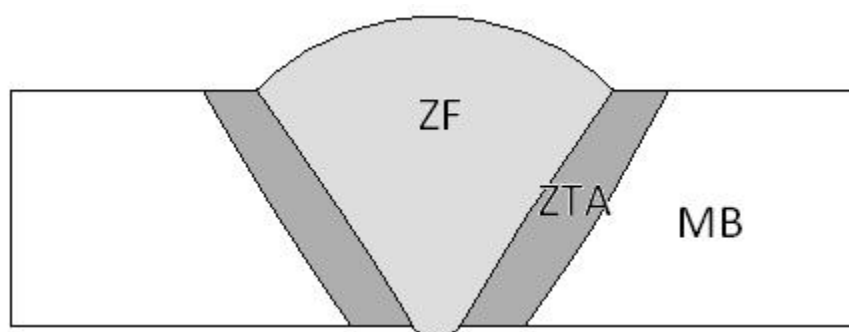


Figura 1. Representação esquemática das três zonas de soldagem selecionadas para a caracterização microestrutural: zona fundida (ZF), zona termicamente afetada (ZTA) e metal base (MB).

O tratamento térmico realizado foi de solubilização, a 1.150° durante 30 minutos, a fim de dissolver parte da ferrita delta precipitada na matriz austenítica.

3 RESULTADOS

Nas Figuras 2 a 4, são apresentadas micrografias das três regiões características do material após o processo de soldagem.

Na Figura 2 é mostrada uma micrografia do metal base. Pode-se observar que sua microestrutura é constituída por grãos equiaxiais de austenita.

A micrografia da Figura 3 apresenta a microestrutura da zona termicamente afetada na interface ZTA/ZF, ou seja, na região de alta temperatura. Nela observa-se a ferrita delta, principalmente, nos contornos dos grãos austeníticos.

Nas micrografias das Figuras 4a e 4b, obtidas respectivamente por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura, apresenta-se a microestrutura da zona fundida. É observada, nestas micrografias, a ferrita delta distribuída com diversas morfologias em uma matriz austenítica.

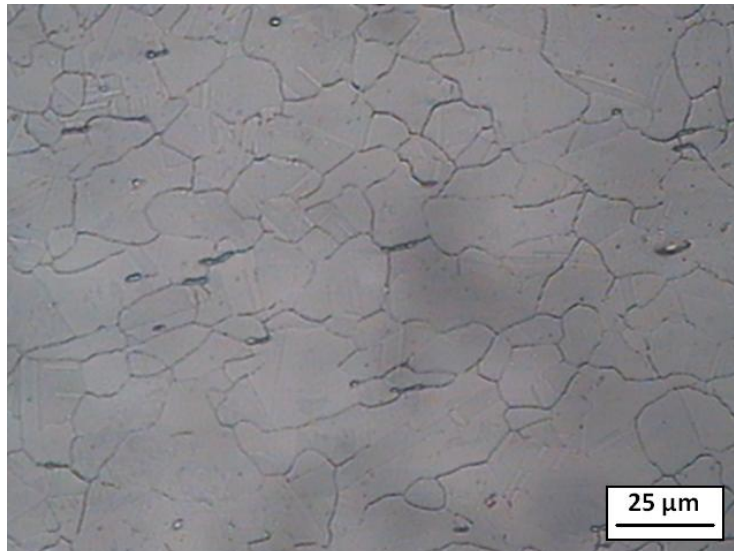


Figura 2. Microestrutura do metal base antes do tratamento térmico de solubilização.

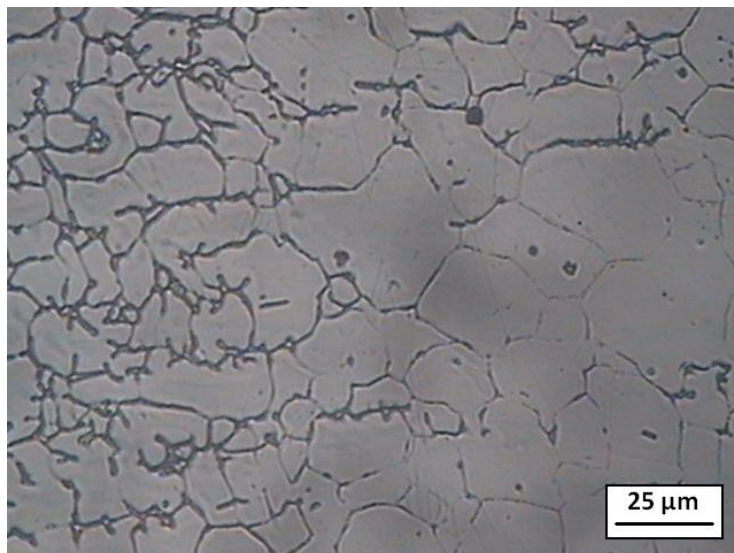


Figura 1. Microestrutura da zona termicamente afetada antes do tratamento térmico de solubilização.

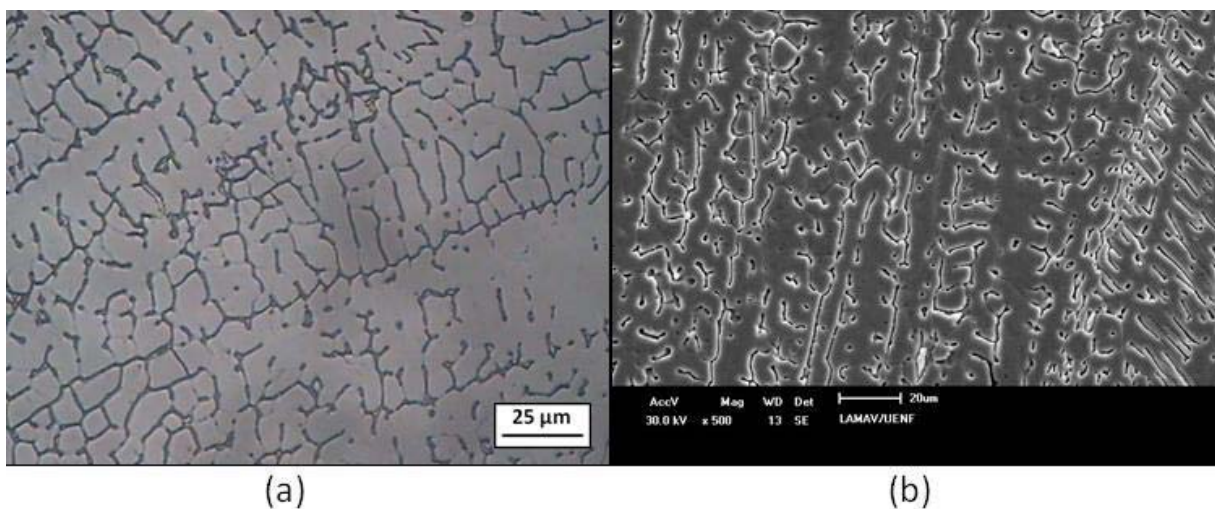


Figura 2. Microestrutura da zona fundida antes do tratamento térmico de solubilização.

A microestrutura do metal base após o tratamento térmico de solubilização é apresentada na Figura 5. Observam-se algumas pequenas partículas de carbonetos no interior dos grãos austeníticos.

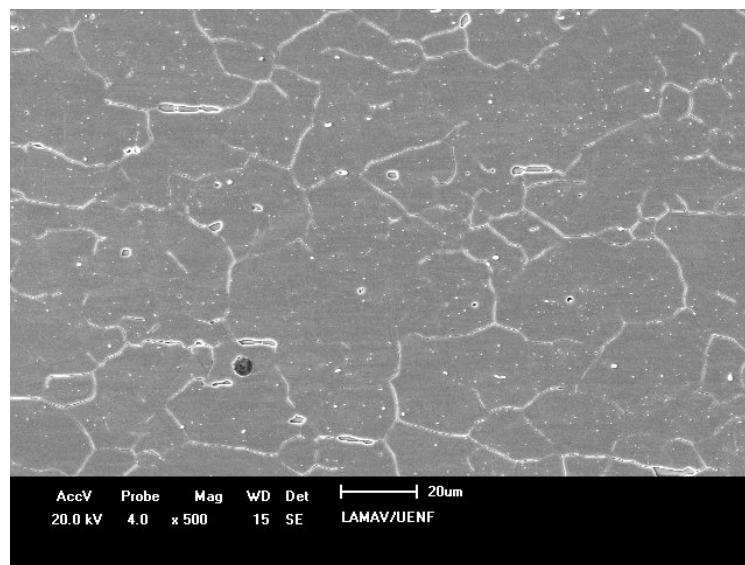


Figura 5. Microestrutura do metal base após o tratamento térmico de solubilização.

A Figura 6 mostra a microestrutura apresentada pela zona termicamente afetada próxima ao metal base (Figura 6a) e à zona fundida (Figura 6b) após o tratamento térmico de solubilização. Destaca-se a ferrita delta presente principalmente nos contornos de grão de austenita.

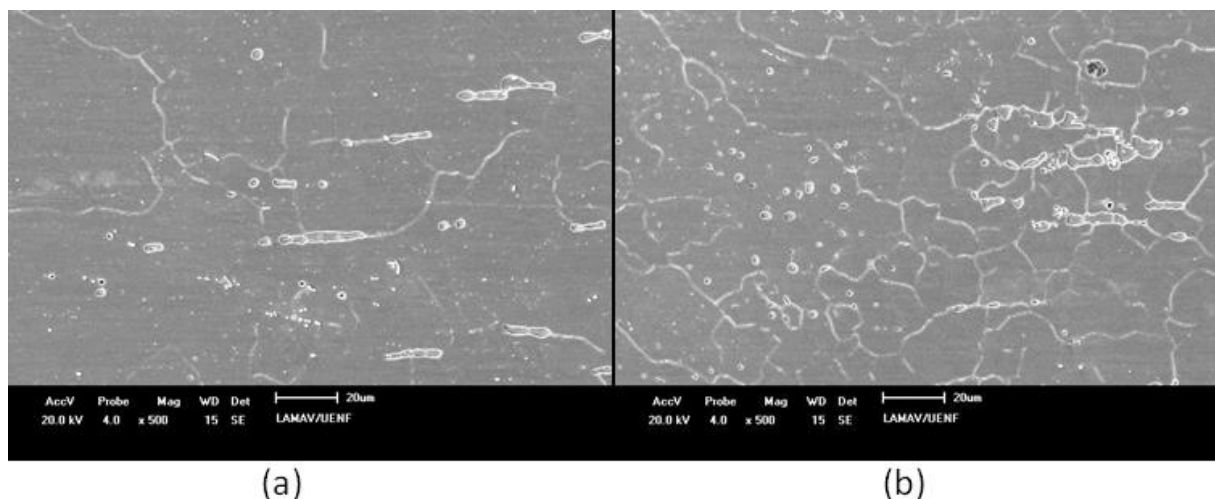


Figura 6. Microestrutura da (a) zona termicamente afetada próxima ao metal base; e (b) próxima à zona fundida, após o tratamento térmico de solubilização.

A microestrutura da zona fundida apresentou a ferrita delta em menor quantidade que a zona fundida do material soldado não tratado (Figura 7).

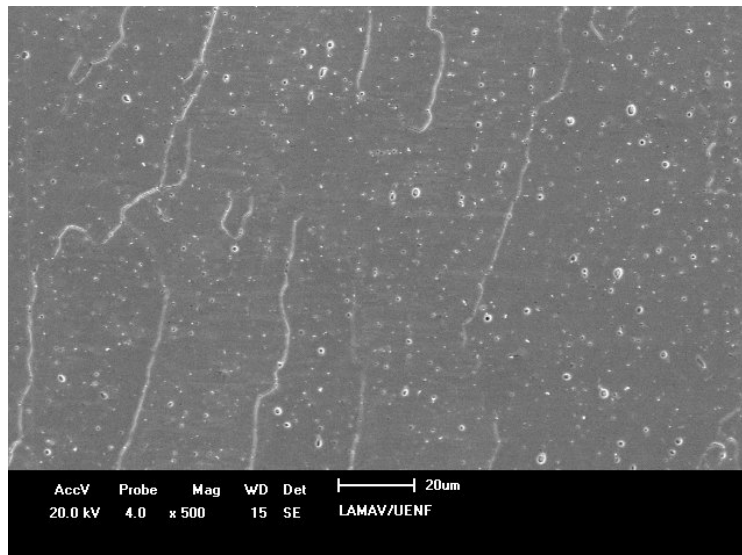


Figura 7. Microestrutura da zona fundida após o tratamento térmico de solubilização.

4 DISCUSSÃO

A microestrutura do aço inoxidável austenítico na condição inicial, como recebido, é monofásica, composta por grãos de austenita praticamente equiaxiais com pequenas partículas de carbonetos e maclas no seu interior. A micrografia da Figura 2 mostra que o metal base do material soldado apresenta uma microestrutura praticamente igual à do material como recebido, demonstrando que o calor proveniente da soldagem não chegou a afetar esta região. A zona termicamente afetada apresenta uma microestrutura contendo grãos de austenita variando de tamanho (Figura 3). Esta variação se deve à influência do calor proveniente da região de alta temperatura. Pela maneira como cresceram os grãos, dos quais alguns aumentaram de tamanho desproporcionalmente, e pelo aparecimento de pequenos grãos pode-se dizer que ocorreu mecanismo de crescimento anormal com recristalização secundária. A zona fundida apresenta uma microestrutura completamente diferente do metal base e da zona termicamente afetada (Figura 4). Esta é bifásica, consistindo de ferrita delta vermicular e em espinha precipitada na matriz austenítica.

O tratamento térmico de solubilização não teve um efeito significativo no metal base (Figura 5). A micrografia mostra uma microestrutura semelhante àquela do metal base antes do tratamento térmico. É possível observar os efeitos da solubilização na zona termicamente afetada (Figura 6). A principal diferença é a redução da fração volumétrica de ferrita delta na microestrutura, a qual está sempre presente nos contornos de grão de austenita. Quanto ao aumento de tamanho dos grãos, este efeito de crescimento anormal observado no material soldado se mantém. No interior dos grãos têm-se algumas pequenas partículas de carbonetos não dissolvidos possivelmente porque o tempo de permanência à temperatura de solubilização foi insuficiente ou a velocidade de resfriamento foi muito baixa. A zona fundida do material solubilizado também apresenta variação na sua microestrutura (Figura 7). Pode-se observar que nesta região ocorreu uma considerável diminuição da fração volumétrica de ferrita delta, a qual se apresenta nos contornos de grão de austenita que ficaram mais evidentes.

5 CONCLUSÕES

A partir deste estudo microestrutural do aço AISI 347 soldado e posteriormente solubilizado, foi possível concluir:

- a microestrutura inicial do material consistindo de grãos austeníticos não mudou no metal base na condição de soldado e solubilizado;
- a zona termicamente afetada do material soldado mostra a ferrita delta precipitada, principalmente na região de alta temperatura, nos contornos de grão de austenita;
- também na zona termicamente afetada observaram-se mudanças microestruturais com características de um mecanismo de crescimento anormal dos grãos; e
- na zona fundida, após a solubilização, a microestrutura apresentou uma diminuição da fração volumétrica de ferrita delta, mas ainda com a presença desta fase, principalmente nos contornos de grão de austenita, e carbonetos no interior dos grãos.

Agradecimentos

Os pesquisadores deste trabalho agradecem o apoio concedido pelo PIBIC/UENF.

REFERÊNCIAS

- 1 PADILHA, A. F.; GUEDES, L. C. **Aços inoxidáveis austeníticos, microestrutura e propriedades**. Editora Hemus, 1994.
- 2 AMERICAN SOCIETY OF METALLURGY. **ASM Handbook: properties and selection – Irons, steels, and high-performance alloys**. Ohio, US: ASM International, 1990.
- 3 MODENESI, P. J. **Soldabilidade dos aços inoxidáveis**. São Paulo: SENAI-SP, 2001. (Coleção Tecnologia da Soldagem Vol. 1)
- 4 CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7^a ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2005.
- 5 COSTA E SILVA, A. L. V.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 2^a ed., Editora Edgar Blücher, 2006.
- 6 BRAMFITT, B.L.; BENSCOTER, A.O. **Metallographer's guide: practices and procedures for iron and steel**. Ohio, US: ASM International, 2002.