

# MICROESTRUTURA, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E TENACIDADE DE UMA SOLDA MULTIPASSE DE AÇO INOXIDÁVEL UNS S32750<sup>1</sup>

Sérgio Souto Maior Tavares<sup>2</sup>  
Leandro Dias Lima<sup>3</sup>  
Juan Manuel Parda<sup>4</sup>  
José Adailson de Souza<sup>5</sup>  
Ivan Napoleão Bastos<sup>6</sup>

## Resumo

No presente trabalho a tenacidade, a microestrutura e a composição química de uma junta soldada multipasse de aço inoxidável superduplex UNS S32750 foram investigadas. As características do passe de raiz e dos passes de enchimento foram comparadas. O passe de raiz foi executado pelo processo TIG utilizando eletrodos de baixo níquel e gás de proteção e de purga isentos de nitrogênio (argônio puro). Em consequência, a microestrutura do passe de raiz apresentou apenas 34% de austenita disposta na forma de pequenas partículas dispersas na matriz ferrítica. Os passes de enchimento foram realizados com eletrodo revestido e apresentaram 46,7% de austenita na forma de partículas mais grosseiras e morfologia de Widmanstätten. A análise da composição química do material retirado da raiz e dos passes de enchimento revelou teores muito elevados de carbono, enxofre e oxigênio nos passes de enchimento, o que explica as diferenças nos valores de tenacidade obtidos nessas duas regiões.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis superduplex; Soldagem.

## MICROSTRUCTURE, CHEMICAL COMPOSITION AND TOUGHNESS OF A MULTIPASS WELD JOINT OF STAINLESS STEEL S327509

### Abstract

In the present work the toughness, microstructure and chemical composition of a multipass weld joint of superduplex stainless steel UNS S32750 were investigated. Root and bead passes were compared. The root pass was made by GTAW using low nickel electrodes and pre argon as gas protection. As consequence, the microstructure of the root pass presented only 34% of austenite as small particles dispersed into the ferrite matrix. The bead passes were made by SMAW process and presented 46,7% of austenite as gross particles with Widmanstätten morphology. The chemical composition analysis of the root and bead passes revealed high carbon, sulfur and oxygen values in the bead passes, which explains the differences of toughness between these two regions.

**Key words:** Superduplex stainless steels; Welding.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense – UFF.

<sup>3</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica (PGMEC) da Universidade Federal Fluminense – UFF.

<sup>4</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PGMEC) da Universidade Federal Fluminense – UFF.

<sup>5</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PGMEC) da Universidade Federal Fluminense – UFF.

<sup>6</sup> Professor Adjunto do Instituto Politécnico da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (IPRJ-UERJ).

## INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex e superduplex são materiais metálicos que conseguem aliar alta resistência mecânica, elevada tenacidade e boa resistência à corrosão por pites, sendo por isso largamente aplicado nos setores químico, petroquímico e nuclear. No setor petroquímico, em especial, os aços superduplex têm sido utilizados em equipamentos on e off-shore em contacto com H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> e íons Cl<sup>-</sup>.

As boas propriedades dos aços inoxidáveis duplex e superduplex se devem aos elementos de liga (Cr, Mo, N,...) e à microestrutura bifásica austeno-ferrítica de grãos extremamente finos. O melhor desempenho do material ocorre quando a porcentagem das fases austenita e ferrita se situa entre 40 e 60%, sendo considerada ideal a proporção de 1:1.<sup>(1)</sup> Na soldagem, a obtenção de tal proporção depende fundamentalmente da velocidade de resfriamento e, conseqüentemente, do controle do aporte de calor (H). Segundo Hsieh,<sup>(2)</sup> teores de austenita inferiores a 25% são proibitivos para muitas aplicações. A composição química do metal de solda, ditada pelas composições do consumível e do metal de base, bem como pela diluição do processo, é outro fator de fundamental importância para as propriedades mecânicas e de resistência à corrosão dos aços inox duplex e superduplex soldados.

Neste trabalho experimental analisamos a microestrutura e a tenacidade de uma junta soldada multipasse de uma tubulação de aço inoxidável superduplex UNS S32750 com passe de raiz realizado pelo processo TIG e passes de enchimento com eletrodo revestido.

## MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Uma tubulação de 9,00 mm de espessura de aço inoxidável superduplex UNS S32750 foi soldada com passe de raiz pelo processo TIG e passes de enchimento por eletrodo revestido. No caso do passe de raiz utilizou-se argônio de alta pureza como gás de proteção e de purga e eletrodos de 3,2 mm de diâmetro. Os parâmetros de soldagem foram controlados de modo a se ter um aporte de calor na faixa de 1,5 a 2,0 kJ/mm. Os passes de enchimento foram realizados com eletrodos revestidos de mesmo diâmetro (3,2 mm) e aporte de calor na faixa de 1,2 a 1,7 kJ/mm (passes frios). A Tabela 1 mostra as composições químicas dos materiais utilizados, como constam nos certificados de qualidade dos fornecedores. Pode se observar diferenças importantes entre o metal de base, o eletrodo TIG e o eletrodo revestido.

**Tabela 1.** Composição química do metal de base e metais de adição utilizados.

Material	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%N	%Mn	%S	%P	%Si	%Cu
Metal base	0,02	24,6	6,68	3,8	0,26	0,83	0,001	0,026	0,34	0,25
Arame TIG	0,02	25,1	5,1	3,7	0,22	0,70	0,001	0,02	0,20	1,8
Eletrodo rev.	0,036	25,3	7,09	3,3	0,18	0,65	0,005	0,022	0,81	1,96

Corpos de prova Charpy de espessura reduzida (2,5mm) foram usinados de acordo com a norma ASTM E-23,<sup>(3)</sup> com entalhes posicionados na raiz e no enchimento (Figura 1). Os ensaios de impacto foram realizados na temperatura ambiente e a -40°C. As composições químicas do passe de raiz e dos passes de

enchimento foram determinadas por métodos analíticos com limalha cuidadosamente retirada dessas duas regiões.

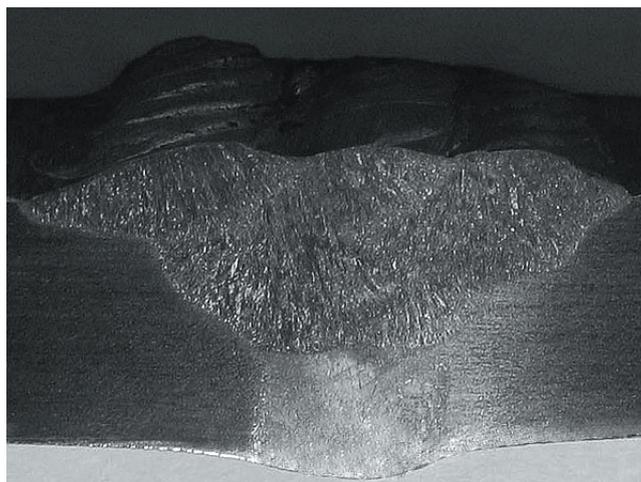


**Figura 1.** Esquema para retirada dos corpos de prova Charpy com 2,5 mm de espessura da raiz e do enchimento.

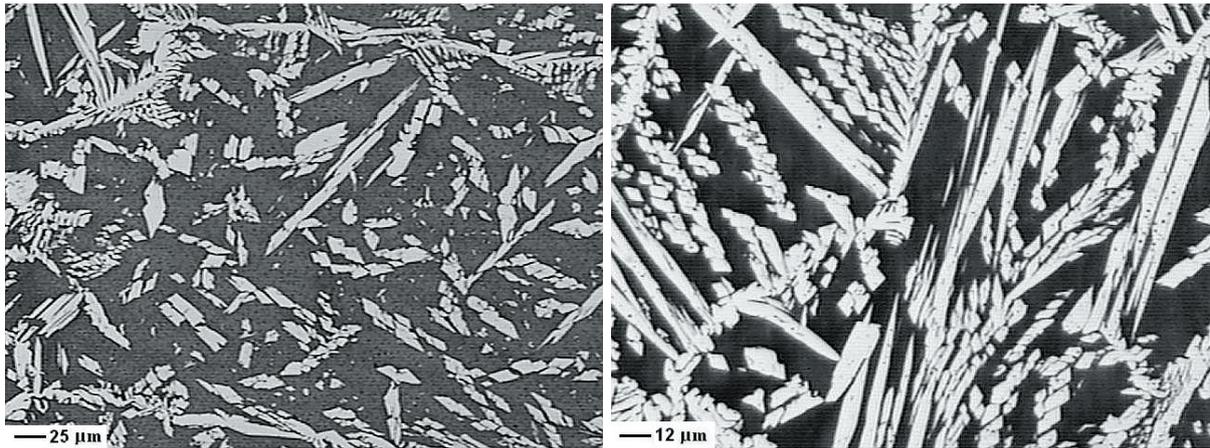
A microestrutura das amostras preparadas e atacadas com reagente de Behara (solução aquosa de 20% HCl e 0,3g de metabissulfito de potássio) foi avaliada por microscopia ótica. As superfícies de fratura foram avaliadas em microscópio eletrônico de varredura.

## RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a macrografia da junta soldada, onde se distinguem o passe de raiz e os passes de enchimento. As Figuras 3(a) e 3(b) são micrografias representativas da raiz e do enchimento respectivamente. A porcentagem de austenita foi determinada por metalografia quantitativa<sup>(4)</sup> obtendo-se os valores de  $(34,2 \pm 2,2)\%$  na raiz e  $(46,7 \pm 2,6)\%$  nos passes de enchimento.



**Figura 2.** Macrografia da junta soldada.



**Figura 3.** Microestruturas típicas do passe de raiz (a) e dos passes de enchimento (b).

A Tabela 2 mostra a média dos valores de dureza Vickers obtidos no passe de raiz, nos passes de enchimento e no metal de base. Observa-se que o metal de solda, especialmente o passe de raiz, possui dureza mais elevada que o metal de base e próximo do limite de 350 HV imposto pela norma Norsok para soldagem e inspeção de tubos<sup>(5)</sup> para este tipo de material.

**Tabela 2.** Valores médios de dureza no metal de solda e metal de base.

Metal base	Raiz	Enchimento
293 HV	326 HV	337 HV

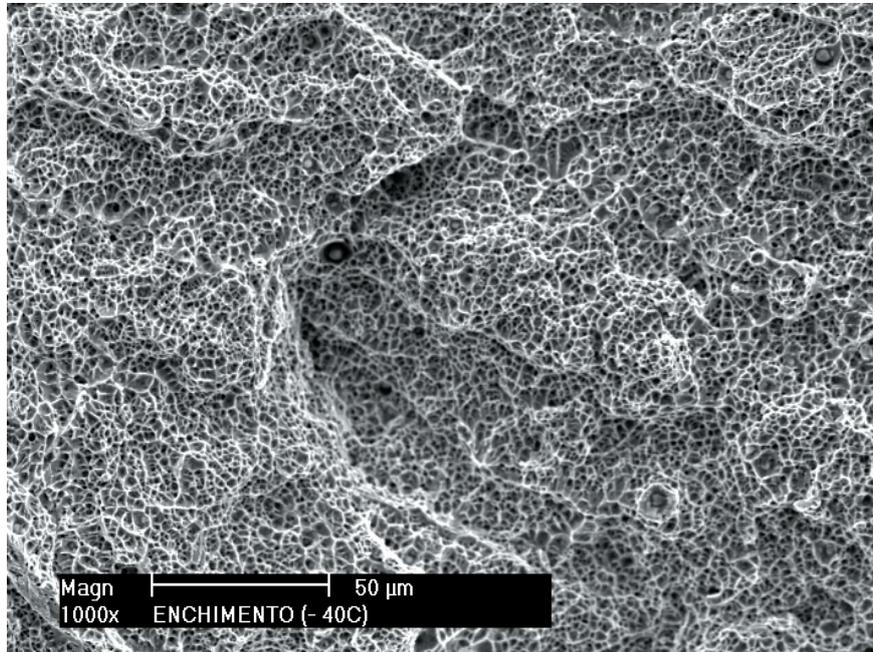
A Tabela III mostra os resultados de tenacidade ao impacto. Observa-se que, apesar de apresentar maior teor de austenita, os resultados de tenacidade dos passes de enchimento mostraram-se muito baixos tanto na temperatura ambiente (10J) como a  $-40^{\circ}\text{C}$  (8J). A microestrutura do passe de raiz é constituída de partículas finas de austenita em matriz ferrítica, porém o percentual de austenita (34,2%) está abaixo do desejado e muito próximo do limite inferior de 30% permitido para este aço.<sup>(5)</sup> Mesmo assim, a tenacidade do passe de raiz na temperatura ambiente (57J) foi superior à do metal de base (48J). Com o decréscimo da temperatura de ensaio a tenacidade do passe de raiz cai consideravelmente (22J), o que se explica pelo alto teor de ferrita e ao fato desta fase apresentar transição dúctil frágil. O valor de tenacidade da raiz obtido a  $-40^{\circ}\text{C}$  ainda assim foi muito superior ao do enchimento da solda, apesar do alto teor de austenita com morfologia Widmanstätten observados nesta região.

**Tabela 3.** Resultados de energia absorvida no ensaio Charpy.

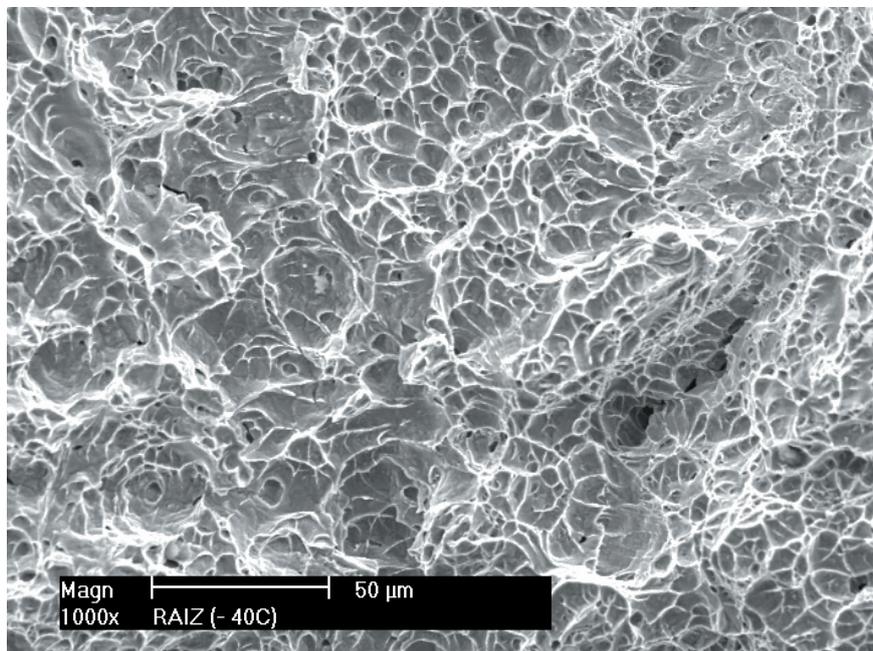
Amostra	$T_{\text{amb.}} (25^{\circ}\text{C})$	$-40^{\circ}\text{C}$
Metal base 1	48 J	43 J
Passe de raiz 1	57 J	22 J
Enchimento I	10 J	8 J

As Figuras 4 e 5 apresentam as superfícies de fratura dos corpos de prova Charpy do enchimento e da raiz, respectivamente, ensaiados a  $-40^{\circ}\text{C}$ . As duas fraturas apresentam microvazios (“dimples”) característicos de fraturas dúcteis.

Entretanto, a comparação dos tamanhos dos “dimples” dos corpos de prova da raiz e do enchimento revela que na raiz eles são bem maiores. Tal fato encontra explicação no trabalho de Hilders e Santana,<sup>(6)</sup> segundo o qual a tenacidade ao impacto aumenta com a raiz quadrada do tamanho médio dos “dimples”. De fato, conforme obtido, a raiz fraturou com 22J e o enchimento com 8J a  $-40^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.** Superfície de fratura do cp Charpy do enchimento ensaiado a  $-40^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 5.** Superfície de fratura do cp Charpy da raiz ensaiado a  $-40^{\circ}\text{C}$ .

A Tabela 4 apresenta os resultados de análise química dos elementos Cr, Ni, N, S, C e O presentes no passe de raiz e nos passes de enchimento. Analisando estes dados, observa-se que a raiz possui teores mais baixos de nitrogênio e níquel, o que explica a baixa porcentagem de austenita presente nesta região. Por outro lado, os teores de carbono, oxigênio e enxofre no enchimento são extremamente

altos, o que, com certeza, é um dos fatores que contribuem para a mais baixa tenacidade nesta região. Outro fator que contribui para uma boa tenacidade do passe de raiz é a sua microestrutura fina de matriz ferrítica e ilhas de austenita. O alto teor de austenita de Widmanstätten nos passes de enchimento não foram determinantes para uma boa tenacidade nesta região.

**Tabela 4.** Análise química da raiz e passes de enchimento.

Região	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%N	%S	%O
Raiz	0,017	26,87	5,97	3,88	0,175	0,001	0,043
Passes de enchimento	0,030	27,64	6,67	3,20	0,252	0,029	0,130

## CONCLUSÕES

A microestrutura, a tenacidade e a composição química de uma junta soldada multipasse de aço inoxidável superduplex para aplicação em tubulação de plataforma off-shore foram analisadas neste trabalho. Observou-se que, devido aos baixos teores de níquel e nitrogênio dos consumíveis utilizados, o passe de raiz apresentou um teor de austenita muito próximo do limite inferior permitido. Apesar disso, o passe de raiz apresentou uma tenacidade superior à dos passes de enchimento, tanto na temperatura ambiente como a -40°C, o que se atribuiu a teores mais baixos de carbono, enxofre e oxigênio, bem como a uma estrutura mais fina.

## Agradecimentos

Ao CNPq e à FAPERJ pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 ASM Speciality Handbook “Stainless Steels”, 1994.
- 2 R.I. Hsieh, H. Y. Liou, and Y.T. Pan, Effects of cooling time and alloying elements on the microstructure of the Greeble-simulated heat affected zone of 22%Cr duplex stainless steels, *Journal of Materials Science and Performance* 10(5): 526-536 (2001).
- 3 Annual Book of ASTM standard, designation E-23-94b, p.137, 1995.
- 4 Annual Book of ASTM standard, designation E-562-89, Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count, p.602, 1989.
- 5 Norsok Standard M-601-2004, “Welding and Inspection of Piping”
- 6 O. A. Hilders e M. G. Santana, Toughness and Fractography of Austenitic type 304 stainless steel with sensitization treatments at 973K, *Metallography*, 21: 151-164, 1998.