

ANÁLISE MICROESTRUTURAL DA INTERFACE DE REVESTIMENTOS DE AÇOS ESTRUTURAIS 2,25Cr-1Mo E 2,25Cr-1Mo-0,25V COM DEPOSIÇÃO EM DUPLA CAMADA DE AÇOS INOXIDÁVEIS AWS ER309L E AWS ER347

Tathiane Caminha Andrade¹, Pedro Helton Magalhães Pinheiro¹, Nathália Escóssio Cavalcante¹, Hélio Cordeiro de Miranda¹

¹ Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, CE, Brasil

Endereço: Av. Barão de Studart, 2445, apt. 302; Bairro Joaquim Távora; CEP: 60120-002; Fortaleza/CE

RESUMO

Este trabalho pretende contribuir com a análise e a caracterização da interface de revestimentos de aços 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V com deposição em dupla camada de aços inoxidáveis AWS ER347 e AWS ER309L. Em uma primeira etapa, os metais de base e de adição foram caracterizados por microscopia ótica (MO) e microdureza. A interface dos revestimentos foi analisada com auxílio da microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados de caracterização revelaram uma descarbonetação próxima à linha da interface além de uma região fina de transição, com alta dureza que foi caracterizada como uma estrutura martensítica dos aços inoxidáveis austeníticos.

Palavras-chave: Aços Cr-Mo. Dupla camada. Interface de revestimentos.

INTRODUÇÃO

Nas indústrias petroquímicas e de refino de petróleo é comum a utilização de aços da família Cr-Mo em aplicações que necessitam de altas temperaturas e pressões, tais como os reatores de hidrotreatamento.

Para diminuir os danos causados aos aços da família Cr-Mo quando expostos a essas atmosferas e conferir outras propriedades, como a resistência a corrosão nestes materiais, são utilizados revestimentos com aços inoxidáveis. Normalmente, o revestimento é feito com dois tipos de aços

inoxidáveis: o AISI 309L na primeira camada sobre o substrato (material da família Cr-Mo) e o AISI 347 em uma segunda camada.

Assim, a soldagem de materiais dissimilares (aços Cr-Mo e aços inoxidáveis) é utilizada para a fabricação desses componentes devido a necessidade de aplicação de revestimento. Este processo deve ser planejado e executado cuidadosamente de forma a não prejudicar as propriedades mecânicas em regiões que foram afetadas pelos ciclos térmicos provenientes dos processos de soldagem e, conseqüentemente, aumentando a vida útil do equipamento e evitando perdas de material e falhas em segurança.

Desta forma, a caracterização das regiões propensas a microsegregações, propagações de trincas ou defeitos durante e após a soldagem devem ser identificadas e minimizadas ao máximo para o melhor desempenho do componente soldado.

Portanto, este trabalho pretende contribuir com o tema através da análise e caracterização da interface de revestimentos de aços estruturais 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V com deposição pela soldagem MIG/MAG em dupla camada de aços inoxidáveis AWS ER309L e AWS ER347, visando regiões menos propensas a defeitos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Metal de Base

Os materiais de base estudados neste trabalho são chapas de 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V com dimensões de 80 mm x 80 mm x 200 mm. A composição química medida destes materiais está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química dos metais de base

Composição Química (% peso)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
2,25Cr-1Mo	0,169	0,236	0,474	0.004	0.003	0,102	2,440	0,973	0,085	-
2,25Cr-1Mo-0,25V	0,154	0,064	0,508	0.007	0.008	0,152	2,10	0,938	0,092	0,29

Metal de Adição

Para a soldagem MIG/MAG automática de revestimento foram utilizados arames de 1,2 mm de diâmetro de aços inoxidáveis austeníticos AWS ER309L e AWS ER347. A composição química medida para estes materiais está na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química medida para os metais de adição

Composição Química (% peso)									
	C	Cr	Ni	Si	Mn	Mo	Nb	P	S
ER309L	0,03	24	12	1,1	1,8	0,3	-	0,03	0,03
ER347	0,08	19,9	9,1	0,5	1,4	0,07	0,8	0,03	0,03

METODOLOGIA

Etapa 1: Caracterização dos Metais de Base e de Adição

A caracterização dos metais de base e de adição foi realizada com microscopia ótica e microdureza do material como recebido. Para os metais de adição, foi realizada uma soldagem com deposição de cinco camadas e analisada a parte superior da amostra depositada, com o objetivo de analisar a região com mínima ou nenhuma diluição em relação ao metal de base inicial.

A metalografia seguiu procedimento usual com corte, lixamento, polimento e ataque com reagentes adequados: Nital 2% para revelar as matrizes dos aços estruturais e Ácido Oxálico 10% para as matrizes de aços inoxidáveis.

Etapa 2: Soldagem e Caracterização dos Revestimentos

A soldagem de revestimentos foi realizada com base em estudos anteriores em que foram escolhidos os melhores parâmetros dentro da metodologia desenvolvida para que a soldagem com técnica de deposição controlada conseguisse um refino e revenimento da ZAC da primeira camada (1,2).

As chapas de 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V foram cortadas em amostras de modo que cada bloco possuísse as dimensões de 80 mm x 100 mm x 200 mm. Então, a soldagem MIG/MAG de revestimento foi realizada em uma bancada robotizada, na posição plana, DBCP de 20 mm e obedecendo os parâmetros mostrados na Tabela 3. As temperaturas de pré-aquecimento e de interpasse foram mantidas constantes em 175 °C. A sobreposição de cordões laterais foi de 50 %.

Tabela 3 - Condições de soldagem de revestimento em dupla camada

Metal de Base	1° Camada	2° Camada
2,25Cr-1Mo	0,7 kJ/mm - Tipo I Ar+4%CO2 Tecimento Triangular	1,9 kJ/mm - Tipo V Ar+4%CO2 Tecimento Triangular
2,25Cr-1Mo- 0,25V	1,0 kJ/mm – Tipo V Ar+38%He+4%CO2 Tecimento Triangular	2,5 kJ/mm – Tipo V Ar+4%CO2 Tecimento Triangular

Após a soldagem de revestimento, as amostras foram cortadas e seguiram procedimento usual de metalografia com corte, lixamento, polimento e ataque com os reagentes adequados (Nital 2% e Ácido Crômico).

Foi realizada uma caracterização microestrutural através de microscopia ótica e eletrônica de varredura na região de interface do revestimento com o metal de base. Além disso, foi realizado um EDS em linha desta região para evidenciar qualquer nova fase ou região de transição que possa ter sido formada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etapa 1: Caracterização dos Metais de Base e de Adição

Caracterização do Metal de Base de 2,25Cr-1Mo

A microestrutura do aço 2,25Cr-1Mo foi caracterizada na condição como recebida (Figura 1).

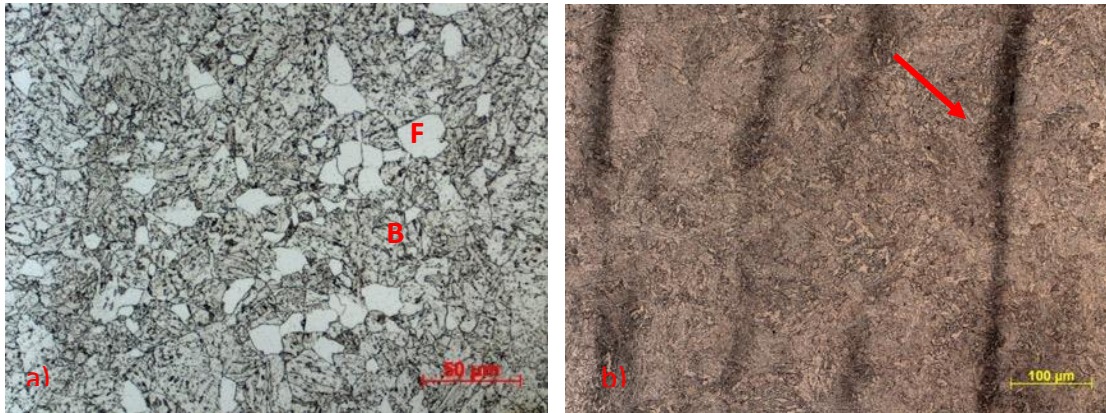


Figura 1 - Caracterização do Metal de Base a) microestrutura como recebida e b) microestrutura evidenciando a presença de bandeamentos na região central

Pela Figura 1a pode-se notar a presença de grãos maiores de ferrita (como indicado pela letra “F”) e bainita (letra “B”). Microestrutura semelhante foi encontrada anteriormente quando em um tratamento com aquecimento na região austenítica e taxa de resfriamento de 120K/min com resfriamento ao ar⁽³⁾.

Segundo BHADSHIA, STRANG, *et al.* ⁽⁴⁾ o aço 2,25Cr-1Mo tem usualmente a microestrutura formada de bainita superior mas pode conter quantidades substanciais de ferrita, dependendo do tratamento térmico imposto, especialmente em componentes grandes que tenham sido resfriados lentamente.

Também existe a presença de bandeamentos na região central da peça (Figura1b), o que fica evidenciado com o ensaio de microdureza Vickers na região (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**). Este ensaio também mostrou que a média de microdureza do metal de base está em torno de 200 HV.

O fenômeno de bandejamento já foi muito estudado em aços, principalmente em médio e alto carbono ⁽⁵⁻⁷⁾. De uma forma geral o bandejamento é devido a segregações de um ou mais elementos e possui duas causas principais:

Quantidade de carbono que, por ter um coeficiente de difusão maior do que os demais elementos de liga tende a segregar pela solidificação ou durante transformações no estado sólido;

Elementos de liga que diminuem a temperatura de início de formação da ferrita, como Manganês, Níquel e Cromo. Esse atraso resulta em um maior acúmulo de carbono da austenita.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra uma comparação entre as matrizes do aço 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V.

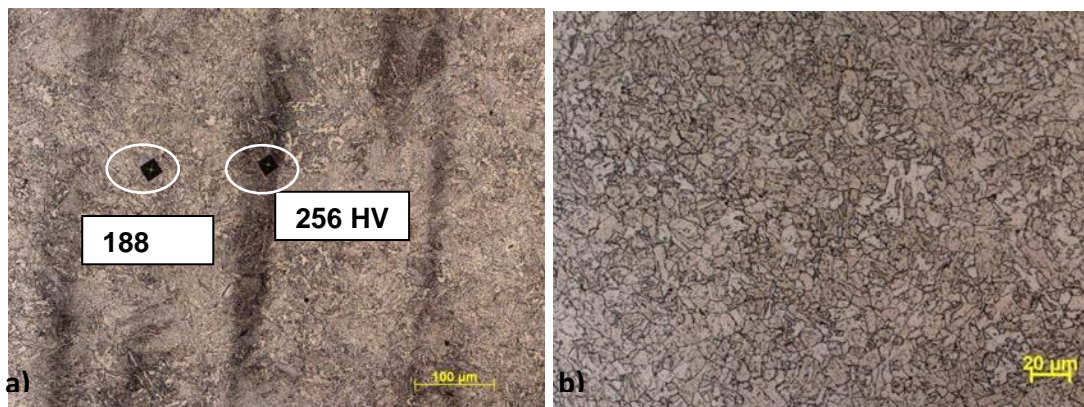


Figura 2 - Microestrutura do aço a) 2,25Cr-1Mo e b) 2,25Cr-1Mo-0,25V

A microestrutura do metal de base de 2,25Cr-1Mo-0,25V se mostrou mais refinada do que a do aço sem adição de vanádio. Diferentemente do aço 2,25Cr-1Mo, não foi constatada a presença de bandeamentos ao longo das seções transversais. A dureza deste metal de base ficou em torno de 187 HV, a mesma média do aço sem adição de vanádio.

Caracterização dos Metais de Adição

A caracterização dos metais de adição (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) revelou as matrizes austeníticas dos materiais e a média de microdureza foi de 190 HV.

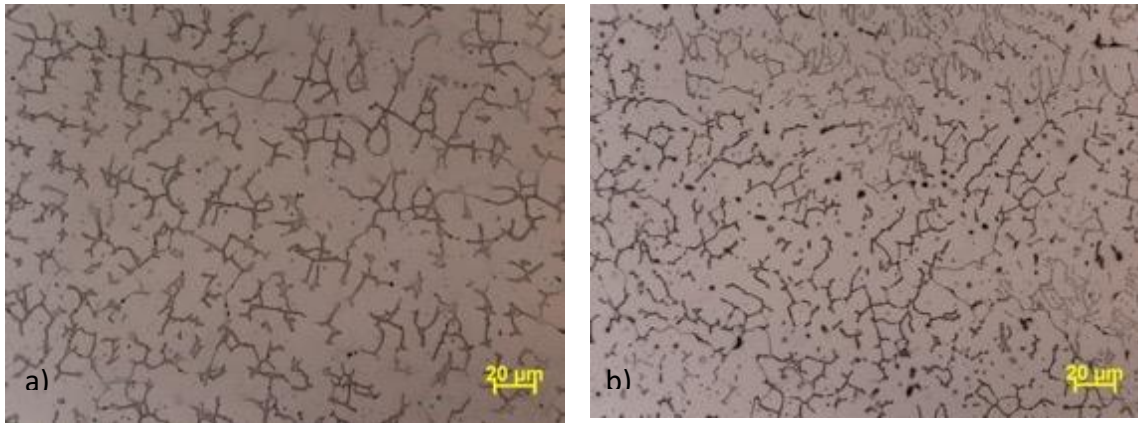


Figura 3 - Caracterização dos metais de adição: a) AWS ER 309L e b) AWS ER 347. Ataque: Ácido Oxálico 10%

Etapa 2: Soldagem e Caracterização dos Revestimentos

A caracterização do processo de soldagem e dos revestimentos se iniciou com macrografia das amostras (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

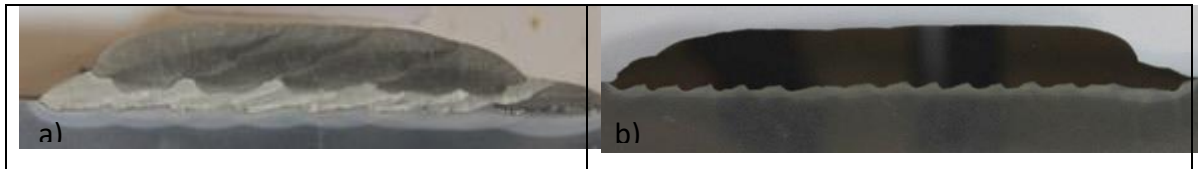


Figura 4 - Macrografia das condições soldadas nos aços: a) 2,25Cr-1Mo e b) 2,25Cr-1Mo-0,25V

Pode-se notar que o revestimento realizado no metal de base 2,25Cr-1Mo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**a) ficou mais homogêneo quando comparado com o realizado no metal de base 2,25Cr-1Mo-0,25V. A caracterização microestrutural das interfaces dos revestimentos soldados está mostrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

De uma forma geral, a aplicação da técnica da dupla camada pela imposição de um ciclo térmico de energia maior na segunda camada consegue refinar os grãos da ZACGG em comparação com simples deposições ^(2,8,9).

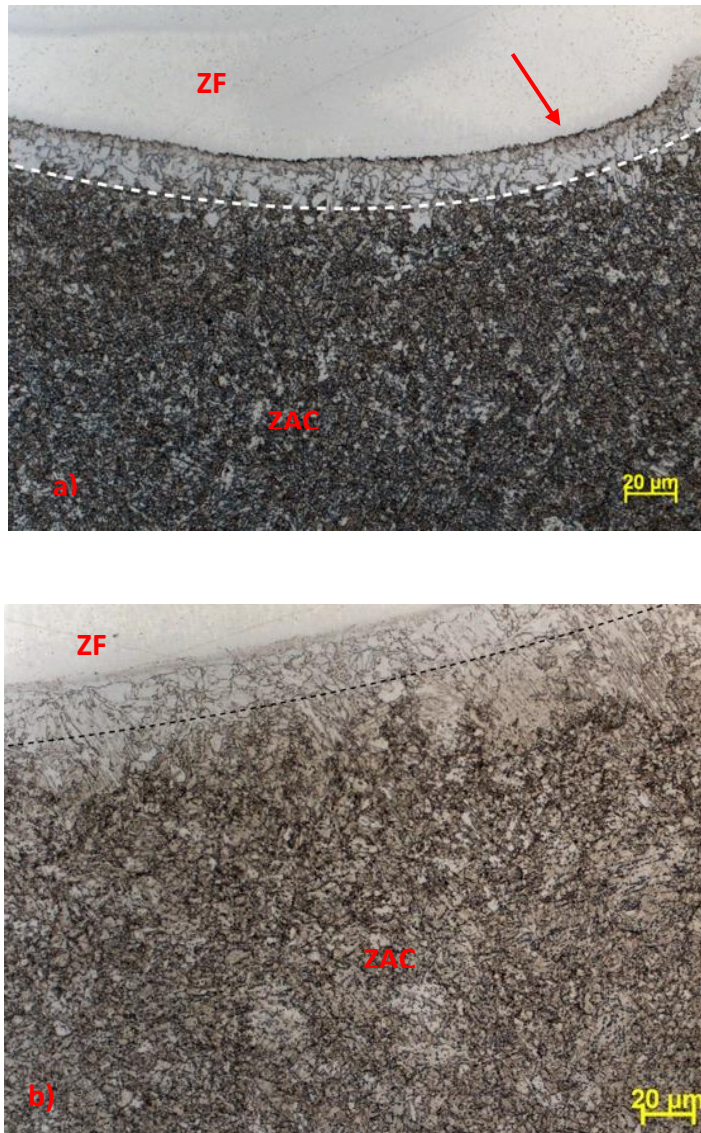


Figura 5 - Interfaces da soldagem de revestimentos dissimilar com metal de base: a) 2,25Cr-1Mo e b) 2,25Cr-1Mo-0,25V

Nos dois materiais soldados, nota-se a presença de uma região com grãos de ferrita bem próximo à interface do revestimento, caracterizando uma descarbonetação. Esta região pode estar associada aos sucessivos ciclos térmicos e/ou a uma diferença de composição de carbono existente entre o metal de base (0,17%C) e o aço inoxidável ER309L (0,03%C). Nesta região, o tamanho de grão da ferrita, maior que do restante da amostra, pode ser relacionada à falta de carbonetos que dificultem o crescimento de grão ⁽¹⁰⁾.

Muitos estudos ^(11,12) se referem às regiões descarbonetadas como regiões de baixa dureza e baixa energia absorvida durante o impacto. De outra forma, o carbono que foi expulso dessa região se difunde para regiões

adjacentes, podendo levar a saturação de carbono e precipitação de carbonetos que podem causar um endurecimento e fragilização no aço inoxidável.

Além disso, a amostra com metal de base 2,25Cr-1Mo mostra uma fina precipitação na linha da ZF, que pode estar associada à formação de carbonetos devido à descarbonetação da região adjacente. Diversos estudos (7,11,12) revelam a presença desta precipitação na soldagem destes materiais após TTPS. GITTOS e GOOCH (11) após análise por microscopia eletrônica de transmissão (MET) identificaram estas fases como carbonetos do tipo $M_{23}C_6$ com M sendo preferencialmente Cr.

Para evidenciar o que poderia ser essa precipitação na interface foi realizada imagens através de MEV para as amostras.

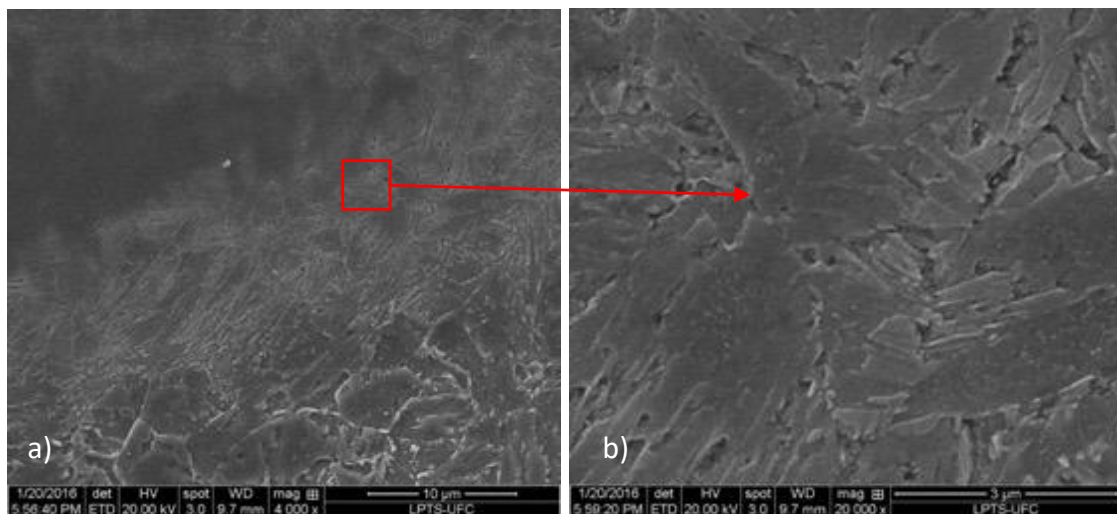


Figura 6 - Análise de MEV na interface do revestimento do aço 2,25Cr-1Mo: a) Microestrutura na interface e b) Detalhe para região com morfologia martensítica

A morfologia da microestrutura na região da interface desse revestimento se revelou como martensítica do aço inoxidável, assim como mostrado em estudos anteriores (11). Para o aço com adição de vanádio, o que aparentava não possuir qualquer precipitação ou nova fase na região da interface por MO, se mostrou de forma análoga ao aço 2,25Cr-1Mo. Neste material foi realizado um EDS em linha.

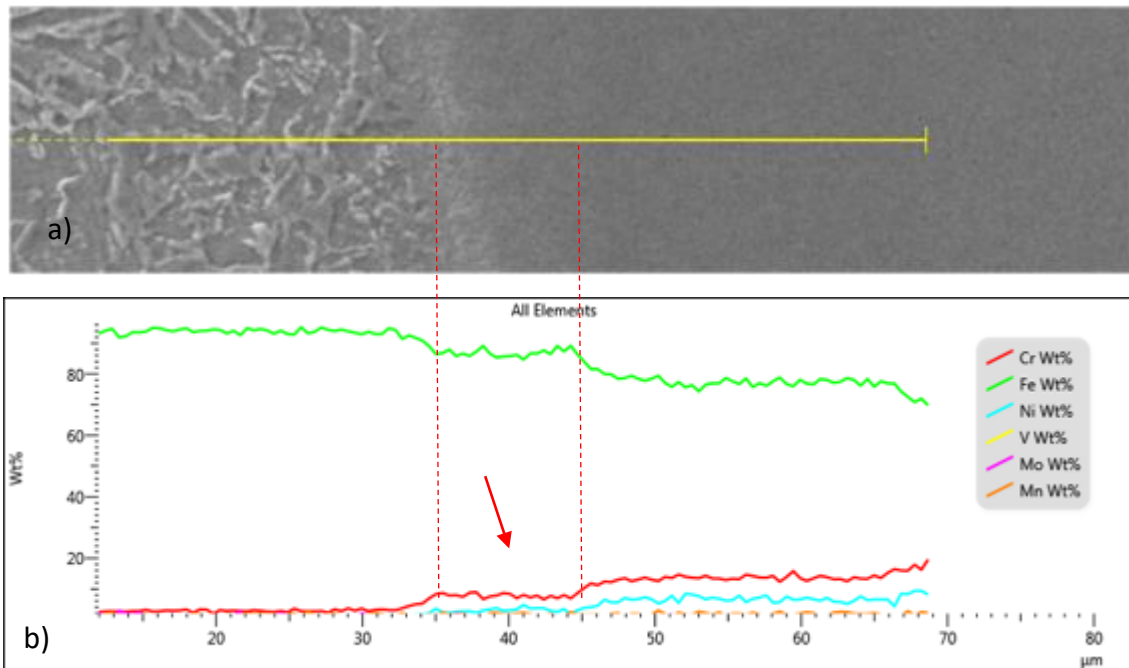


Figura 7 - EDS em linha do revestimento do aço 2,25Cr-1Mo-0,25V: a) Região onde foi realizada a análise e b) EDS em linha

O EDS em linha mostrou a presença de um patamar antes de chegar no aço inoxidável, como destacado na **Erro! Fonte de referência não encontrada**. Isto pode ser um indício de uma nova fase presente na interface da zona fundida deste material.

CONCLUSÕES

A análise dos revestimentos soldados com deposição controlada de aços inoxidáveis AWS ER309L e AWS ER347 em aços estruturais 2,25Cr-1Mo e 2,25Cr-1Mo-0,25V mostrou que:

a) A ZAC dos materiais revestidos aplicando a técnica da dupla camada apresentou, em sua maioria, microestruturas com bainita e martensita revenida. Próximo à interface, os dois materiais apresentaram regiões com grãos maiores de ferrita, caracterizando uma saturação de carbono e conseqüentemente difusão para região adjacente conhecida como descarbonetação;

b) Para o aço 2,25Cr-1Mo foi encontrada uma fina precipitação ao longo da interface ZAC/ZF, sugerindo um acúmulo de carbono nessa

região devido à descarbonetação da região adjacente. Para o aço com adição de vanádio essa precipitação não foi vista através de microscopia ótica mas o EDS em linha revelou a presença de uma nova fase nessa região.

REFERÊNCIAS

1. LPTS. **Relatório Técnico: Avaliação de Revestimentos e Reparos por Soldagem em Reatores HDT e Tambores de Coque**. Fortaleza. 2014.
2. CAVALCANTE, N. E. et al. Estudo de Procedimentos de Soldagem MIG/MAG para Aplicação de Revestimentos de Liga de Níquel Inconel 625 em Aço Estrutural ASTM A387 Gr.11. **Soldagem & Inspeção**, Fortaleza, 2016. 70-82.
3. PARVATHAVARTHINI, N. et al. Studies on hydrogen permeability of 2.25% Cr±1% Mo ferritic steel: correlation with microstructure. **Journal of Nuclear Material**, India, 2000. 187-196.
4. BHADESHIA, H. K. D. H. et al. Power Plant Steels: Remanent Life Assesment and the Approach to Equilibrium. **Advances in Turbine Materials**, London, 1997.
5. GRANGE, R. A. Effect of Microstructural Banding in Steel. **Metallurgical Transactions**, 1971.
6. CABALLERO, F. G. et al. Evolution of Microestructural Banding on Manufacturing Process of Dual Phase Steel. **Materials Transactions**. 2269-2276.
7. OLIVEIRA, G. L. G. **Soldagem Dissimilar dos Aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para Aplicações Subaquáticas**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2013.
8. HAN, Y. C. et al. Influence of Second Thermal Cycle on Reheat Cracking Susceptibility of Welding CGHAZ in Vanadium-Modified 2.25Cr1Mo Steel. **14 International Conference on Pressure Vessel Technology**, China, 2015.
9. TSAI, M. C.; YANG, J. R. Microstructural Degeneration of Simulated Heat-Affected Zone in 2,25Cr-1Mo Steel During High-Temperature Exposure. **Materials Science & Engineering**, Agosto 2003. 15-32.
10. FOLKHARD, E. **Welding Metallurgy of Stainless Steels**. New York: Springer-Verlag Wien, 1988.
11. GITTO, M. F.; GOOCH, T. G. The Interface Below Stainless Steel and Nickel-Alloy Claddings. **Welding Research Supplement**, Cambridge, Dezembro 1992. 461-472.
12. OLDEN, V. et al. **The effect of PWHT on the material properties and micro structure in Inconel 625 and Inconel 725 buttered joints**. The 22nd International Conference on Offshore Mechanics & Arctic Engineering. Cancun: [s.n.]. 2003.

OVERLAY INTERFACE MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF STRUCTURAL STEELS 2,25Cr-1Mo AND 2,25Cr-1Mo-0,25V WITH STAINLESS STEELS AWS ER309L E AWS ER347 TEMPER BEAD

This work aims to contribute to interfaces analysis and characterization of overlay steels 2,25Cr-1Mo and 2,25Cr-1Mo-0.25V with stainless steel AWS ER347 and AWS ER309L temper bead. In a first step, the base and filler metals were characterized by optical microscopy and microhardness. The overlays interface was analyzed by using optical microscopy and scanning electron microscopy. The characterization revealed near to the interface line a decarburization and a thin transition region with high hardness which was characterized as a austenitic stainless steels martensitic structure.

Keywords: Cr-Mo steels. Temper bead. Overlay interface.