

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Estudo da resistência à corrosão em meio salino de revestimentos aspergidos termicamente sobre liga de alumínio 7475**

**Letícia P. Lira<sup>a</sup>, Carlos A. Picone<sup>b</sup>, Frederico A. P. Fernandes<sup>c</sup>, Germano Tremiliosi Filho<sup>d</sup>, Luiz C. Casteletti<sup>e</sup>**

### **Abstract**

Thermal spraying is a process with wide application in industry. Its main features are easy deposition, low cost of equipment and good results. For the aircraft industry corrosion protection is very important for maintenance and coatings produced by thermal spray may increase its corrosion resistance. The aim of this work is evaluate the corrosion resistance of ceramic (1-TiO<sub>2</sub>-8%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 2-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5%SiO<sub>2</sub>-3%TiO<sub>2</sub>), metallic (3-Co-28.5%Mo-17.5%Cr-3.4Si and 4-Co-28%Cr-4%W-3%Ni-3%Fe) and composite (5-WC-12%Co) coatings deposited onto 7475 aluminum alloy substrate. Metallic and composite coatings were produced by HVOF process and ceramic coatings were produced by LVOF process. Potentiodynamic polarization tests were performed on the coatings and substrate using NaCl 3,5% solution. The investigation showed that 1, 2, 3 and 4 coatings presented better corrosion resistance than the substrate.

**Keywords:** corrosion, coatings, thermal spray, aluminum alloy 7475.

### **Resumo**

A aspersão térmica é uma técnica com ampla aplicação no mercado devido a fatores como facilidade na deposição, baixo custo de equipamentos e eficiência dos resultados. Na indústria, tem-se uma diversidade muito grande de aplicações, estando a proteção de superfícies contra corrosão entre as mais empregadas. O setor aeronáutico está entre os setores que poderiam se beneficiar com o uso desta técnica para aumentar a resistência à corrosão de aeronaves. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo da resistência à corrosão de revestimentos cerâmicos (1-TiO<sub>2</sub>-8%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 2-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5%SiO<sub>2</sub>-3%TiO<sub>2</sub>), metálicos (3-Co-28,5%Mo-17,5%Cr-3,4Si e 4-Co-28%Cr-4%W-3%Ni-3%Fe) e compósito (5-WC-12%Co), sendo os revestimentos metálicos e compósito aspergidos pelo processo HVOF e os cerâmicos por LVOF, depositados sobre um substrato de liga de alumínio 7475 endurecida por precipitação. Ensaio de polarização potenciodinâmica em meio de NaCl 3,5% foram realizados nos revestimentos e no substrato para avaliar a resistência à corrosão. Os revestimentos 1, 2, 3 e 4 apresentaram melhor resistência à corrosão quando comparados ao substrato.

**Palavras-chave:** corrosão, revestimentos, aspersão térmica, liga de alumínio 7475.

<sup>a</sup> Mestranda – Escola de Engenharia de São Carlos-USP

<sup>b</sup> Doutor – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP

<sup>c</sup> Doutor – Escola de Engenharia de São Carlos-USP

<sup>d</sup> Doutor – Instituto de Química de São Carlos-USP

<sup>e</sup> Doutor – Escola de Engenharia de São Carlos-USP

---

## Introdução

---

No setor aeronáutico, a dificuldade para resolver os problemas causados pela corrosão aumenta os custos com manutenção e diminuem a vida útil das aeronaves. Diversas técnicas são utilizadas para prevenir e controlar a corrosão, como a aplicação de pinturas e tratamentos químicos da superfície (1). Outra possibilidade é a deposição de revestimentos utilizando o processo de aspersão térmica.

A aspersão térmica consiste num grupo de processos onde partículas de materiais metálicos ou não metálicos são depositadas sobre uma superfície previamente preparada (2). Esta técnica possui a vantagem de oferecer uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados como revestimentos, podendo ser selecionados de acordo com a aplicação desejada.

Os revestimentos duros – como os cerâmicos e compósitos – são muito usados para aumentar a resistência à corrosão de superfícies (3).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à corrosão de revestimentos duros (metálicos, cerâmicos e compósitos), depositados por aspersão térmica sobre um substrato de liga de alumínio 7475 endurecida por precipitação, utilizando-se a técnica da polarização potenciodinâmica.

---

## Metodologia

---

Os pós cerâmicos **1** ( $\text{TiO}_2$ -8% $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e **2** ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -5% $\text{SiO}_2$ -3% $\text{TiO}_2$ ), metálicos **3** (Co-28,5%Mo-17,5%Cr-3,4Si) e **4** (Co-28%Cr-4%W-3%Ni-3%Fe), e compósito **5** (WC-12%Co) foram depositados sobre o substrato de liga de alumínio 7475 endurecida por precipitação, utilizando-se os processos de aspersão térmica HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) – para pós metálicos e compósito – e LVOF (*Low Velocity Oxygen Fuel*) – para pós cerâmicos. Os revestimentos foram produzidos pela empresa Ogramac Engenharia de Superfície, com os equipamentos JP 5000 (HVOF) e Terodin 2000 (LVOF).

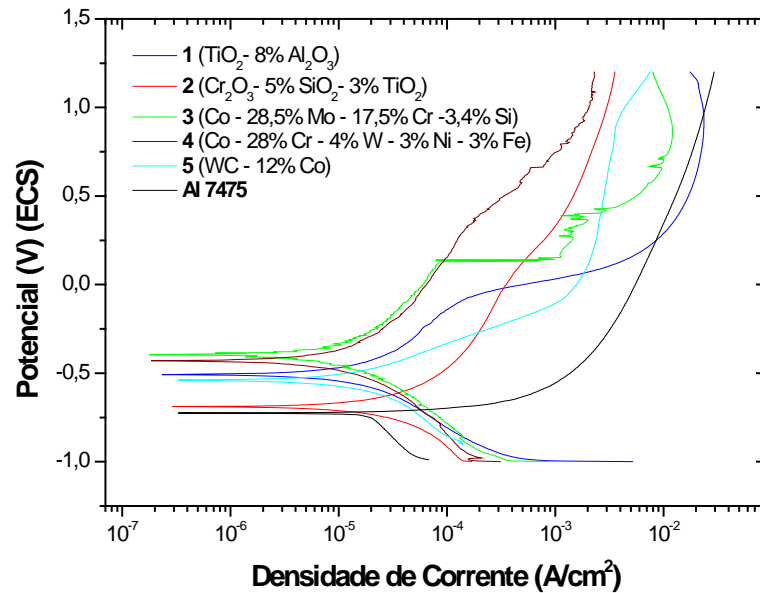
As amostras foram cortadas e suas superfícies lixadas para minimizar sua rugosidade. Em seguida, foram limpas em ultrassom com acetona, álcool e água destilada, nesta ordem, por um período de 10 minutos. Após este processo, as amostras foram posicionadas numa célula eletroquímica, composta por um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS), um eletrodo auxiliar de platina e a solução de NaCl 3,5% (pH 7).

Os ensaios de polarização potenciodinâmica foram realizados num potenciostato modelo PGSTAT 302, da Autolab, com potencial de varredura de -1,0 V a 1,2 V e velocidade de varredura de 1 mV/s. Os parâmetros eletroquímicos  $E_{\text{corr}}$  (potencial de corrosão),  $R_p$  (resistência de polarização),  $I_{\text{corr}}$  (densidade de corrente de corrosão) e  $I_{1V}$  (densidade de corrente equivalente ao potencial de 1,0 V) foram obtidos meio do software General Purpose Electrochemical System (GPES), versão 4.9. As curvas de polarização potenciodinâmica foram geradas no programa Origin 6.0.

As superfícies dos materiais após os ensaios foram observadas com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo 440 Leo, da Zeiss, com filamento de tungstênio e microssonda acoplada.

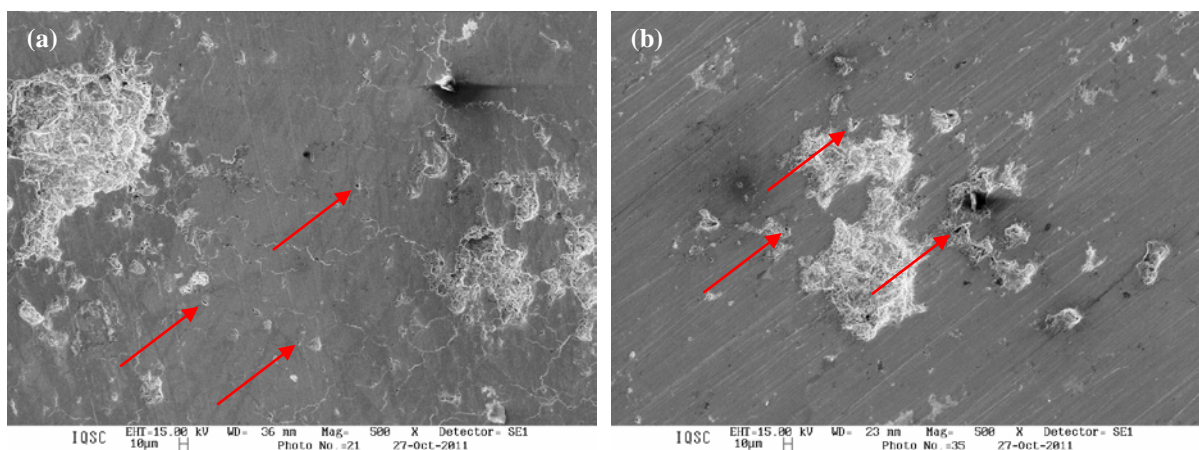
## Resultados e discussão

A figura 1 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica dos revestimentos e do substrato.



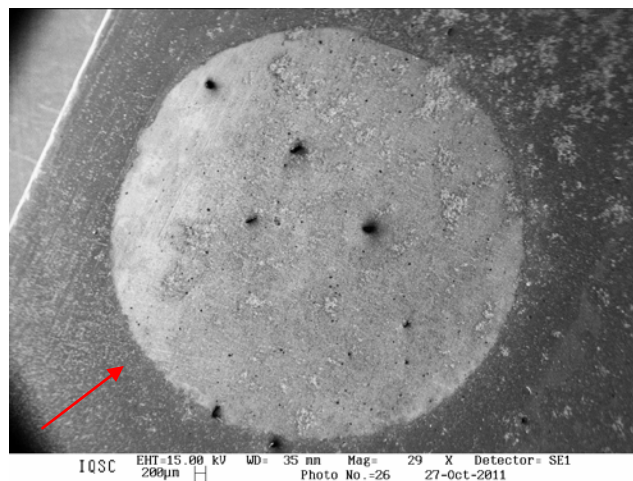
**Figura 1 – Curvas de polarização potenciodinâmica dos revestimentos e substrato**

Estudos realizados em Co puro mostraram que este apresenta apenas comportamento de dissolução ativa quando exposto a meios com cloretos e pH 7 (4, 5). Já em ligas a base de cobalto tem-se um comportamento ativo e passivo (6, 7), tal como pode ser visto na região anódica das curvas de polarização dos revestimentos 3 e 4, que exibem picos evidenciando a formação de pite, como mostra a figura 2.



**Figura 2 – Microscopia eletrônica de varredura da superfície corroída dos revestimentos metálicos (a) 3 e (b) 4**

O revestimento composto 5 (WC-12%Co) também apresenta parte ativa e passiva na região anódica da curva de polarização (figura 1). Nesse tipo de material a parte ativa indica a oxidação do Co (5, 8, 9), ocorrendo certo grau de passivação, provavelmente provocado pela formação do filme óxido mostrado na figura 3.



**Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura do filme óxido formado sobre o revestimento composto 5**

Associando as curvas de polarização aos parâmetros eletroquímicos descritos na tabela 1, percebe-se que os potenciais de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ) dos revestimentos 1, 2, 3, 4 e 5 são maiores que o do substrato. Isto indica que o processo corrosivo deste se inicia antes dos revestimentos.

**Tabela 1 – Parâmetros eletroquímicos obtidos a partir das curvas de polarização potenciodinâmica**

Materiais	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$I_{\text{corr}}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$I_{1V}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ (kΩ.cm <sup>2</sup> )
(1)	-509	234,37	23,16	3,86
(2)	-689	288,09	03,00	2,19
(3)	-396	176,39	10,92	4,96
(4)	-429	184,90	02,05	5,52
(5)	-539	331,42	04,42	3,39
Al 7475	-725	329,59	24,50	0,47

A densidade de corrente de corrosão ( $I_{\text{corr}}$ ) está associada à taxa ou velocidade de corrosão (10 e 11). Desta forma, observando-se  $I_{\text{corr}}$  do revestimento 5 e do substrato é possível afirmar que apresentam taxas de corrosão semelhantes, possuindo altos valores. Entretanto, após um período prolongado sobre a influência do meio, como mostra a densidade de corrente para 1 V –  $I_{1V}$ , o revestimento 5 corrói mais lentamente devido a ação do filme de óxido formado sobre sua superfície (figura 3), fazendo com que o revestimento apresente maior resistência de polarização  $R_p$ .

Quanto aos revestimentos 1, 2, 3 e 4, estes se mostram com uma taxa de corrosão inferior à do substrato, embora o revestimento 1, após um longo período de exposição ao meio, apresente

$I_{IV}$  próxima do substrato. Já o revestimento 3, após um período de exposição ao meio, exibe  $I_{IV}$  maior que a dos revestimentos 2, 4 e 5. Tal fato pode estar associado à presença de trincas na superfície corroída do revestimento 3 (12), como pode ser visto na figura 2a.

## Conclusões

Os revestimentos 1, 2, 3 e 4 se mostraram mais resistentes à corrosão do que o substrato, em meio salino. Considerando a resistência à corrosão dos revestimentos em relação ao substrato, inclusive para períodos longos de exposição ao meio salino, o revestimento 4 é o melhor.

## Referências bibliográficas

- (1) AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals handbook**: Corrosion: Environments and Industries. Materials Park: 2006. v. 13C.
- (2) AMERICAN WELDING SOCIETY. **Thermal spraying**: practice, theory and application. Miami: AWS, 1985.
- (3) AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Handbook of thermal spray technology**. Materials Park: 2004.
- (4) JUNG, H.; ALFANTAZI, A. Corrosion properties of electrodeposited cobalt in sulfate solutions containing chloride ions. **Electrochimica Acta**. Vancouver, v. 55, p. 865-869, Jan. 2010.
- (5) MONTICELLI, C.; FRIGNANI, A.; ZUCCHI, F. Investigation on the corrosion process of carbon steel coated by HVOF WC/Co cermets in neutral solution. **Corrosion Science**. Ferrara, v. 46, n. 5, p. 1225-1237, May 2004.
- (6) SWAMINATHAN, V. et al. Electrochemical investigation of chromium oxide-coated Ti-6Al-4V and Co-Cr-Mo alloy substrates. **Journal of biomedical materials research part b: applied biomaterials**. New York, v. 98B, n. 2, p. 369-378, June 2011.
- (7) HSU, R. W. et al. Electrochemical corrosion studies on Co-Cr-Mo implant alloy in biological solutions. **Materials Chemistry and Physics**. Taiwan, v. 93, n. 2-3, p. 531-538, Apr. 2005.
- (8) SUTTHIRUANGWONG, S; MORI, G. Corrosion properties of Co-based cemented carbides in acidic solutions. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**. Leoben, v. 21, n. 3-4, p. 135-145, June 2003.
- (9) LEKATOU, A.; ZOIS, D.; GRIMANELIS, D. Corrosion properties of HVOF cermet coatings with bond coats in an aqueous chloride environment. **Thin Solid Films**. Ioannina, v. 516, n. 16, p. 5700-5705, July 2007.
- (10) WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo: EDUSP, 2003.
- (11) PEREZ, N. **Electrochemistry and corrosion science**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- (12) BEYRAGH, M. R. S. et al. A Comparison between the Corrosion Resistances of High Velocity Oxy Fuel (HVOF) Sprayed Coatings and Hard Chromium Coatings. **Materials Science Forum**. Tabriz, v. 673, p. 173-178, Jan. 2011.