

CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE NIÓBIO OBTIDOS POR ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA HIPERSONICA EM SUBSTRATO DE AÇO API 5CT P 110¹

Cristiane de Souza Brandolt²
Leandro Câmara Noronha³
Leonardo Reixach Lima³
Antonio Shigueaki Takimi⁴
Roberto Moreira Schroeder⁵
Célia de Fraga Malfatti⁶

Resumo

Aços API são amplamente utilizados em indústrias petrolíferas como materiais para confecção de tubulações, devido às suas excelentes propriedades mecânicas. Entretanto, esses materiais não apresentam boa resistência à corrosão e podem desenvolver várias formas de corrosão, inclusive fragilização por hidrogênio, o que comprometeria as suas propriedades e constitui um potencial de risco de falha para esses componentes. Revestimentos à base de nióbio aplicados por aspersão térmica nesses aços podem atuar melhorando a resistência à corrosão e ao desgaste do aço API 5CT P110. Neste trabalho as amostras revestidas foram caracterizadas quanto à resistência à corrosão em solução contendo cloretos. Além disso, os revestimentos foram caracterizados, quanto a morfologia, por microscopia eletrônica de varredura e análises metalográficas. Com os parâmetros utilizados na aspersão térmica obteve-se uma camada com poucos defeitos, mas apresentando um efeito barreira pequeno sobre o substrato.

Palavras-chave: Corrosão; Revestimento; Nióbio.

CHARACTERIZATION OF NIOBIUM COATINGS OBTAINED BY THERMAL HYPERSONIC FLAME IN SUBSTRATE OF API 5CT P 110 STEEL

Abstract

API steels are widely used in petroleum industries as materials for manufacture of pipes due to their excellent mechanical properties. However, these materials do not have good resistance to corrosion, which compromises its properties. The niobium coatings when applied, by thermal spraying, in these steels can act to improve corrosion resistance acting as a barrier on the API 5CT P 110 steel. In this work, the coated samples were characterized by corrosion resistance in a NaCl solution. The coatings were characterized for morphology by scanning electron microscopy and metallography analysis. The thermal hypersonic flame parameters employed in this work produced a niobium coating with few defects, but, showing a small barrier effect on the substrate.

Key words: Corrosion; Coating; Niobium.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso Anual da ABM, 31 de julho a 03 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduada em Engenharia Metalúrgica, Demet, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Mestrando em Engenharia, PPGEM, Demet, Lapec, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Doutorando em Eng. de Minas, Metalurgia e Materiais, Lacer, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁵ Eng. Metalúrgico, Dr. Pesquisador, PPGEM, Demet, Lapec, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁶ Eng. Metalúrgica, Dra. Professora, PPGEM, Demet, Lapec, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Com a recente demanda por materiais que atendam a necessidade de exploração em novas fontes de petróleo e gás, a aplicação de aços com adequada tenacidade a fratura e simultaneamente boa capacidade de suportar elevados carregamentos em condições de trabalho adversas, amplia o campo de atuação de aços ARBL (alta resistência e baixa liga) ou HSLA (*high strength low alloy*). Estes aços possuem graus de classificação de acordo com sua resistência ao escoamento e não pela composição química. Sem a adição de grandes teores de elementos de ligas como os aços inoxidáveis e ligas a base de níquel, tornam-se atrativos do ponto de vista econômico, aliando boa soldabilidade, excelente tenacidade e ótima relação resistência-peso.⁽¹⁾

A American Petroleum Institute⁽²⁾ especifica os aços empregados na indústria petroquímica através da norma API 5CT. Os aços laminados a quente fornecidos em bobinas, conforme esta especificação normatizada, atende à fabricação de tubos a serem usados para a fabricação de fluidos variados sob pressão, como petróleo e seus derivados, gás natural e minérios.

Apesar desses aços possuírem boas propriedades mecânicas, no entanto esses materiais não apresentam boa resistência à corrosão.

O nióbio vem sendo estudado como revestimento em materiais metálicos expostos a condições corrosivas, como em ambientes presentes na indústria de óleo e gás.

A aplicação de revestimentos por aspensão térmica de nióbio sobre substrato de aço carbono tem sido estudado como alternativa aos processos de obtenção de revestimentos por soldagem, no caso desse trabalho empregou-se o processo HVOF. O objetivo do revestimento é a formação de um filme aderente e principalmente resistente à corrosão e que apresente boas propriedades mecânicas.

O Nióbio puro forma uma camada passiva estável e espontânea ao ar, sendo resistente a uma larga faixa de variação de pH e potenciais.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a morfologia superficial e avaliar o comportamento eletroquímico do revestimento de nióbio em função da característica de processo, empregando para isso a técnica de aspensão térmica a chama hipersonica (HVOF).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A composição química aproximada do aço empregado como substrato aparece na Tabela 1.

Tabela 1. Composição do aço API 5CT P110

Elemento	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Cu	Al	Ti	Ca
%	0,41	0,011	0,048	0,33	1,72	0,59	0,01	0,41	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01

Os revestimentos foram obtidos a partir do pó de nióbio com granulometria da ordem até 45 μm e partículas com geometria bastante irregular (Figura 1), além de previamente secas em estufa sob temperatura de aproximadamente 80°C. Como preparação superficial do substrato procedeu-se uma limpeza superficial das amostras, previamente usinadas, além de jateamento abrasivo com alumina e pré-aquecimento com o auxílio da pistola de aspensão, sendo a temperatura objetivada de 120°C monitorada com auxílio de um pirômetro.

A aspersão térmica foi realizada através de uma Pistola DJ 2700 Sulzer Metco com alimentador de pó 9MP-DJ Sulzer Metco (Figura 2). Os parâmetros utilizados no processo (baseados em experimentos anteriores)⁽³⁾ estão expressos na Tabela 1. Como substrato foi utilizado amostras retangulares de dimensões 120 mm x 20 mm x 2,5 mm (Figura 3), usinadas no sentido longitudinal de um duto sem costura do aço API 5CT P110. Esse duto foi fornecido pela Petrobras. Foi analisada a morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (modelo JSM 6060) do substrato jateado e revestido com nióbio, de topo e na seção transversal. Foram também avaliadas a rugosidade das amostras e o comportamento eletroquímico do substrato e do revestimento em solução de NaCl 3,5%.

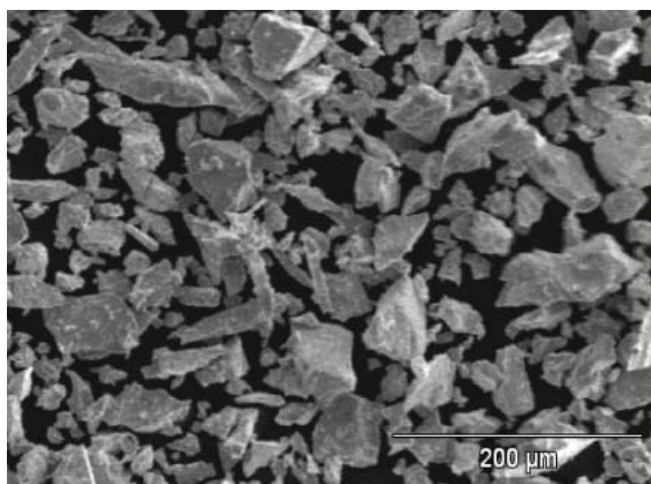


Figura 1. Morfologia irregular do pó de nióbio obtida por MEV.

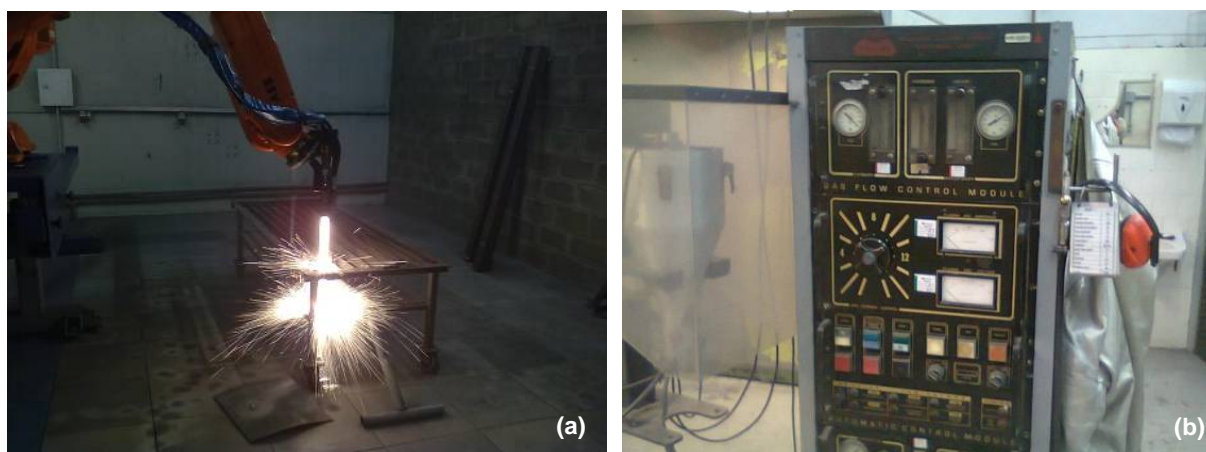


Figura 2. Processo de Aspersão térmica pelo processo HVOF realizado na empresa Rijeza em São Leopoldo RS. (a) Pistola de aspersão térmica HVOF; e (b) equipamento de controle de parâmetros operacionais de processo.

Tabela 2. Parâmetros utilizados na aspersão térmica por HVOF nos revestimentos

Vazão de oxigênio (l/mim)	245
Vazão de propano (l/mim)	70
Vazão de ar comprimido (l/mim)	302
Vazão de nitrogênio - gás de arraste (l/mim)	65
Pressão de oxigênio (bar)	12,3
Pressão de propano (bar)	8
Pressão de ar comprimido (bar)	8
Pressão de nitrogênio - gás de arraste (bar)	10,5
Distância de aspersão (mm)	20
Taxa de deposição (g/mim)	41
Velocidade da pistola (m/s)	0,2
Número de camadas	3



Figura 3. Aspecto da amostra utilizada: (a) amostra usinada; e (b) amostra jateada.

Para caracterização quanto a corrosão realizou-se curvas potenciostáticas (Potenciostato marca Omnimetra PG 39) anódicas e catódicas do substrato e do substrato aspergido com nióbio. A varredura de potenciais iniciou em 500 mV abaixo até 500 mV acima do potencial de corrosão dos sistemas estudados. As curvas de polarização foram realizadas em duplicata apresentando excelente reprodutibilidade. Todos os potenciais foram medidos em relação ao eletrodo de calomelano saturado.

3 RESULTADOS

Uma das características mais importantes de revestimentos obtidos por aspersão térmica é a adesão e coesão das partículas, sendo ela influenciada por diversos fatores, tais como a preparação superficial do substrato e os parâmetros do processo de aspersão térmica.

A partir da Figura 4 pode-se visualizar a morfologia do revestimento de nióbio obtido. Observa-se que houve a presença de alguma porosidade e pequenas fissuras na camada de nióbio depositadas, que pode comprometer a atuação como uma solução contra a corrosão.

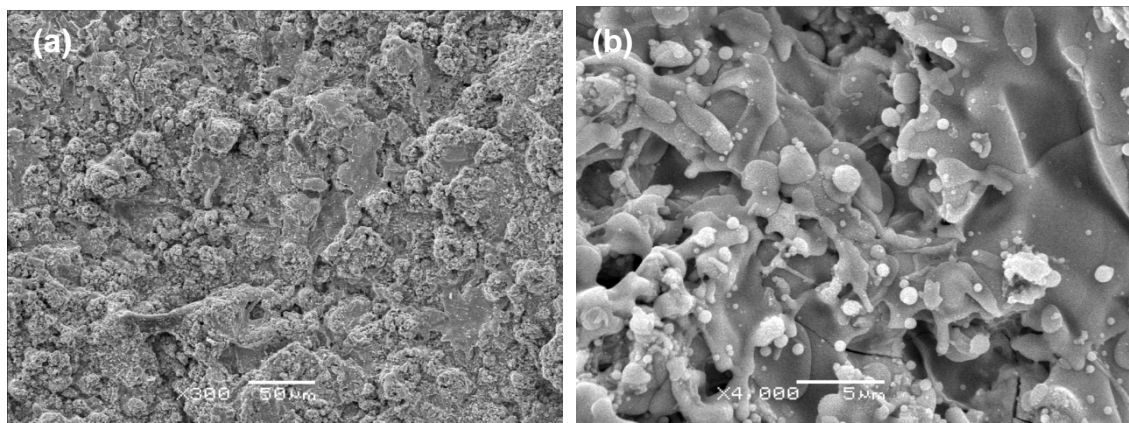


Figura 4. Micrografias (a) e (b) obtidas no MEV para o revestimento obtido.

A formação e composição dos revestimentos dependem principalmente, da temperatura atingida no processo, da velocidade de saída e dos tipos de gases empregados no transporte das partículas atomizadas.⁽⁴⁾ Observa-se que mesmo com a baixa temperatura desenvolvida no processo HVOF, em comparação com os demais processos de aspersão, houve fusão das partículas gerando um recobrimento coeso e bastante uniforme. Na Figura 5 é possível observar o revestimento em corte transversal, comprovando que o revestimento apresenta poucas falhas de preenchimento e uma espessura de camada de 91,6 µm com desvio padrão de 6,8 µm.

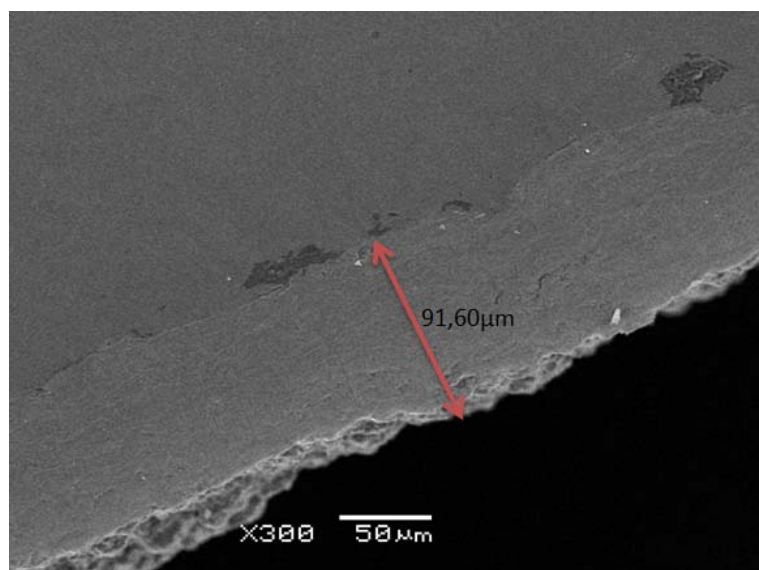


Figura 5. Micrografia transversal do revestimento no MEV.

A rugosidade da superfície jateada influencia na adesão do revestimento ao substrato, conforme norma da Petrobras N-2568,⁽⁵⁾ que recomenda que a rugosidade superficial da superfície jateada (R_y – de pico a vale) esteja entre 75 µm e 120 µm. O valor de R_a (rugosidade média), medido com um rugosímetro, foi próximo de 45 µm para o aço jateado. Como o valor R_a não representa o valor de pico a vale, mas sim um valor de rugosidade média, pode-se supor que a rugosidade R_y esteja muito próxima da indicada pela norma.

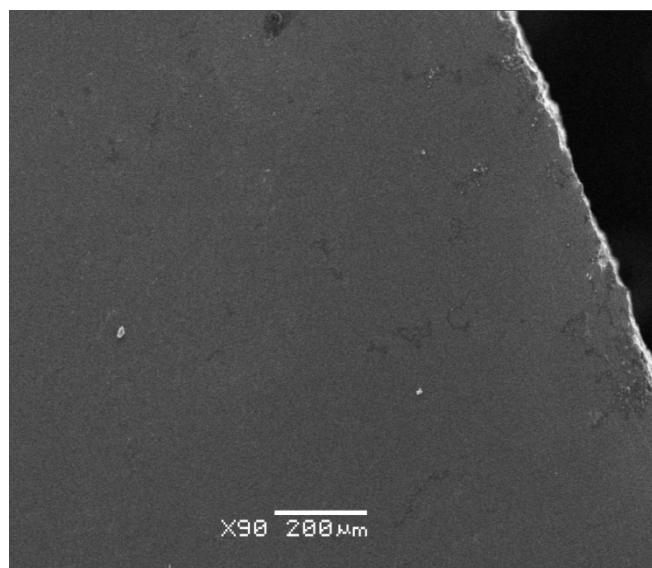


Figura 6. Micrografia transversal da superfície jateada.

A técnica de potenciometria permite avaliar o comportamento eletroquímico do substrato de aço e do revestimento de nióbio. Com fins comparativos, a curva potenciostática do nióbio maciço (Figura 7), obtida em trabalhos anteriores.⁽⁶⁾ No caso do nióbio aspergido sobre o aço, o potencial de corrosão encontrado foi de -630 mV. Já para o substrato de aço foi obtido potencial de corrosão de -440 mV. Este comportamento indicaria uma maior suscetibilidade à corrosão com a presença do revestimento em relação ao aço sem revestimento. No entanto as correntes medidas em potenciais mais anódicos que os de corrosão foram menores do que as encontradas para o substrato, indicando uma certa proteção, ou barreira oferecida pela camada aspergida (Figura 8). Apesar da caracterização morfológica da camada indicar pouca porosidade pode-se observar pelos resultados das Figuras 7 e 8 que a proteção oferecida pela camada aspergida esta longe do comportamento do nióbio maciço. Isto parece indicar a presença de poros ou fissuras passantes expondo também o comportamento do substrato no resultado dessa curva de polarização.

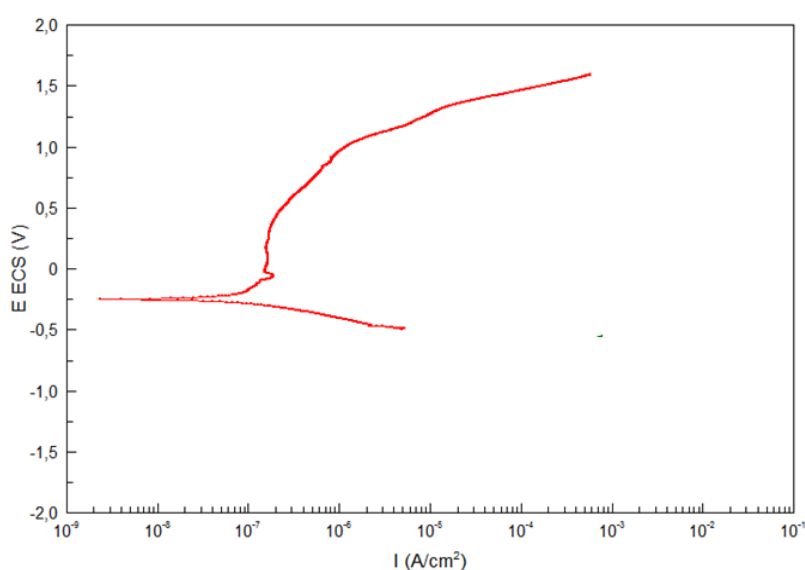


Figura 7. Curva de polarização do nióbio maciço.

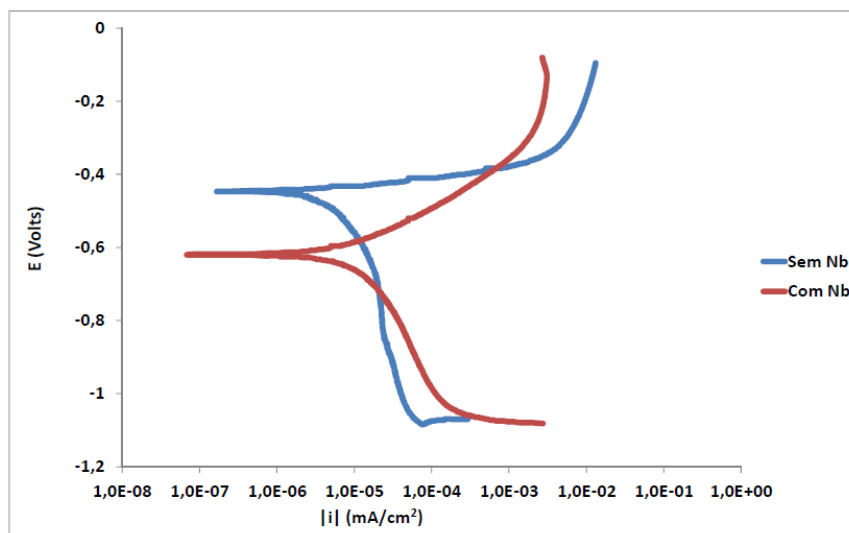


Figura 8. Curva de polarização para os dois sistemas envolvidos, solução de NaCl 3,5%.

4 CONCLUSÕES

Com os parâmetros empregados na aspersão térmica, nesse trabalho, observou-se uma camada melhor constituída e com menos defeitos que as observadas em trabalhos anteriores, mas não pode-se afirmar que é um revestimento ideal contra a corrosão.

Mesmo apresentando poucos defeitos visíveis na caracterização microestrutural da camada, a curva de polarização realizada no aço aspergido com nióbio apresentou correntes apenas levemente menores que a curva de polarização do material do substrato, indicando a presença de defeitos passantes, ou seja, a camada em questão não atuou de forma eficaz como uma barreira contra a corrosão, mas para trabalhos futuros serão utilizados outros parâmetros no processo para evitar a presença de defeito e possibilidade do emprego de selantes como barreira para tentar melhorar o desempenho contra a corrosão.

Observou-se queda no potencial de corrosão do aço recoberto com nióbio em relação ao substrato, o que indicaria maior corrosão, já que a curva catódica apresentou correntes maiores para a redução do oxigênio no aço recoberto com nióbio do que no substrato de aço.

Agradecimentos

Ao Lapec pela estrutura disponível.

Ao Sr. Leonardo Geremia por possibilitar a obtenção do revestimento nos corpos de prova na empresa Rijeza localizada em São Leopoldo.

REFERÊNCIAS

- 1 QUELHAS, K. A. S. Estudo da Corrosão do Nióbio em Meio Metanólico. Tese (Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- 2 API AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Specification for Pipe Line, API Specification 5C.
- 3 JUNIOR, JAIR GARCIA DE SOUZA. Revestimento à base de nióbio e nióbio-ferro obtidos por aspersão térmica hipersônica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

- 4 LIMA, C.C., TREVISAN, R., *Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações*, Artliber Editora, São Paulo, Brasil, 2001.
- 5 PETROBRAS N-2568, *Revestimentos Anticorrosivos Aplicados por Aspersão Térmica*, Janeiro 2004.
- 6 MOTTA, FELIPE PICCININI. *Propriedades de Revestimento de Nióbio Obtidos por Aspersão Térmica a Plasma sobre o Aço API 5L X65*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.