

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO AISI – 1020 REVESTIDO COM A MISTURA DE PÓS Ni-Cr-B-Si-C + ZrO<sub>3</sub> + Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: APLICADA POR ASPERSÃO TÉRMICA.

Carlos Alberto Picon<sup>1</sup>, Luiz Carlos Casteletti<sup>2</sup>, César Augusto Duarte Rodrigues<sup>3</sup>, Germano Tremiliosi Filho<sup>4</sup>

### Abstract

Ni alloys containing B and Si exhibit an interesting property due to the self-fluxing ability. In high temperatures, both additives react with oxides to produce borosilicate of low melting point as Ni-Ni<sub>3</sub>B. This kind of coating promotes the densification of the layers deposited by thermal spraying, what increases their adherence to the substrate. Usually, these alloys present low cost and lead to the formation of a composite technical and economically optimized. The addition of hard phases to this alloy may further increase the wear resistance of this layer. In the present work, alloys of the type Ni-Cr-B-Si-C (75% by weight) + ZrO<sub>3</sub> (17% by weight) + Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8% by weight) were deposited on an AISI-1020 steel substrate by thermal spraying process. The corrosion resistance of these modified materials in 0.9 % NaCl solution (pH 7.0) and sea water (pH 8.0), was compared with the AISI-1020 steel without coating. Corrosion and pit potentials of the AISI-1020 steel in NaCl and sea water (-690 mV and -545 mV; -750 mV and -0,024 mV, respectively) are significantly lower than the values observed for the coated steel (-267 mV and 190 mV; -555 mV and -0,090 mV, respectively).

**Keywords:** Corrosion, coating, carbon steels, thermal spraying.

### Resumo

As ligas de Ni contendo B e Si apresentam a interessante propriedade de serem auto-fluxantes. Em temperaturas elevadas, ambos os aditivos reagem com óxidos para formarem borossilicato de baixo ponto de fusão Ni-Ni<sub>3</sub>B o que provoca a densificação das camadas depositadas por aspersão térmica, aumentando a sua aderência ao substrato. Usualmente, estas ligas apresentam baixo custo e levam a obtenção de um compósito, técnica e economicamente otimizado. A adição de fases duras a esta liga pode aumentar ainda mais a resistência ao desgaste dessa camada. No presente trabalho, foram depositadas, por aspersão térmica sobre um substrato de aço AISI-1020, ligas do tipo Ni-Cr-B-Si-C (75 % em massa) + ZrO<sub>3</sub> (17 % em massa) + Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8 % em massa). Seu comportamento quanto à resistência à corrosão em solução 0,9% de NaCl e pH 7,0 e água do mar e pH 8, 00 foi comparada com a do aço AISI-1020 sem revestimento. Potenciais de corrosão e de pite do aço AISI-1020 (-690 mV e -545 mV e - 750 mV e - 0,024 mV, respectivamente) são expressivamente inferiores ao do aço revestido com a liga (-267 mV e 190 mV e -555 mV e - 0,090 mV, respectivamente).

**Palavras-chave:** corrosão, revestimento, aço carbono, aspersão térmica.

## Introdução

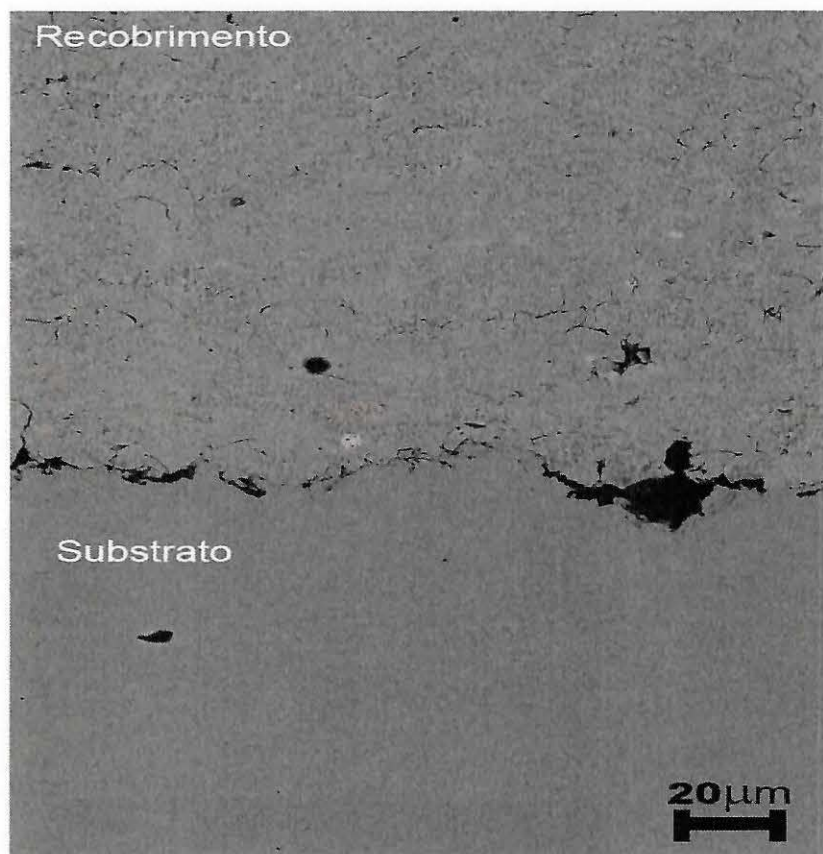
Resistências ao desgaste e à corrosão a altas temperaturas são fundamentais nos modernos processos industriais, como por exemplo, nos trocadores de calor, turbinas, ferramentas, pistões, extrusoras e cilindros de laminação. O uso de revestimentos protetores pode atender aos requisitos de desempenho em muitos ambientes severos, tais como os encontrados nas indústrias químicas, petroquímicas e do petróleo. <sup>[1-8]</sup> A aspersão térmica com chama é um dos processos mais versáteis de deposição de materiais de revestimento para aumentar a resistência à corrosão e ao desgaste. Este método apresenta pouca limitação dos materiais a serem depositados e as camadas formadas podem apresentar espessuras variando de micrometros a milímetros. É adequado para uma grande variedade de formatos não apresentando limitações de tamanhos dos componentes a serem revestidos, mantendo ainda a temperatura do substrato relativamente baixa durante o processo de deposição, preservando desse modo suas características originais. No caso particular onde resistências à corrosão e ao desgaste são requeridas a baixas e moderadas temperaturas, o uso de ligas à base de Ni auto-fluxantes, depositadas por aspersão térmica com chama, tem sido amplamente utilizado. As principais ligas dessa classe são as ligas contendo Ni, Cr, B, C e Si as quais são resultantes da adição de ligantes às ligas tradicionais à base de Ni. A adição de Cr promove a resistência à oxidação e à corrosão a temperaturas mais elevadas e aumenta a dureza do revestimento pela formação de precipitados duros. O carbono produz carbonetos de elevadas durezas, melhorando a resistência ao desgaste do revestimento. Quando os revestimentos são depositados por chama exibem aproximadamente 10 a 20% de porosidade e ligação mecânica com o substrato. A fusão posterior reduz a porosidade para 0,3 a 5 % e cria ligações metalúrgicas dentro do revestimento e entre o revestimento e o substrato, melhorando significativamente o desempenho do conjunto. Quando fundido, o revestimento é aquecido em um ponto entre o sólido e líquido. Ocorrendo a fusão e a fluxação, a fase líquida produz uma superfície brilhante, porém permanece um teor de fase sólida suficiente para fornecer a rigidez necessária para manter a forma do depósito semifundido. <sup>[9-18]</sup> A aspersão seguida de fusão é muito usada em aplicações onde o desgaste excessivo combinado com alta tensão sobre o revestimento/substrato (cisalhamento ou impacto), torna-se problemático. As durezas dos revestimentos podem alcançar até 65 HRc (820HV). A adição de partículas duras à matriz pode aumentar a dureza do revestimento e a resistência ao desgaste de forma homogênea. Isto é adequado particularmente no caso de temperaturas elevadas onde as ligas à base de Ni não podem suportar condições de desgaste severo. <sup>[1, 16, 17]</sup>



**Figura 1** - Célula eletroquímica utilizada nos ensaios de polarização potencioestática.

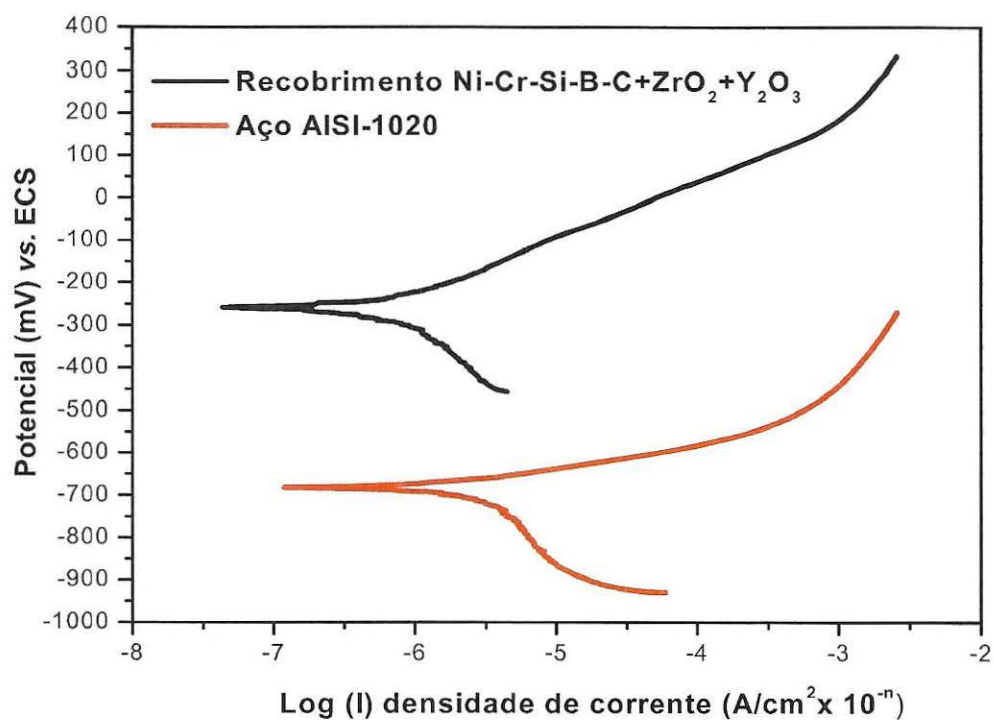
## Resultados e discussão

A imagem obtida por MEV, do aspecto estrutural das superfícies do recobrimento, que possui uma espessura em média de 1,5 mm e do substrato do aço AISI 1020, está ilustrada na **Figura 2**.

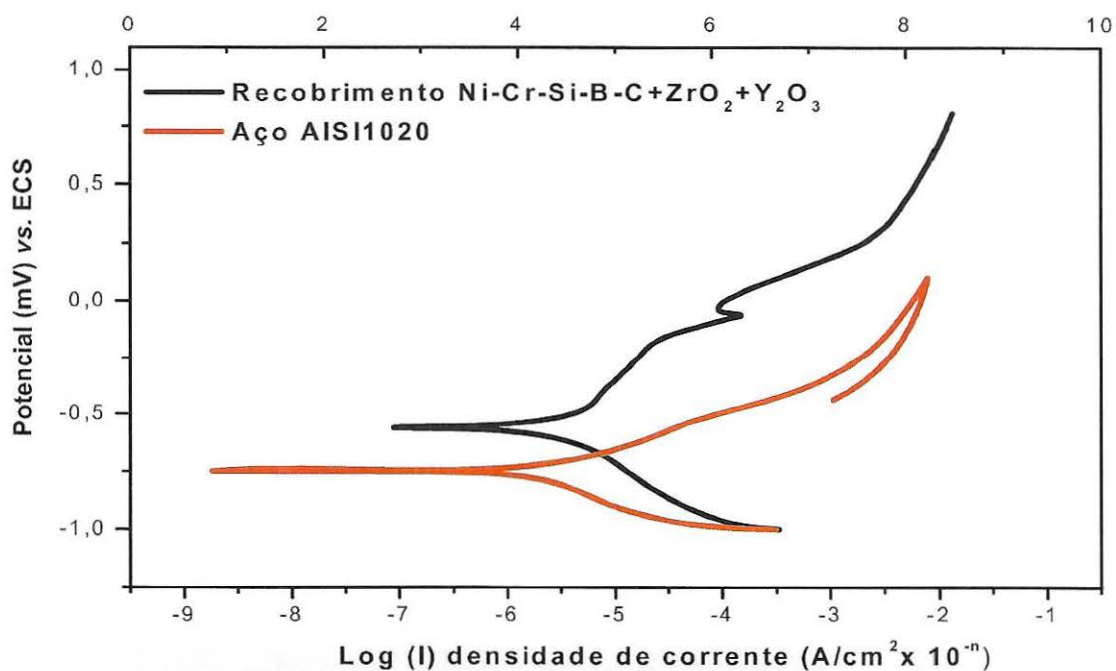


**Figura 2** – Imagem MEV da superfície do aço AISI 1020 com recobrimento e sem ataque.

As curvas de polarização anódicas obtidas utilizando a solução 0,9% de NaCl está apresentada na **Figura 3**. Os valores obtidos das respectivas curvas para os potenciais de corrosão e de pite do aço AISI-1020 são de -690 mV e -545 mV, respectivamente. No entanto o recobrimento apresenta valores mais catódicos de potencial de corrosão e potencial de pite (-267 mV e 190 mV). As curvas, em água do mar, tem comportamentos semelhantes, porém, diferem nos respectivos valores do potencial de corrosão e pite, que para o substrato é (-750 mV e -0,024 mV) e para o recobrimento é (-555 mV e -0,090 mV), conforme mostrado na **Figura 4**.



**Figura 3** – Curvas de polarização anódicas do aço AISI 1020 e recobrimento em meio a solução 0,9% de NaCl e pH 7,0, ECS.



**Figuras 4** – Curvas de polarização anódicas do aço AISI 1020 e seu recobrimento em meio à água do mar.



**Figura 6**– Imagem MO da superfície do recobrimento após os ensaios de corrosão.

O valor de microdureza Vickers foi de 833 HV para o revestimento e para o substrato, 170 HV, indicando uma diferença substancial na resistência do revestimento, aliada à facilidade de aplicação desse processo.

## Conclusões

- O processo de recobrimento empregado mostrou-se satisfatório, com homogeneidade e boa aderência ao substrato.
- A resistência à corrosão do recobrimento mostrou um bom resultado, com valores de potencial de corrosão e pite muito próximos de materiais mais nobres (aços inox).

## Agradecimentos

*Os autores agradecem à CNPq, FAPESP e CAPES pelo apoio financeiro. Aos técnicos (Eliezer Dias Francisco e José Silvano C. Lima) do Departamento de Materiais, Aeronáutica, Automobilística da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP e técnico (João Tiengo) do Instituto de Química de São Carlos – IQSC-USP. Ao Sr. Rodrigo Lopes pelo fornecimento da água, retirada em alto mar em Cabo Frio, RJ-Brasil.*

## Referências bibliográficas

- [1] **ASM Metals Handbook**, - “Friction, Lubrication, and Wear Technologies”, v.18, 1992.
- [2] DORFMAN, M. R. – “Thermal Spray BASICS”. **Advanced Materials & Processes**, July, 2002, p. 47-50.
- [3] UUSITALO, M. A. et al – “Elevated Temperature Erosion-Corrosion of Thermal Sprayed Coatings in Chlorine Containing Environments”. **Wear**, v. 252, 2002, p. 586-594.
- [4] Jha, A. K. et al – “High Stress Abrasive Wear Behavior of Some Hardfaced Surfaces Produced by Thermal Spraying”. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 11(1), 2002, p. 37-45.
- [5] KLEIN, H.J. et al – “Corrosion Resistant Alloys for the Chemical Process Industry”. **Metal Progress**, feb, 1980, p. 38-44.
- [6] McCreath, C.G.- “ Hot Corrosion Site Environment in Gas Turbine”, **Materials Science and Technology**, v. 3, 1987, p.494-500.
- [7] Cooper, D. et al – “Selection and Wear-Resistant Materials for the Petrochemical Industry” **J. Phys D: Appl Phys** , v.25, 1992. p.195-204.
- [8] Slavcheva, B. et al – “Review of Naphthenic Acid Corrosion in Oil Refining”, **British Corrosion Journal**, V.34, 199, p. 125-131.

- [9] NICOLL, A. R. – “Self-fluxing Coatings For Stationary Gas Turbines”. Paper presented at the *International Conference on Metallurgical Coatings and Process Technology*, San Diego, CA, U.S.A., April 5-8, 1982, p. 285-289.
- [10] SHIEH, Y. H. et al – “Alloying and post-heat-treatment of thermal-sprayed coatings of self-fluxing alloys”. *Surface and Coatings Technology*, v. 58, 1993, p. 73-77.
- [11] TU, J.P. et al – “Erosion resistance of Ni-WC self-fluxing alloy coating at high temperature”. *Wear*, v. 209, 1997, p. 43-48.
- [12] HIDALGO, V. H. – et al – “High temperature Erosion Wear of Flame and Plasma-Sprayed Nickel-Chromium Coatings Under Simulated Coal-Fired Boiler Atmospheres”. *Wear*, v. 247, 2001, p. 214-222.
- [13] MARTÍN, A. et al – “Sliding Wear Behaviour of Plasma Sprayed WC-NiCrBSi Coatings at Different Temperatures”. *Wear*, v. 251, 2001, p. 1017-1022.
- [14] CONDE, A. et al – “Cladding of Ni-Cr-B -Si Coatings With a High Power Diode Laser”. *Materials Science and Engineering*, v. A334, 2002, p. 233-238.
- [15] RODRÍGUEZ, J. et al – “An Experimental Study of The Wear Performance off NiCrBSi Thermal Spray Coatings”. *Wear*, v. 255, 2003, p. 950-955.
- [16] KIM, H. J. et al – “Assessment of Wear Performance of Flame Sprayed and Fused Ni-Based Coatings”. *Surface and Coatings Technology*, v. 172, 2003, p. 262-269.
- [17] HARSHA, S. et al – “Influence of WC addition in Co-Cr-W-Ni-C Flame Sprayed Coatings on Microstructure, Microhardness and Wear Behaviour”. *Surface & Coatings Technology*, 2006.
- [18] GONZÁLEZ, R. et al – “Wear Behaviour of Flame Sprayed NiCrBSi Coating Remelted by Flame or by Laser”. *Wear*, v. 262, 2007, p. 301-307.