

## MICROESTRUTURA DOS AÇOS AUSTENO-FERRÍTICOS CONTENDO NIÓBIO, POR MICROSCÓPIO DE FORÇA ATÔMICA

C.A.D. Rodrigues; P. L. D. Lorenzo e J. M. D. A. Rollo.

Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica, Automobilística  
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC).  
Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.  
e-mail: [cesaraug@sc.usp.br](mailto:cesaraug@sc.usp.br)

### Resumo

*O aço inoxidável Duplex fundido, contendo nominalmente (% em peso) 26%Cr, 6%Ni, 3%Cu, 0,2%N, com teores de Nb de 0%, 0,2%, 0,5 e 1,5%, após tratamentos térmicos de solubilização em temperaturas entre 1000-1150°C, foram caracterizados por microscópio de força atômica. O aço com 0%Nb apresenta as fases austenita e ferrita na sua microestrutura, no entanto, os aços microligados com Nb, mostram as fases a austenita, ferrita e precipitados de fases Laves do tipo Cr<sub>2</sub>Nb, que são fases prejudiciais, por diminuir os valores de resistência ao impacto.*

*Palavras-chave: aços austeno-ferríticos, fase Laves, Nióbio e microscópio de força atômica.*

## 1. Introdução

Os aços inox austeno-ferríticos possuem duas fases distintas e bem definidas: austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ). As propriedades, mas importantes destes aços são a elevada resistência mecânica, a boa resistência à corrosão, a boa soldabilidade e usinabilidade. Estas propriedades são resultantes da correlação entre a microestrutura e propriedades de cada fase presente [1]. As propriedades mecânicas são determinadas predominantemente pela relação austenita/ferrita e pela precipitação de compostos intermetálicos durante o processamento, associados aos elementos como Nb, Cr, Mo, Si, W e Cu, que reduz drasticamente os valores da ductibilidade e a resistência ao impacto [2,3].

Na produção industrial dos aços inoxidáveis austeno-ferríticos é economicamente desejável o aproveitamento de sucatas e retorno de ligas com altos teores de Ni, Mo e Cr. Porém, elementos contaminantes podem estar presentes nestes materiais, como é o caso do Nb, devido a muitos aços inoxidáveis de alto Cr e Ni, conterem Nb na sua composição [4,5]. Dentre os intermetálicos, as fases Laves destaca-se como uma fase que produz acentuada fragilidade aos aços, principalmente quando certos elementos de liga indesejáveis estão presentes, como é o caso do nióbio, que catalisa sua formação.

Este trabalho apresenta os resultados da caracterização microestrutural pela técnica de microscopia de força atômica, do aço do tipo Duplex contendo nominalmente (% em peso) 26%Cr, 6%Ni, 3%Cu, 0,2%N, e adicionados teores de Nb de 0%, 0,2%, 0,5 e 1,5%, após tratamento de solubilização.

## 2. Materiais e Métodos

O aço austeno-ferrítico sobre norma Din 1.4517 (GX 3 Cr Ni Mo Cu N 26 6 3 3), com faixa de composição nominal é apresentada na Tabela 1. Foram preparadas amostras com adições de 0%, 0,2%, 0,5% e 1,5%Nb. O material foi produzido em forno de indução com desgaseificação a vácuo. Os tratamentos de solubilização foram realizados na faixa de temperaturas de 1000-1150°C, mantido nesta temperatura por 30 minutos, seguido por resfriamento em água.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável Duplex sob norma DIN W Nr1.4517 fundido. (em %-peso).

% em peso	Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	Mn	Si	C	N	P	S
Norma DIN	bal	24,5	5,0	2,5	2,75	<2,0	<1,0	<0,03	0,12	<0,03	<0,02
		26,5	7,0	3,5	3,50				0,25		
Cr <sub>equivalente</sub>	Ni <sub>equivalente</sub>	n <sup>o</sup> PRE									
27,0	8,30	34,7									
31,5	14,47	42,0									

Para revelar a morfologia das fases presentes utilizou-se ataque químico por imersão entre 10-60s, em reagente Behara (25 ml HCl, 3g de bifluoreto de amônia, 125 ml de água, 0,1 a 0,4 g de metabissulfito de potássio).

As observações metalográficas de interesse foram feitas por microscopia óptica acoplado a análise de imagem (Leica-Leitz DMRX, MOTIC images advanced 3.2) e microscópio de força atômica (MFA-Topometrix Explorer TMX 1010). A análise química das fases presentes foi avaliada utilizando um EX-QX 2000 - X Ray microanalysis system.

### 3. Resultados e Discussão.

A composição química da amostra sem Nb, com os valores calculados do Cr e Ni equivalente e PRE (pitting resistance equivalent number) [6,7], são apresentados na Tabela 2. A Figura 1 mostra a microestrutura obtida por microscópio óptico, composta da fase escura correspondente a matriz ferrítica e a fase branca da austenita. Por análise da imagem, determinou-se relação austenita/ferrita, resultando em 49,5/50,5. A Figura 2 (a) mostra a imagem obtida por MFA da mesma amostra mostrando a fases austenita/ferrita. As amostras com adição de nióbio apresentaram precipitados, identificados por análise química como sendo um composto com 55%Nb; 28% Cr; 7,5% Fe e 7% Mo, ou seja, um composto com estequiometria A<sub>2</sub>B, predominando a fórmula Cr<sub>2</sub>Nb, onde parte do Cr é repostado por Fe e Mo.

Tabela 2. Composição química do aço Duplex sem adição de Nb e os valores Cr e Ni equivalente e número do PRE [6, 7]. (em %-peso).

Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	Mn	Si	P	S	N	C	Nb
58,87	25,98	6,44	3,22	2,99	1,47	0,084	0,026	0,014	0,219	0,014	0,0019
Cr <sub>equiv</sub>	Ni <sub>equiv.</sub>	n <sup>o</sup> PRE									
30,46	12,80	41,11									

Este precipitado tem formato plano, na superfície analisada e se apresentam no formato de agulhas conforme as Figuras (2b, 2c e 2d), distribuídos aleatoriamente na matriz. A medida que eleva as concentrações de Nb, identifica-se o surgimento de precipitados ricos em Nb de formato granular, conforme as Figuras 2c e 2d. Outro fator importante é a relação austenita/ferrita diminui quando se aumenta o teor de Nb, por exemplo, na amostra com 0,5% de Nb a relação é de 45,7/54,3, e aumenta a quantidade de fase Laves.



Figura 1. (a), Microestrutura austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ) do aço Duplex sem Nb. Ataque químico: Behara.

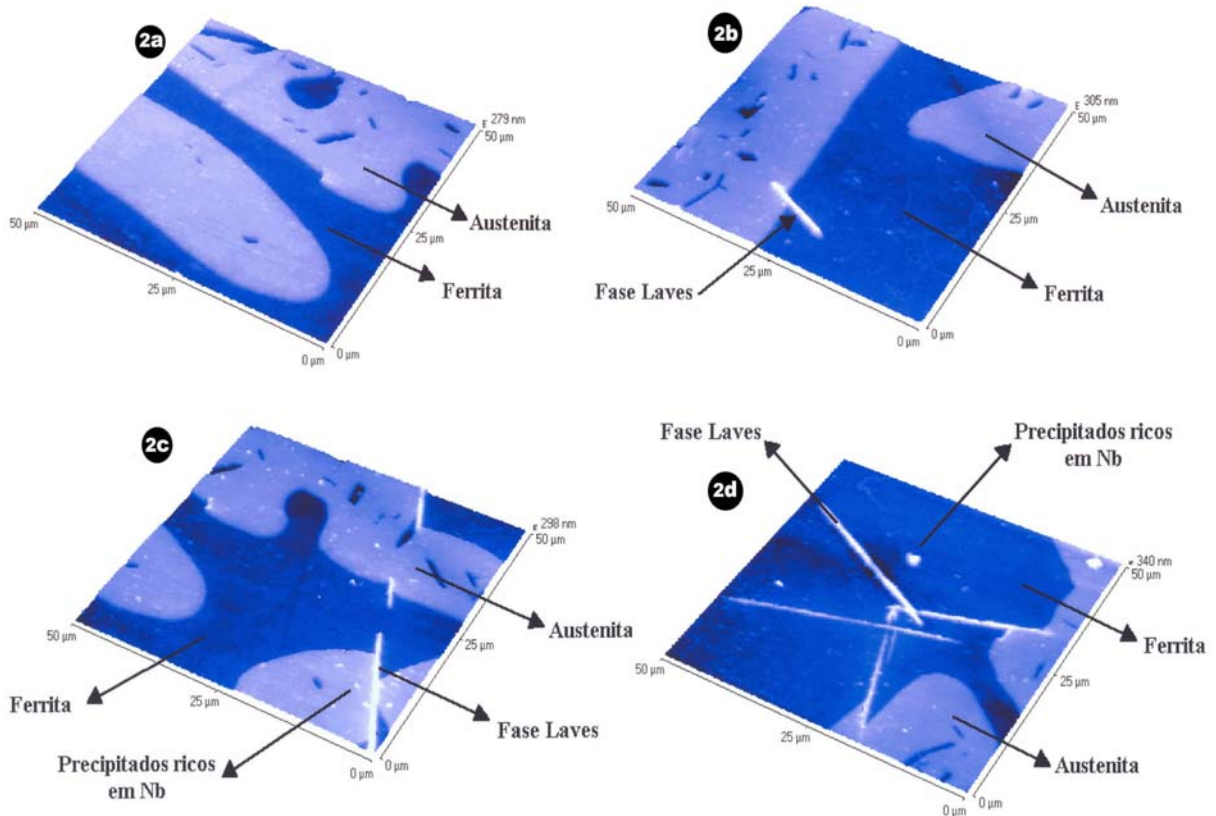


Figura 2. (a) MAF microestrutura de austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ), sem Nb. (b, c e d), microestrutura composta de austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ), fases Laves e precipitados rico em Nb, nas amostras com 0,2, 0,5 e 1,5%Nb.

#### 4. Conclusões.

A análise das imagens topográficas dos aços inoxidáveis duplex permitiram as seguintes conclusões:

- O aço sem Nb apresenta a fase austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ), após tratamento de solubilização (1120°C/30 min/ água).
- O aço contendo Nb apresenta a fase Laves de composição básica  $Cr_2Nb$ .
- Com adição do teor de Nb, aumenta-se a quantidade de fase Laves, forma precipitados ricos em Nb e altera sensivelmente a relação austenita/ferrita, evidenciando o efeito ferritizante do Nb.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.

## 5. Referências Bibliográficas.

- [1]- H.W. Schlapfer and J. Weber. Sulzer Pump Division Tech. Review, Winterthur, Sulzer Brothers Limited, (1986).
- [2]- P. Guha and C. A. Clark. Duplex Stainless Steel Conference, ASM, EUA. p. 355-356. (1983).
- [3]- Y. Maehara; J. Ohmori; J. Murayama; N. Fujino and T. Kunitake. Metal. Sci. p. 541-547. (1983)
- [4]- D. Christianus. Duplex Stainless Steel. p.1353-1361, (1991)
- [5]- S. R. Kewon and F. B. Pickering. Niobium Internacional Symposium, USA, Proceedings. Warrendale, The Metallurgical Society of AIME. p.1133-1141,(1982).
- [6]- S. Birks and S. Roberts. Stainless Steel Europe. p. 47-49, (1992).
- [7]- J. Li; T. Wu and Y. Riquier. Mat Science and Engineering- A174. p. 149-156. (1994).

### **MICROSTRUCTURE OF AN AUSTENITIC-FERRITIC STAINLESS STEEL WITH NIOBIUM ADDITIONS USING ATOMIC FORCE MICROSCOPY**

#### *Abstract*

*An AFM (atomic force microscope) was used to study the microstructural morphology after solution treatment of a duplex stainless steel containing (%weight) 26Cr-6Ni-3Mo-3Cu-0,2N with additions of 0%, 0,2%, 0,5% and 1,5% Nb. Material 0%Nb showed ferrite and austenite in microstructure. Material alloyed with Nb showed ferrite, austenite and a precipitate identified as Laves phase ( $Cr_2Nb$ ). The ferrite content as well as Laves phase increase as the Nb increases. Which are very detrimental to the impact proprieties.*

*Keywords: duplex stainless steels, niobium, Laves phase and heat treatment.*