

COMPARAÇÃO ENTRE GASES DE PROTEÇÃO NA MICROESTRUTURA DE UM AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX SAF 2205 APÓS SOLDAGEM¹

Thaís da Silva Leite Garcia²
Gláucio Soares da Fonseca³

Resumo

Os aços inoxidáveis duplex são conhecidos por apresentarem boas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão. Isto se deve ao balanceamento entre as duas fases: 50% de austenita e 50% de ferrita. Porém, quando estes aços são submetidos à processos de soldagem pode ocorrer o desbalanceamento das fases além de provocar precipitação de fases intermetálicas (como fase sigma e fase chi) e compostos intermetálicos (como o surgimento de nitreto de cromo) na matriz ferrítica. O surgimento desses precipitados pode resultar em um material menos resistente à corrosão devido à difusão de nitrogênio da austenita para a formação desses compostos. Devido ao processo de soldagem são produzidas três regiões distintas nas juntas: metal base (metal como recebido), zona termicamente afetada e zona fundida. O trabalho tem como objetivo caracterizar a microestrutura de aços inoxidáveis duplex após processos de soldagem MIG/MAG, onde foram utilizados diferentes misturas gasosas para proteção: Ar-CO₂-N₂ e Ar-O₂. As frações volumétricas (V_v) das três regiões presentes nas amostras foram obtidas por estereologia após procedimento metalográfico.

Palavras-chave: Microestrutura; Aço inoxidável duplex; Soldagem.

COMPARISON BETWEEN PROTECTION GAS IN MICROSTRUCTURE OF A DUPLEX STAINLESS STEEL SAF 2205 POST WELDING

Abstract

Duplex stainless steel are materials recognized due to its great mechanical and corrosion resistance properties. It results from the balance between its two phases: 50% austenite and 50% ferrite. However, when these materials are submitted to welding process it can to occur an unbalanced of phases beyond to cause precipitation of intermetallics phases (like sigma phase and chi phase) and intermetallics compounds. (as the emergence of chromium nitride) The appearance of these precipitates may result a less corrosion resistance on material due to nitrogen diffusion from austenite to formation of these compounds. Due to weld process are produced three distinct regions on joints: base metal (BM), heat affected zone (HAZ) and melting zone (MZ). This work aims to characterize a duplex stainless steel microstructure after MIG/MAG weld process, which different protection gases mixtures were used: Ar-CO₂-N₂ e Ar-O₂. The volumetric percentage of the three regions of the sample were obtained by stereology after metallographic procedure.

Key words: Microstructure; Duplex stainless steel; Welding.

¹ Contribuição Técnica ao 68^o Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte - MG, 30 de julho a 02 de agosto de 2013.

² Mestranda em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense; RJ, Brasil; thais.slgarcia@yahoo.com.br.

³ Prof. D. Sc., Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex, ou AID, são aços que possuem microestrutura bifásica, ou seja, apresentam em sua microestrutura as fases ferrita e austenita em quantidades balanceadas e dispostas de forma lamelar. A microestrutura bifásica desses aços é a responsável pelas excelentes características que esses aços apresentam frente aos aços unifásicos.⁽¹⁾ Estudos anteriores indicam que para a manutenção das qualidades dos aços duplex a proporção entre as fases estaria dentro de uma faixa de 40 a 45% para a ferrita e 55 a 60% para a austenita⁽²⁻⁴⁾ com uma variação de, no máximo, $\pm 5\%$. O desbalanceamento das fases pode alterar o comportamento das propriedades do aço.⁽⁵⁾

Aços inoxidáveis duplex quando sofrem processos de soldagem tem microestrutura e propriedades modificadas. Essas modificações são mais pronunciadas nas regiões da zona termicamente afetada (ZTA) e zona fundida (ZF) do que no metal base (MB).⁽⁶⁾ Devido ao processo de soldagem o balanceamento pode ser afetado, porém se a fração volumétrica de ferrita na microestrutura for de 30 a 70% as propriedades do aço duplex não são prejudicadas.⁽⁷⁾ É recomendado que para a soldagem de aços inoxidáveis duplex sejam respeitadas algumas condições: parâmetros de soldagem como a faixa de energia de soldagem e composição química do arame de solda (ou metal que será depositado sobre o metal base) e do gás de proteção. Caso o gás de proteção utilizado na soldagem de aços inoxidáveis duplex tenha nitrogênio em sua composição, o teor de nitrogênio deve ser de até 2%. Sua finalidade é auxiliar no balanço entre as fases do material bifásico e melhorar a resistência à corrosão de aços duplex devido o aumento da austenita no material. Teores de nitrogênio maiores que 5% nesses gases favorecem a produção de nitretos de cromo, indesejáveis para as propriedades mecânicas dos aços duplex.⁽³⁾ Kim et al.⁽⁸⁾ utilizaram misturas gasosas contendo diferentes quantidades de nitrogênio na soldagem de aço inoxidável duplex e foi feita análise do efeito das misturas gasosas sobre a frações volumétricas (V_V) de ferrita nas regiões de MB, ZTA e ZF. Foi verificado que com o uso do gás com maior teor de nitrogênio a V_V de ferrita foi menor, ou seja, a V_V de austenita foi aumentada, melhorando a resistência à corrosão do aço.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a microestrutura produzida em um aço inoxidável duplex após processo de soldagem MIG/MAG e quantificar a fração volumétrica (V_V) de ferrita no MB, ZTA e ZF variando o gás de proteção utilizado na soldagem das amostras. As V_V de ferrita foram analisadas através de metalografia quantitativa via microscopia ótica (MO).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado no trabalho foi um aço inoxidável duplex do tipo 2205. Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas do aço inoxidável duplex SAF 2205, utilizado como metal base e do metal de adição, que foi depositado sobre o metal base devido ao processo de soldagem.

Tabela 1. Composição química (metal base e metal de adição)

ELEMENTO (%peso)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
METAL BASE	0,023	1,85	0,32	0,03	0,001	22,05	5,3	2,9	0,03	0,166
METAL DE ADIÇÃO	0,01	1,6	0,6	0,01	0,01	23	9	3	-	0,1

A composição do metal de adição está de acordo com a literatura que exige que o metal de adição tenha um maior teor de níquel que o metal base, para que o balanceamento microestrutural da zona fundida seja mantido.⁽⁹⁾

São utilizadas seis amostras com espessuras de 10 mm que foram soldadas por um processo MIG/MAG, sendo que em 3 das amostras foi utilizada mistura gasosa de Ar-CO₂-N₂ e para as três demais, Ar-O₂. A energia de soldagem foi variada e os valores podem ser conferidos na Tabela 2.

Tabela 2. Condições de gás de proteção e energia de soldagem

AMOSTRA	GÁS DE PROTEÇÃO	ENERGIA DE SOLDAGEM (kJ/mm)
3	Ar-CO ₂ -N ₂	0,66
31	Ar-O ₂	0,66
4	Ar-CO ₂ -N ₂	1,23
41	Ar-O ₂	1,23
6	Ar-CO ₂ -N ₂	1,93
61	Ar-O ₂	1,93

2.1 Preparação Metalográfica

As amostras utilizadas foram preparadas metalograficamente utilizando lixas de carbetto de silício com granulometria de 200 até 1.200 mesh e polidas com pasta de diamante de 6 e 3 µm. Após polimento foi realizado ataque químico para revelar a microestrutura do material e, assim, produzir as micrografias utilizadas para a quantificação das fases. O reagente utilizado foi o Behara modificado: é feita uma solução de 1.000 mL de água destilada e 200 mL de ácido clorídrico; à esta solução é acrescentado 0,3 g de metabissulfito de potássio antes da imersão da amostra na solução. O tempo de imersão de cada amostra no reagente variou entre 8 a 15 s, sendo que as amostras foram retiradas da solução e secas com álcool etílico absoluto e jato de ar quente. Este ataque tem como função colorir as duas fases presentes na microestrutura diferente uma da outra. Outro objetivo da realização do ataque químico é para melhor visualização das áreas da amostra soldada (MB, ZTA e ZF), como demonstrada na Figura 1.

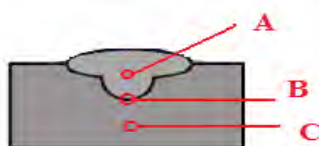


Figura 1. Demonstração das três regiões distintas das amostras após soldagem: (A - Zona fundida, B - ZTA, C - Metal base).⁽¹⁰⁾

2.2 Quantificação e Análise das Fases

Para análise da microestrutura foram obtidas 20 micrografias de cada uma das três regiões da amostra (MB, ZTA e ZF), num total de 60 micrografias por amostra. Para obtenção das micrografias foi utilizado microscópio ótico.

A quantificação da V_V de ferrita é realizada com o uso do software *ImageJ*⁽¹¹⁾ na qual seu uso está baseado em uma relação fundamental da estereologia,⁽¹²⁾ demonstrada na Equação 1.

$$V_V = A_A \quad (1)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2, 3 e 4 são ilustradas as micrografias da microestrutura das amostras analisadas. Devido ao ataque químico específico, a microestrutura apresenta-se bicolor onde a matriz ferrítica tem coloração escura enquanto a austenita tem coloração mais clara.

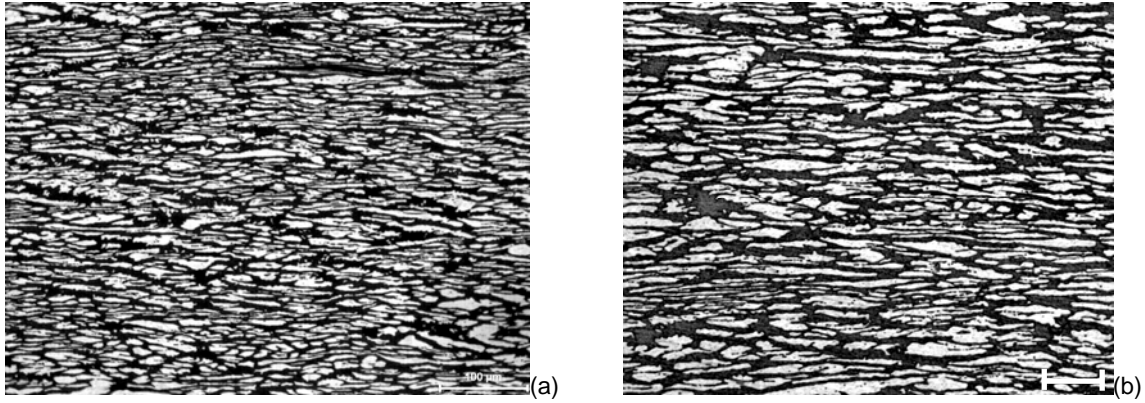


Figura 2. Micrografia do metal base: (a) Ar-CO₂-N₂; (b) Ar-O₂.

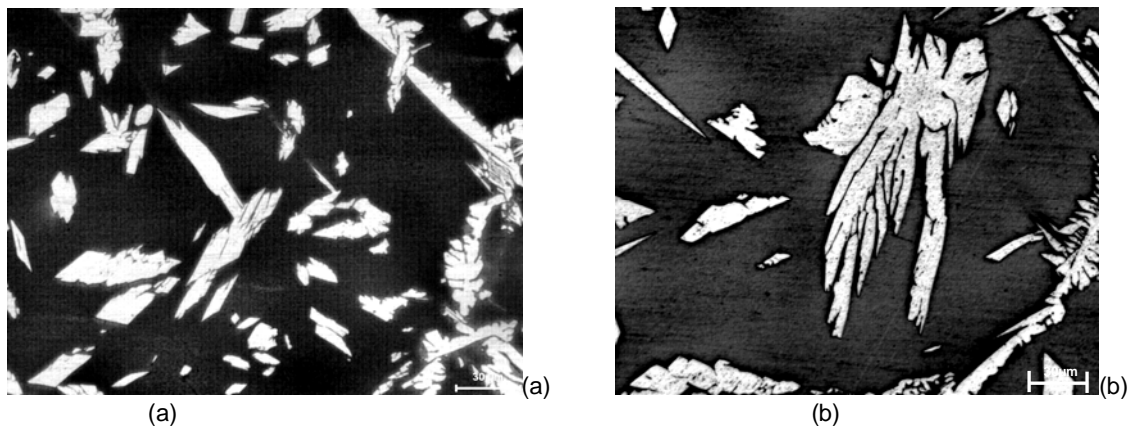


Figura 3. Micrografia da ZTA: (a) Ar-CO₂-N₂; (b) Ar-O₂.

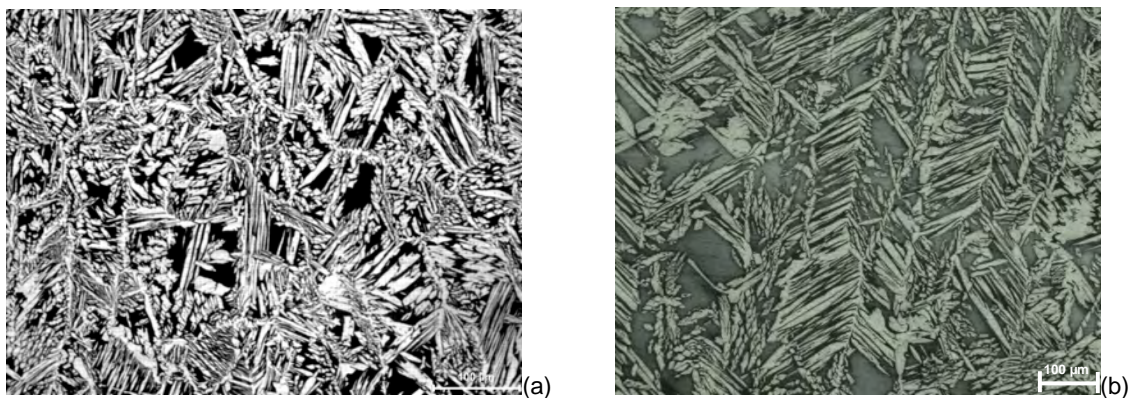


Figura 4. Micrografia da ZF: (a) Ar-CO₂-N₂; (b) Ar-O₂.

A morfologia da austenita nas três regiões são distintas: no metal base a austenita apresenta-se de forma lamelar e no sentido de laminação do aço. Na ZTA foram encontradas austenita de Widmanstätten (na forma de placas finas de austenita) e alotriomórfica. Na zona fundida há maior quantidade de austenita de Widmanstätten formadas a partir da austenita alotriomórfica. O uso de ambos os gases gerou

morfologia microestrutural semelhante, não havendo distinção de forma entre as microestruturas.

Pela análise via microscopia ótica não foram encontradas fases intermetálicas, como sigma ou nitreto de cromo, prejudiciais às características principais dos aços inoxidáveis duplex. O ataque químico apenas revelou as fases ferrita e austenita.

A relação entre o uso dos dois tipos de gases de proteção para cada região da amostra soldada é ilustrada separadamente em três gráficos (Figuras 5 e 6) distintos.

Para a ZTA, conforme Figura 5, o comportamento do material modificado devido a variação causada pela mudança de gás. A região da ZTA é caracterizada por apresentar os maiores valores de V_V de ferrita do material, que situam-se entre 75%. Tendo como fato a essa condição, o uso do gás Ar-CO₂-N₂ foi favorável a transformação de ferrita em austenita durante o processo de resfriamento, principalmente quando em maiores energias de soldagem. Portanto, há uma diminuição da V_V de ferrita para aços nessas condições.

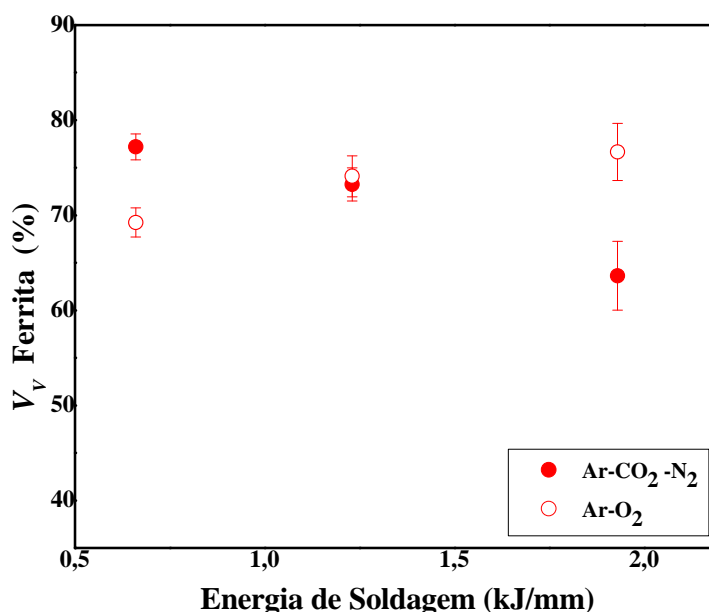


Figura 5. Comparação entre os gases de proteção na região da ZTA.

Para a região da ZF, o uso do gás de proteção Ar-CO₂-N₂ apresentou menores frações volumétricas de ferrita que com o uso do Ar-O₂ pelo fato do primeiro conter nitrogênio, elemento que estabiliza a fase austenita, e por isso há uma diminuição de ferrita na microestrutura do aço duplex. A austenita é mais resistente a corrosão por pites que a ferrita e, quando a austenita está em maior quantidade, o aço inoxidável duplex apresenta maior resistência à corrosão por pites do que aqueles aços inoxidáveis duplex que contêm mais ferrita.

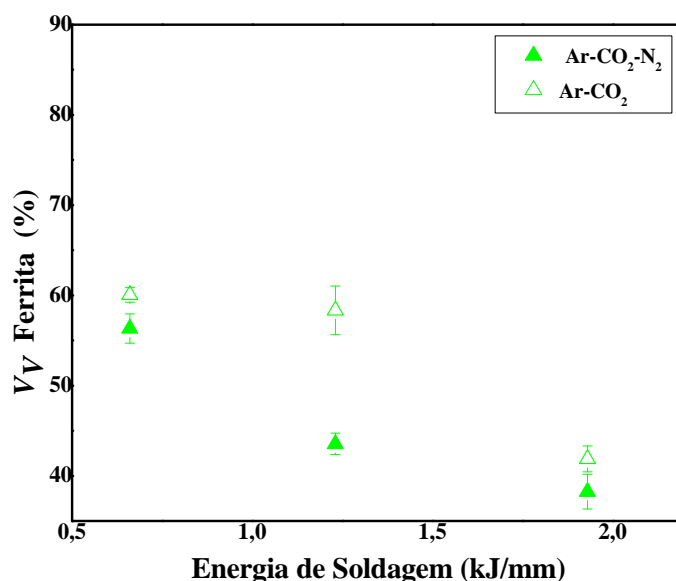


Figura 6. Comparação entre os gases de proteção na região da ZF.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o uso da energia de soldagem na faixa entre 0,6 e 2,0 kJ/mm com o uso das misturas gasosas de Ar-CO₂-N₂ e Ar-O₂ não apresentou modificações prejudiciais ao aço nas regiões de metal base (MB) e zona fundida (ZF), porém na ZTA há um maior desbalanceamento das fases e, portanto, essa região pode comprometer o comportamento do aço inoxidável duplex soldado. As microestruturas obtidas para o MB foram diferentes daquelas encontradas na ZTA e ZF do aço, onde no MB foram encontradas fase ferrita e austenita, sendo a última encontrada em apenas uma morfologia (na forma de lamelas e no sentido de laminação) enquanto na ZTA e ZF as morfologias de austenita encontradas foram alotriomórfica, de Widmanstätten e intragranular. Na ZTA a austenita se encontra mais afastada uma das outras quando comparado com a microestrutura da ZF.

O uso dos gases Ar-CO₂-N₂ e Ar-O₂ proporciona às regiões do aço inoxidável soldado valores de fração volumétrica de ferrita dentro dos limites pré-estabelecidos de 30 a 70% na microestrutura do material. Quando utilizado o gás Ar-CO₂-N₂ há uma maior tendência de formação de austenita, identificada pela espessura mais grosseira da austenita na região de ZF.

Agradecimento

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro concedido. À Universidade Federal Fluminense pela disponibilidade de equipamentos e laboratórios. (Equipamento utilizado para soldagem MIG/MAG da marca Merkle, modelo PU – 250K). À empresa Aperam (ArcelorMittal) por ceder as amostras utilizadas no estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. Aços e ligas especiais. **Edgard Blucher**, 2003.
- 2 MODENEZI, P. M., GIRÃO, I. F., MAGNABOSCO, R. Caracterização da tenacidade e resistência a corrosão por pite do aço inoxidável UNS 31803 (SAF2205) após soldagem. P. 213-218.

- 3 SANTOS, N. B. et al. Aços inoxidáveis duplex e superduplex: Aspectos de metalurgia física, soldagem e corrosão. **62º Congresso Anual da ABM**. p. 1088- 1097. 2007.
- 4 MAGNABOSCO, R., BRUNO, D. Efeito do envelhecimento a 475°C na microestrutura e corrosão por pite do aço inoxidável duplex UNS S 31803 (SAF 2205). **62º Congresso Anual da ABM**, p. 271-277, 2007.
- 5 NOBLE, D. L. Selection of wrought duplex stainless steel. In: **Welding, Brazing and Soldering**. ASM Handbook, ASM International, USA, v. 6, p.1205 - 1206, 1993.
- 6 LODOÑO, A. J. R. Estudo da precipitação de nitreto de cromo e fase sigma por simulação térmica da zona termicamente afetada pelo calor na soldagem multipasse de aços inoxidáveis duplex. 1997, 151p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 7 Use of Duplex Stainless Steel in the Oil Refining Industry, API Technical Report 938-C, **American Petroleum Institute**, First Edition, May 2005.
- 8 KIM, S. T., et al. Effects of solution heat-treatment and nitrogen in shielding gas on the resistance to pitting corrosion of hyper duplex stainless steel welds. **Corrosion Science**, v.53, p.1939-1947, 2011.
- 9 SANTOS, N. B., NUNES, F. C., MATOS, T.F., SALUSTIANO, A. Z., MOTA, R. O. Aços inoxidáveis duplex e superduplex: Aspectos de metalurgia física, soldagem e corrosão. **62º Congresso Anual da ABM**. p. 1088- 1097, 2007.
- 10 GUIMARÃES, B. H. D. Estudo da influência dos parâmetros de soldagem na microestrutura do aço inoxidável soldado pelo processo MIG/MAG. **Monografia** (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal Fluminense, EEIMVR, Rio de Janeiro, 2011.
- 11 RASBAND, W. S. ImageJ. U. S. **National Institutes of Health**, Bethesda, Maryland, USA. Disponível em <http://rsb.info.nih.gov/ij/> , 1997 - 2012.
- 12 RUSS, J. C., DEHOTT, R. T. Practical Stereology. **Kluwer Academic**.