

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DE PORCENTAGEM VOLUMÉTRICA DE FERRITA EM AÇO INOXIDÁVEL DÚPLEX UNS S31803 (SAF 2205)

Evelin Barbosa de Mélo – Engenheira Química, Dep. Eng. Mecânica, Centro Universitário da FEI
Daniella Caluscio dos Santos – Engenheira Química, Dep. Eng. Mecânica, Centro Universitário da FEI
Rodrigo Magnabosco – Professor Titular, Dep. Eng. Mecânica, Centro Universitário da FEI

Resumo

Os aços inoxidáveis dúplex são constituídos de quantidades aproximadamente iguais de ferrita (ferromagnética) e austenita, sendo que estes vêm substituindo os aços inoxidáveis austeníticos devido à sua alta resistência mecânica bem como elevada resistência à corrosão. Ressalta-se, porém, que variações nas porcentagens volumétricas destas fases podem levar a modificações das propriedades do material, justificando-se então o estudo proposto. Para as determinações foram utilizadas amostras obtidas a partir de chapa de 3mm de espessura após tratamento de solubilização. A quantificação de ferrita presente no material foi realizada em três seções: longitudinal, transversal, e plano de chapa. Os métodos utilizados para a determinação da porcentagem volumétrica de ferrita foram estereologia quantitativa realizada através de microscópio óptico e análise magnética utilizando-se ferritoscópio calibrado com auxílio de padrões. A partir dos dados experimentais obtidos verificou-se que a porcentagem volumétrica de ferrita determinada através de estereologia quantitativa é superior à determinada por análise magnética nas mesmas condições. Observou-se, contudo que aparentemente não há diferença nas porcentagens volumétricas de ferrita nas seções estudadas por nenhum dos dois métodos.

Palavras-chave

Aço inoxidável dúplex; fração volumétrica de ferrita; estereologia quantitativa; análise magnética.

Abstract

Duplex stainless steels present approximately the same quantities of ferrite (magnetic phase) and austenite. These steels are replacing austenitic stainless steels in some applications due to its high mechanical and corrosion resistance. However, changes in the volumetric percentage of these phases can modify material properties, justifying the development of this study. Samples from a solution-treated sheet of 3mm thickness were used for the determinations. Ferrite quantification was determined in three sections: longitudinal, transverse and sheet surface. The volumetric percentage of ferrite was determined using two methods: quantitative stereology, with an optical microscope and magnetic analysis using a ferritoscope. It was observed that the volumetric percentage determined through quantitative stereology is higher than that obtained from magnetic analysis. On the other hand, it seems that for the present material apparently there is no difference between the ferrite volumetric percentages in the three directions studied.

Keywords

Duplex stainless steel; ferrite volumetric percentage; quantitative stereology; magnetic analysis.

Introdução

Da necessidade de se obter um aço inoxidável que combine as qualidades de aços ferríticos e austeníticos, particularmente grande resistência à corrosão aliada a altas resistência mecânica e tenacidade, surgem os aços inoxidáveis dúplex, constituídos normalmente por frações volumétricas iguais de austenita e ferrita, através do correto balanço entre os principais elementos ferritizantes (Cr e Mo) e austenitizantes (Ni e C) (POTGIETER, 1991). Apresentam muito baixo teor de carbono, e desenvolvimentos recentes tornaram possível o aumento do teor de nitrogênio nestes aços, levando a aumentos consideráveis de resistência mecânica, tenacidade e resistência à corrosão (ECKENROD, 1984).

Dentre os aços inoxidáveis dúplex o aço UNS S31803, ou mais conhecido como SAF2205, é frequentemente utilizado em aplicações *offshore*, como evaporadores de água e tubos de circuitos hidráulicos (ERBING, 1993); na indústria de papel e celulose, como evaporadores e torres para estocagem de pasta de papel (NORDSTRÖM, 1995); e tanques para transporte marítimo de produtos químicos corrosivos, de até 800 toneladas (LEFFLER, 1990).

Sabe-se, porém que modificações nas quantidades das fases presentes no material em estudo podem alterar as propriedades do mesmo principalmente com relação à resistência mecânica e à corrosão.

Dois diferentes métodos tem sido utilizados para a determinação da fração de ferrita presente: medidas magnéticas utilizando-se ferritoscópio e estereologia quantitativa por microscopia óptica após ataque metalográfico seletivo de Behara modificado, que permite a identificação de ferrita como uma fase escura, mantendo a austenita praticamente sem ataque (MAGNABOSCO, 2005).

Deste modo, o presente trabalho procura comparar duas formas distintas de quantificação da porcentagem volumétrica de ferrita em um aço inoxidável dúplex UNS S31803, estereologia quantitativa e análise magnética, através de análise de amostras solubilizadas do material de interesse.

Materiais e Métodos

O aço UNS S31803 em estudo foi adquirido sob a forma de chapa de 3 mm de espessura, cuja composição química segue apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 1. Composição química do aço UNS S31803 em estudo.

Elemento	%
Cr	22,5
Ni	5,74
Mo	3,20
Si	0,35
Mn	1,42
C	0,018
N	0,162

Para a quantificação da porcentagem volumétrica de ferrita foram confeccionadas amostras onde as superfícies de observação e medição correspondem às secções longitudinal, transversal e de plano de chapa. Para tal, o material foi solubilizado por 30 minutos a 1175°C em atmosfera de nitrogênio, seguido de resfriamento em água. Inicialmente as amostras tiveram acabamento conferido com lixa de granulometria 80 mesh para remoção total do óxido formado, evitando a interferência de possíveis resíduos de óxido ferromagnético nas medidas magnéticas.

Em seguida as amostras foram embutidas em resina termofixa de cura a quente (baquelite), gerando corpos de prova metalográficos nas três secções já descritas. Os corpos-de-prova metalográficos sofreram então lixamento até 500 mesh e em seguida foram polidos utilizando pasta de diamante de granulação 6 µm, 3 µm e 1 µm.

Para a revelação da microestrutura foi utilizado o reativo de Behara modificado, cuja composição é 20 mL de ácido clorídrico, 80 mL de água destilada e deionizada e 1 g de metabissulfato de potássio; a esta solução de estoque, são adicionados 2 g de bifluoreto de amônio, e o ataque pode então ser conduzido durante até dois minutos de imersão. O ataque foi interrompido com água, e a superfície de observação seca através da evaporação de álcool etílico absoluto, auxiliada por jato de ar quente.

As análises de estereologia quantitativa foram conduzidas com auxílio do software *Metallurgy*, parte integrante do sistema acoplado ao microscópio LEICA DMLM (mostrado na Figura 1). Foram analisados 30 campos por amostra, com objetiva de 20x de aumento, correspondendo a uma área analisada de 1,89 mm² por amostra.



Figura 1. Microscópio óptico LEICA DMLM.

Para a análise magnética foram realizadas 20 medidas em cada amostra com o auxílio de um ferritoscópio FISCHER modelo MP30 (mostrado na Figura 2), calibrado com o auxílio de padrões, tendo como limite de detecção 0,1% de ferrita.



Figura 2. Ferritoscópio FISCHER modelo MP30.

Resultados

Nas Figura 3,

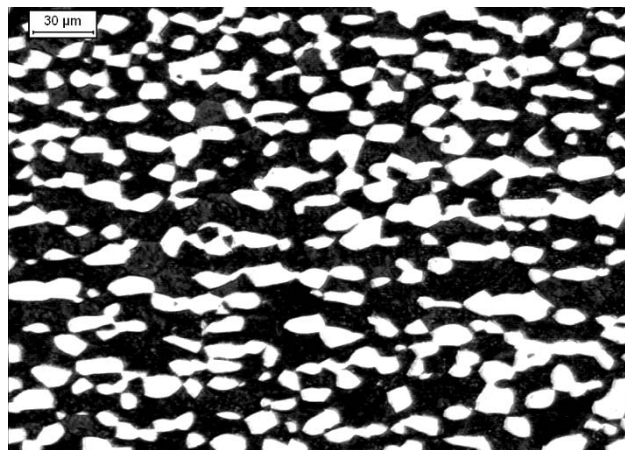


Figura 4 e Figura 5 observam-se as diferentes distribuições das fases ferrita (escura) e austenita (branca) nas três direções de interesse, longitudinal, transversal e plano de chapa, do material em estudo após tratamento de solubilização seguido de ataque metalográfico com reativo de Behara modificado. O aumento utilizado nas análises de estereologia quantitativa gerou campos com área equivalente à do campo mostrado na

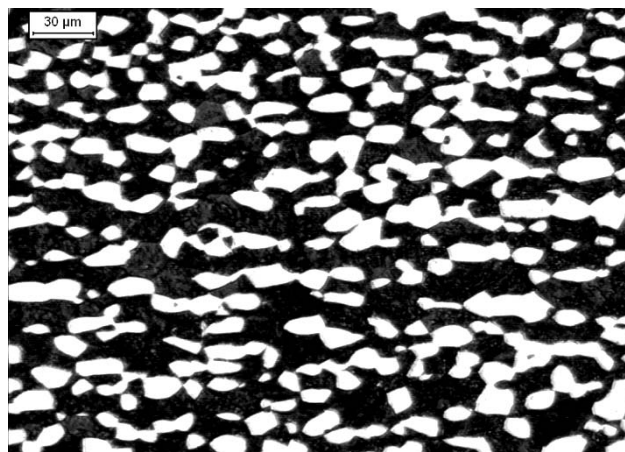


Figura 4

Na Tabela 2, podem ser observados os dados de porcentagem volumétrica de ferrita obtidos através de estereologia quantitativa. Já na Tabela 3, podem-se observar os dados de porcentagem volumétrica de ferrita obtidos através de análise magnética realizada com auxílio de ferritoscópio.

Tabela 2. Porcentagem volumétrica de ferrita obtida através de estereologia quantitativa com auxílio de microscópio óptico.

Secção	% Vol. de Ferrita	Desvio Padrão
Longitudinal	62,8	3,27
Transversal	66,4	1,87
Plano	63,2	7,04

Tabela 3. Porcentagem volumétrica de ferrita obtida através de análise magnética com auxílio de Ferritoscópio.

Secção	% Vol. de Ferrita	Desvio Padrão
Longitudinal	54,5	3,26
Transversal	54,9	4,42
Plano	56,4	2,12



Figura 3. Microscopia óptica da secção longitudinal de uma amostra solubilizada do material após ataque metalográfico com reativo de Behara modificado, mostrando ferrita (escura) e austenita (branca).

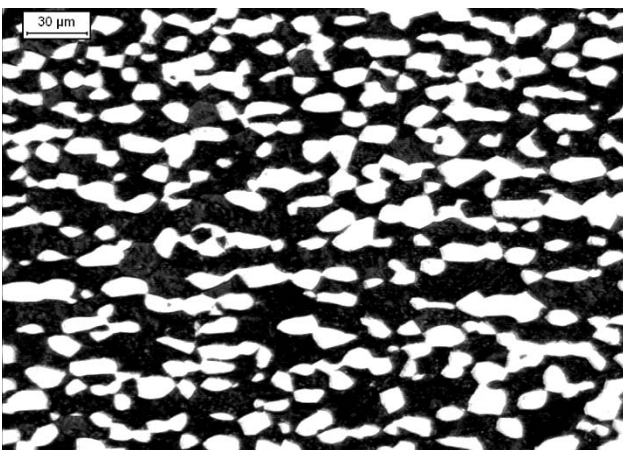


Figura 4. Microscopia óptica da secção transversal de uma amostra solubilizada do material após ataque metalográfico com reativo de Behara modificado, mostrando ferrita (escura) e austenita (branca).

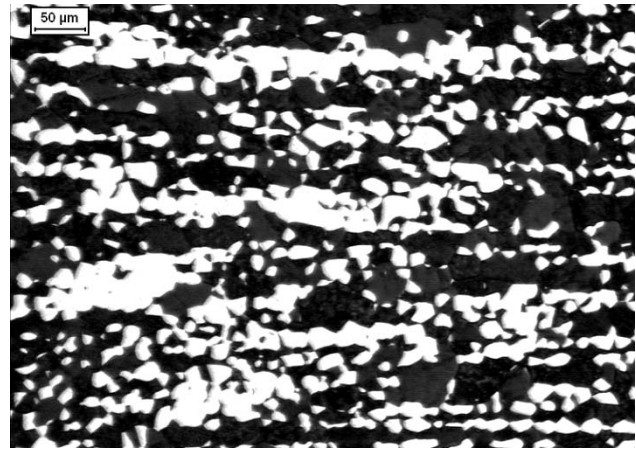


Figura 5. Microscopia óptica do plano de chapa de uma amostra solubilizada do material após ataque metalográfico com reativo de Behara modificado, mostrando ferrita (escura) e austenita (branca).

Discussão

A Figura 6 mostra a comparação dos métodos de determinação da porcentagem volumétrica de ferrita para cada uma das seções estudadas do material.

Para as medidas realizadas tanto por estereologia quantitativa como por ferritoscópio pode-se observar que, considerando-se os desvios-padrão das medições, praticamente não há diferença na porcentagem volumétrica de ferrita se as três seções de estudo forem comparadas para cada método, indicando que nas condições microestruturais desta amostra não há influência significativa da secção de análise na determinação do conteúdo de ferrita da amostra. Entretanto, se os métodos de determinação forem comparados observam-se diferenças nas porcentagens volumétricas de ferrita encontradas, sendo que os valores obtidos por ferritoscópio (análise magnética) são sempre inferiores àqueles determinados via estereologia quantitativa. Considerando-se os valores médios obtidos pelos dois métodos, nota-se que os valores obtidos por estereologia são 17% superiores aos encontrados por ferritoscópio na secção longitudinal, 20% superiores na secção transversal e 13% superiores no plano da chapa. Deste modo, faz-se necessária investigação mais aprofundada sobre os métodos de determinação da fração de ferrita em aços dúplex, comparando-se estes resultados a de outros métodos de quantificação, como a saturação magnética ou medidas por difração de raios-X.

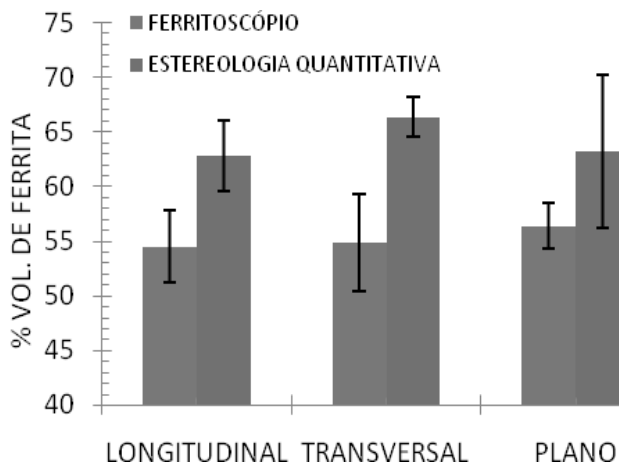


Figura 6. Comparação entre os métodos de determinação da porcentagem volumétrica de ferrita: estereologia quantitativa e ferritoscópico (análise magnética).

Conclusão

Do presente trabalho pode-se concluir que para o material estudado não há diferença entre as porcentagens volumétricas de ferrita determinadas nas direções longitudinal, transversal e plano de chapa num mesmo método de medição.

Observou-se que a porcentagem volumétrica de ferrita determinada através de estereologia quantitativa sempre apresenta valores superiores aos determinados através de ferritoscópico (análise magnética), indicando a necessidade de se aprofundar as técnicas de quantificação desta fase nos aços dúplex.

Referências Bibliográficas

ECKENROD, J. J.; PINNOW, K. E. Effects of chemical composition and thermal history on the properties of alloy 2205 duplex stainless steel. *In: New developments in stainless steel technology*, Detroit, p.77-87, 1984.

ERBING, M. L.; GROTH, H. L. Duplex-un'alternativa all'acciaio inossidabile 316 per il risparmio di peso in applicazioni offshore. *L'acciaio inossidabile*, n. 2, p. 10-3, 1993.

LEFFLER, B. Alloy 2205 for marine chemical tankers. *Materials performance*, p. 60-3, abr. 1990.

MAGNABOSCO, R. ; ALONSO-FALLEIROS, N. Pit Morphology and its Relation to Microstructure of 850°C Aged Duplex Stainless Steel. *Corrosion Science Section*, v. 61, n.2, p. 130-136, 2005.

NORDSTRÖM, J.; RUNG, B. Bollitori e torri di stoccaggio di pasta per carta in acciai inossidabili duplex consentono risparmio di peso e di costi. *L'acciaio inossidabile*, v. 2, p. 7-12, 1995.

POTGIETER, J. H.; CORTIE, M. B. Determination of the microstructure and alloy element distribution in experimental duplex stainless steels. *Materials characterization*, v. 26, p. 155-65, 1991.

- ✓ Evelin Barbosa de Mélo – evy.barbosa@gmail.com
- ✓ Daniella Caluscio dos Santos – daniellacaluscio@gmail.com
- ✓ Rodrigo Magnabosco – Av. Humberto A. Castelo Branco, 3972 - sala K5-09 – São Bernardo do Campo - SP - BRASIL - 09850-901 - tel# +55 11 4353 2900 ext. 2173 - fax# +55 11 4109 5994 - rodrmag@fei.edu.br.