INTERCORR 2008
28° Congresso Brasileiro de Corrosão
2nd International Corrosion Meeting
Mar Hotel, Recife / PE • 12 a 16 de maio de 2008

Avaliação, através de ensaios potenciodinâmicos, da resistência a corrosão de conjugados de WC-Co modificados estruturalmente.

Maria M. R. Castro[1], Marília M.M. Lima [2],Cristina Godoy[1], Júnia C. Avelar-Batista[3]. Vanessa F.C. Lins[1].

Abstract

In this work, WC-Co modified coatings, deposited by high velocity oxy-fuel thermal spray, were evaluated using potentiodynamic corrosion tests. The five following systems, developed by either modifying coating composition or by performing a post-melt treatment, using an AISI 1020 steel as substrate, were studied: (1) WCCo/steel; (2) a dúplex system comprising a WCCo top layer and a NiCrAl interlayer; (3) NiCrAl/steel; (4) an as-sprayed 50%(WCCo)50%(NiCr)/steel and (5) a post-melted treated 50%(WCCo)50%(NiCr)/steel. Potentiodynamic tests, performed in H_2SO_4 0.5 mol/L, were able to define, among the systems, four groups according to their corrosion behavior: the first one is represented by the steel substrate, which has the lowest value of corrosion resistance, the second contains systems (1) and (2), the third group includes(3) and (4). The last one consists of number (5). The results show that both non-dúplex and dúplex WC–Co systems exhibited a similar corrosion behavior. However, chemical analyses of the after-tests solutions indicated a higher dissolution of iron for the non-dúplex system than for the dúplex one. The post-melt treatment and the addition of a corrosion resistant NiCrAl interlayer to the WC–Co/steel system were both effective in improving the corrosion performance of thermally sprayed WC–Co coatings.

Key words: WC–Co coatings, potentiodynamic curves, dúplex coating.

Resumo:

Neste trabalho foram avaliados conjugados tribológicos desenvolvidos com a finalidade de se aumentar a resistência à corrosão dos revestimentos WC-Co, depositados por aspersão a combustão hipersônica, HVOF. Foram estudados os seguintes cinco sistemas, produzidos ou pela modificação da composição do recobrimento ou pela execução de um tratamento térmico de fusão após a deposição, a partir de um substrato do aço AISI 1020: (1) recobrimento de WC-Co, (2) recobrimento dúplex com WC-Co no topo e uma camada intermediária de NiCrAl, (3) recobrimento de NiCrAl, (4) conjugado recoberto com 50%(WCCo)+50%(NiCr) no estado como depositado e (5) conjugado 50%(WCCo)+50%(NiCr) fundido após a deposição. Foram realizados ensaios potenciodinâmicos em H_2SO_4 0,5 mol/L, para se comparar o desempenho frente à corrosão desses sistemas. Esses ensaios distinguiram, nos conjugados, quatro grupos de comportamento. O primeiro é constituído do substrato e possui o mais baixo valor de resistência à corrosão. O segundo é representado pelos conjugados (1) e (2), o terceiro inclui os sistemas (3) e (4), e o quarto é composto pelo conjugado (5). Os resultados mostram ainda que, apesar dos sistemas não-dúplex e dúplex exibirem

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

comportamento similar, análises químicas das soluções após os ensaios indicam uma mais alta dissolução do ferro do substrato para o sistema não-dúplex. Pôde ser concluído, também, que o tratamento térmico pós-fusão e a adição de uma camada intermediaria de NiCrAl foram efetivos para melhorar o desempenho frente à corrosão dos revestimentos WC-Co.

Palavras-chave: recobrimentos WC-Co, curvas potenciodinâmicas, recobrimentos dúplex**.**

Introdução

Revestimentos duros do tipo WC-Co, depositados por aspersão térmica, apresentam excelente resistência ao desgaste abrasivo. Porém, não são normalmente selecionados como materiais para resistência a corrosão. Na prática, recobrimentos por aspersão térmica não têm atingido as expectativas quanto à resistência a meios corrosivos. A porosidade e a presença de óxidos, inerentes nesses tipos de revestimentos, têm limitado sua utilização em aplicações envolvendo corrosão [1].

A resistência à corrosão de *cermets* do tipo WC-Co é baseada em dois componentes distintos: o cobalto que possui uma fraca resistência tanto à oxidação quanto à corrosão e o carboneto de tungstênio que apresenta uma excelente resistência à corrosão e uma moderada resistência à oxidação. A corrosão do WC-Co em meios aquosos é, assim, baseada na remoção do cobalto presente na superfície, de forma a restar, na região atacada, apenas um esqueleto de carbonetos. Entretanto, quando a solicitação química está associada a solicitações mecânicas, tais como, desgaste e abrasão, esse esqueleto pode ser, também, rapidamente removido [2].

Com a finalidade de associar a boa resistência à corrosão do NiCr [3] e a alta resistência ao desgaste do WC-Co [4-6], recobrimentos envolvendo a mistura desses dois componentes tem sido desenvolvidos. Entretanto, o controle da microestrutura é fundamental uma vez que essa mistura pode dar origem a um par galvânico. Além disso, quando recobrimentos de WC-Co foram misturados a ligas anticorrosivas, o sistema exibiu um decréscimo na dureza. Este fato levou ao estudo e desenvolvimento dos conjugados dúplex. Este sistema foi projetado com o recobrimento de WC-Co no topo e uma camada intermediária de NiCrAl, que possui alta resistência à corrosão e pode prevenir que o meio corrosivo atinja e ataque a superfície do substrato [7].

Neste trabalho foram avaliados conjugados tribológicos, desenvolvidos com a finalidade de se aumentar à resistência a corrosão dos revestimentos WC-Co, depositados por aspersão a combustão hipersônica, HVOF. Foram estudados cinco sistemas, produzidos ou pela modificação da composição do recobrimento, com a introdução de uma camada intermediária de NiCrAl, ou pela execução de um tratamento térmico de fusão após a deposição com a finalidade de modificar a estrutura lamelar deste recobrimento.

Procedimento Experimental

Amostras

O aço AISI 1020 foi usado como substrato para todos os conjugados. Cinco sistemas foram produzidos e avaliados a partir desse substrato:

(1) recobrimento de WC-12%Co;

(2) recobrimento dúplex com WC-12%Co no topo e uma camada intermediária de NiCrAl;

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

(3) recobrimento de NiCrAl;
(4) conjugado recoberto com 50% (WC-12%Co) + 50% (NiCr) no estado como depositado, produzido usando-se uma mistura homogênea de pós consistindo de 50% WC-12%Co + 50% NiCr, este última liga com adições de Si, B, Fe e C;
(5) conjugado 50% (WC-12%Co) + 50% (NiCr)**,** no qual foi feito um tratamento de fusão após a deposição, utilizando-se uma chama de oxy-acetileno.
Os recobrimentos referentes aos sistemas (1), (2), (4) e (5) foram depositados por aspersão a combustão hipersônica, HVOF, utilizando-se um equipamento METCO Diamond Jet. E o recobrimento NiCrAl, sistema (3), foi produzido por aspersão a plasma atmosférico, utilizando-se um sistema de aspersão a plasma METCO.

Ensaios Potenciodinâmicos

Os ensaios potenciodinâmicos foram realizados em solução de H_2SO_4 0,5 mol/L, de acordo com a norma ASTM G-5-94 [8]. O aparelho utilizado foi um potenciostato/galvanostato PGP 201 Radiometer - Copenhagen com unidade de controle de velocidade CTV 101 [9].
As amostras utilizadas nesse ensaio possuem forma circular com 14mm de diâmetro e uma espessura da ordem de 4 a 5 mm. A área das amostras ensaiadas foi de, aproximadamente, 113 mm^2, de acordo com o porta amostra disponível para o teste potenciodinâmico. Esse corpo-de-prova possui as dimensões específicas para seu encaixe no eletrodo de trabalho da célula do potenciostato utilizado.
Para cada conjugado foram levantadas, no mínimo, três curvas potenciodinâmicas. Para o levantamento dessas curvas, utilizou-se uma célula de três eletrodos: o de referência (eletrodo de calomelano), o auxiliar (eletrodo de platina) e o de trabalho (amostra). A taxa de varredura durante o ensaio de polarização potenciodinâmica foi de 10mV/min, a faixa de potencial percorrida variou de acordo com o conjugado em estudo e, durante todo o teste, borbulhou-se nitrogênio, a uma taxa de escoamento de 30 cm^3/minuto, com a finalidade de reduzir os níveis de oxigênio da solução. A partir das curvas potenciodinâmicas obtidas para os conjugados, fez-se a extrapolação de Tafel para se determinar o potencial de corrosão (E_{corr}), a corrente de corrosão (i_{corr}), a resistência à polarização (R_p) e a taxa de corrosão (T_C). Para os cálculos desses parâmetros, foram empregados os valores de densidade medidos para cada um dos recobrimentos [10].
Após os ensaios, as soluções resultantes foram analisadas, com a finalidade de se avaliar a dissolução de elementos constituintes do recobrimento e de ferro que seria proveniente do substrato. As superfícies das amostras foram examinadas com o auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de espectrometria em energia dispersiva (EDS). Foi feita, ainda, análise por difratometria de raios-X.

Resultados

Na figura 1, estão apresentadas as curvas de polarização obtidas para os conjugados estudados.
Essas curvas potenciodinâmicas podem ser separadas em quatro grupos. O primeiro grupo, constituído do material do substrato (aço 1020), apresentou um acréscimo contínuo da corrente com o potencial aplicado, isto é, não apresentou sinais de passivação e teve a taxa de corrosão mais elevada. O segundo grupo, representado pelo conjugado dúplex e o conjugado

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

INTERCORR 2008
28° Congresso Brasileiro de Corrosão
2nd International Corrosion Meeting
Mar Hotel, Recife / PE • 12 a 16 de maio de 2008

recoberto apenas com WCCo, apresentou aspecto típico "ativo-passivo-transpassivo", sofrendo passivação por duas vezes, na faixa de potencial estudada. O terceiro grupo, representado pelos conjugados recobertos com NiCrAl e com 50%(WC12Co)50%(NiCr) como depositado, também apresentou comportamento ativo-passivo-transpassivo, mas sofreu uma única passivação na faixa estudada e apresentou correntes inferiores àquelas apresentadas pelo segundo grupo. O quarto grupo, representado pelo conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) e fundido após deposição, comportou-se de modo ativo-passivo-transpassivo, apresentando correntes ainda mais baixas, porém, com uma faixa de passivação bem menor do que aquela obtida para os demais conjugados.
As curvas potenciodinâmicas obtidas para os conjugados recoberto com WCCo e dúplex apresentaram o mesmo comportamento, ocorrendo, até, uma sobreposição dessas curvas. Assim, no que se refere ao formato da curva, o ensaio potenciodinâmico não possibilitou distinguir o comportamento frente à corrosão desses dois conjugados. Porém, de acordo com a tabela 1, que fornece a composição química das soluções de H_2SO_4 utilizadas nos ensaios potenciodinâmicos, pode-se observar, para o conjugado recoberto com WCCo, uma dissolução acentuada do ferro proveniente do substrato e uma dissolução reduzida do cobalto em relação ao conjugado dúplex. Essa dissolução acentuada do ferro observada para o conjugado recoberto com WCCo inicialmente não poderia ser atribuída à formação de um par galvânico entre o cobalto do revestimento e o ferro do substrato já que, devido à baixa porosidade e à ausência de poros interconectados no recobrimento [10], supõe-se que o substrato não se encontrava em contato direto com o eletrólito. Em um segundo momento, a dissolução preferencial do cobalto se deu ocasionando a formação de caminhos para penetração do meio corrosivo até o substrato. Nesse caso, o estabelecimento de um par galvânico pode ter ocorrido, intensificando a dissolução do ferro proveniente do substrato. Estes resultados indicam que uma camada única de WCCo não é eficiente na proteção do substrato quanto à corrosão no meio estudado, uma vez que, com a dissolução, ainda que pequena, do material do recobrimento, o meio já atingiu o substrato começando a danificá-lo. Neste caso, tanto a espessura do recobrimento quanto a forma de corrosão desses recobrimentos são fatores a serem avaliados. Considerando o primeiro fator, quanto mais espessa a camada depositada menor a probabilidade de se ter poros interconectados que atingirão a interface recobrimento/substrato. O segundo fator, corrosão preferencial, como a apresentada pelo recobrimento de WCCo, leva a criação de caminhos ao longo do recobrimento para a penetração do meio corrosivo.

Os resultados apresentados na tabela 1 indicam que a introdução da camada intermediária de NiCrAl ao sistema WCCo/aço levou a uma redução considerável da dissolução do ferro do substrato e a uma dissolução preferencial do cobalto da camada de topo.

A corrosão preferencial do cobalto nos conjugados recoberto com WCCo e dúplex foi comprovada através de análises por EDS do teor de cobalto nas superfícies desses materiais. Tais teores de cobalto apresentaram-se inferiores aos valores observados nos recobrimentos antes da corrosão (≈ 10 a 14% em peso) [10]. As fotomicrografias dos conjugados dúplex e do recoberto com WCCo estão mostradas na figura 2 [11]. Os difratogramas de raios-X dos conjugados recobertos com WCCo e dúplex após o ensaio potenciodinâmico em H_2SO_4 0,5 mol/L não apresentaram alterações com relação ao difratograma obtido para o recobrimento de WCCo como depositado.

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

No conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) no estado como depositado, o níquel foi preferencialmente dissolvido e o teor de ferro encontrado na solução remanescente do ensaio potenciodinâmico é superior aquele obtido para o recobrimento fundido após deposição. Aliás, o conjugado fundido foi o que apresentou menor dissolução de ferro dentre todos os outros conjugados analisados. Considerando que a fusão altera a estrutura do recobrimento levando, principalmente, à redução da sua porosidade, esse resultado pode indicar que, recobrimentos obtidos por aspersão térmica para serem empregados em solicitações químicas agressivas, ou seja, em ambientes muito corrosivos, devem ter sua porosidade modificada.

Uma fotomicrografia da superfície do conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr), no estado como depositado após ser submetido ao ensaio potenciodinâmico, é apresentada na figura 3(A). Não são detectados, nesta superfície, indícios de corrosão localizada Uma comparação entre as análises gerais de EDS antes e após a corrosão, para esse conjugado, indica que o níquel e o cobalto foram preferencialmente dissolvidos sendo que o primeiro teve uma redução mais acentuada no seu teor junto ao recobrimento (aproximadamente 73%) [10]. Esse resultado vai ao encontro com aquele obtido através da análise da solução remanescente do teste potenciodinâmico (tabela 1) onde foi detectada maior dissolução do níquel. Comparando-se o difratograma de raios-X desse conjugado antes e após o ensaio verifica-se que a corrosão levou ao desaparecimento da fase Co_3W_3C. O cobalto dissolvido, indicado na tabela 1, foi provavelmente proveniente dessa fase.

A fotomicrografia apresentada na figura 3(B) mostra que o conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) e fundido após deposição não sofreu corrosão localizada, pois não há nenhuma evidencia da presença de *pites*.

Na análise do difratograma de raios-X obtido após o ensaio potenciodinâmico do conjugado fundido não foi também detectada a presença da fase Co_3W_3C. Esse resultado indica que o cobalto dissolvido (tabela 1), para esse conjugado, foi provavelmente, também, proveniente dessa fase. Comparando-se os difratogramas obtido antes e após o ensaio verifica-se que os picos correspondentes à fase rica em níquel foram menores enquanto que os picos referentes às fases na forma de óxido tiveram suas intensidades aumentadas. A menor intensidade dos picos referentes à fase rica em níquel está de acordo com o resultado encontrado através da análise de composição da solução remanescente do teste potenciodinâmico (tabela 1) onde há indícios de maior dissolução do níquel em comparação com os demais elementos.

Na tabela 2, estão apresentados os valores de potencial de corrosão (E_{corr}), corrente de corrosão (i_{corr}), resistência à polarização (R_p) e taxa de corrosão (T_C), obtidos através da extrapolação de Tafel, para os conjugados em estudo. A taxa de corrosão dos conjugados analisados foi calculada, embora a corrosão dos mesmos não tenha ocorrido de forma homogênea. Assim cuidados devem ser tomados na avaliação da taxa de corrosão desses conjugados. A corrente de corrosão teve o menor valor para o conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) fundido. O conjugado de WCCo apresentou, dentre todos os conjugados estudados, o maior valor de corrente de corrosão. Esse valor foi superior até mesmo ao obtido para o aço sem nenhum recobrimento. Entretanto, dos resultados encontrados para I_{corr} é possível afirmar que ambos os procedimentos, fusão do recobrimento de 50%(WC12Co)50%(NiCr) e adição de uma camada intermediária resistente à corrosão, no caso NiCrAl, ao sistema recobrimento de WCCo/substrato de aço 1020, foram efetivos no que diz respeito à resistência à corrosão em H_2SO_4 0,5 mol/L. O mesmo resultado se aplica a

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

respeito da taxa de corrosão calculada, onde os procedimentos de fusão e adição de uma camada intermediária levaram também à redução da taxa de corrosão.

Conclusões

- O ensaio potenciodinâmico em meio ácido (H_2SO_4 0,5 mol/L) distinguiu, nos conjugados estudados, quatro grupos de comportamento. O primeiro grupo é constituído do material do substrato (aço) e apresentou o mais baixo valor de resistência à polarização, tendo uma elevada taxa de corrosão. O segundo grupo é representado pelos conjugados dúplex e o revestido com WC-Co. O terceiro grupo, que é representado pelos conjugados recobertos com NiCrAl e com 50%(WC12Co)50%(NiCr) no estado como depositado, apresentou correntes inferiores àquelas encontradas para o segundo grupo. O quarto grupo, que é composto pelo conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) e fundido após deposição, apresentou menor valor de corrente de corrosão e maior resistência à polarização.
- O conjugado recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) e fundido após deposição ofereceu melhor proteção ao substrato frente a corrosão em H_2SO_4 0,5 mol/L quando comparado com os demais conjugados avaliados, provavelmente devido à mudança na estrutura do recobrimento, principalmente, à redução da sua porosidade.
- A fusão do recobrimento de 50%(WC12Co)50%(NiCr) e a adição de uma camada intermediária resistente à corrosão, no caso NiCrAl, ao sistema WCCo/substrato de aço 1020, mostraram-se efetivos na melhoria do desempenho frente a corrosão em H_2SO_4 0,5 mol/L do sistema, uma vez que se obteve o menor teor de ferro nas soluções remanescentes nesses conjugados, indicando uma proteção ao substrato.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, à FAPEMIG/MG e à CAPES, pelo auxílio financeiro, e ao CETEC-MG pelo uso do Laboratório de Aspersão Térmica.

Referencias Bibliográficas

1 MOSKOWITZ, L.N., Proceedings of the Thermal Spray Conference & Exposition, Orlando, Florida, USA, p. 611-618, 28 May-5 June, 1992.

2 KALISH, H.S., Corrosion of cemented carbides, In: ASM Handbook, Corrosion, v. 13, 9th Edition, p. 846-858, 1987.

3 GODOY, C., BATISTA, J.C.A., J. Thermal Spray Technology. 8, 531, 1999.

4 LIMA, M.M., GODOY, C., BATISTA, J.C.A., MODENESI, P.J., Materials Science Engineering A. 357, 337, 2003.

5 LIMA, M.M., GODOY, C, MODENESI, P.J., BATISTA, J.C.A.,,DAVISON, A., MATHEWS, A., Surface and Coating Technology. 177–178, 489, 2004.

6 GODOY, C., LIMA, M.M., BATISTA, J.C.A., in: Asociacion Argentina de Materiales SAM (Ed.), Jornadas SAM/Congreso CONAMET/Simposio Materia 2003, San Carlos de Bariloche, Argentina, November 17– 21, p. 596, 2003.

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

7 SHIPWAY, P.H., WIROJANUPATUMP, S., Tribology. Int. 35 , 661, 2002.
8 ASTM, *Standart reference test method for making potenciostatic and potentidynamic anodic polarization measurements.* Norma G-5-94, p.1-11, 1994.
9 CASTRO, M.M.R., *Desenvolvimento e avaliação de filmes cerâmicos, obtidos via método sol-gel, para modificação da reatividade química de substratos metálicos,* Belo Horizonte: Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Escola de Engenharia da UFMG, 2000.
10 LIMA, M.M., *Recobrimentos tribológicos para aplicação em meios mecânica e quimicamente agressivos,* Belo Horizonte: Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Escola de Engenharia da UFMG, 2002.
11 LADEIRA, L. W. A., C*onjugados dúplex de WC-Co/NiCrAl ou NiCr processados por aspersão térmica, para aplicação em meios corrosivos e/ou desgaste,* Belo Horizonte: 265p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Escola de Engenharia da UFMG, 2000.

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

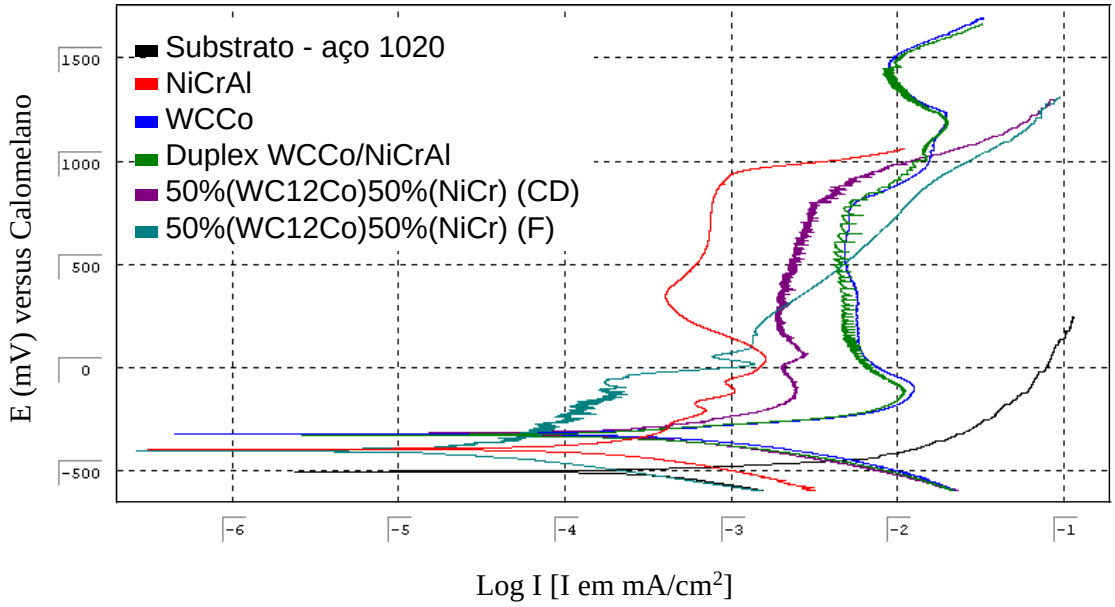
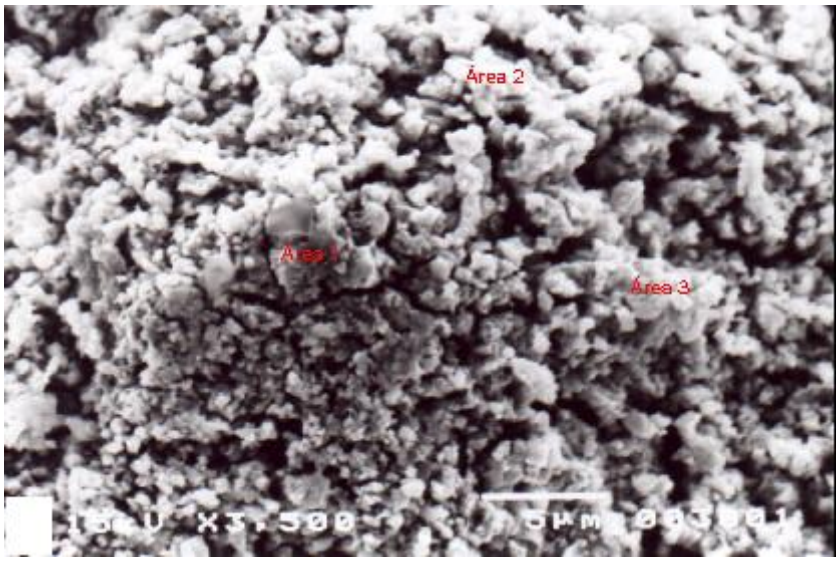
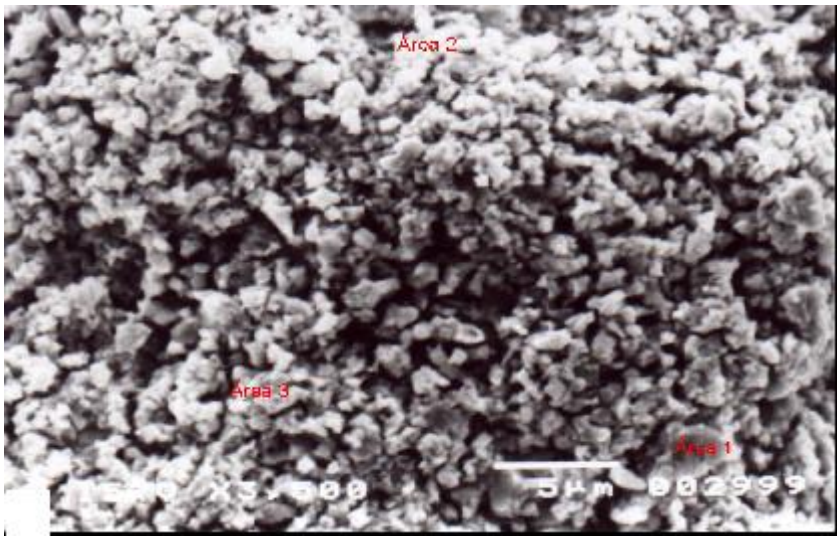


Figura 1 - Curvas de polarização para os conjugados ensaiados em H_2SO_4 0,5 mol/L.

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.



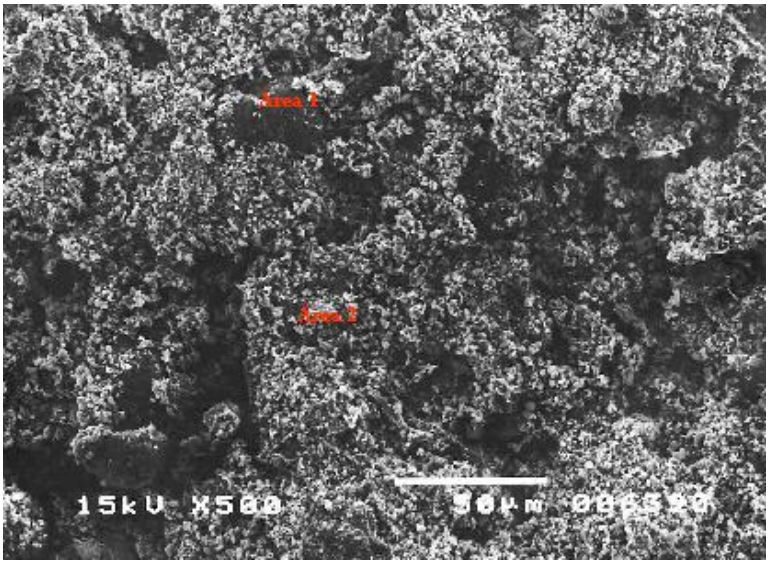
(A)



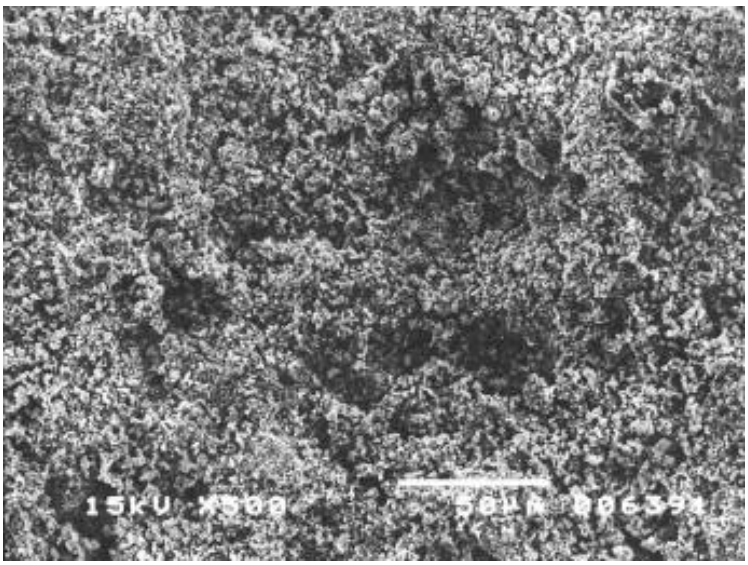
(B)

Figura 2 - Fotomicrografias dos conjugados: (A) recoberto com WCCo e (B) dúplex, após ensaio potenciodinâmico H_2SO_4 0,5 mol/L. Aumento 3500X [11].

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.



(A)



(B)

Figura 3 - Fotomicrografias dos conjugados: (A) recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) no estado como depositado e (B) recoberto com 50%(WC12Co)50%(NiCr) e fundido, após ensaio potenciodinâmico em H_2SO_4 0,5 mol/L. Aumento 500X.

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

Tabela 1 - Composição química das soluções de H_2SO_4 após os ensaios potenciodinâmicos

Conjugados (sistemas)	Composição Química (mg/l)					
	Ni	Cr	Al	W	Co	Fe
Aço 1020	___	___	___	___	___	589,07
NiCrAl	11,53	1,29	1,26	___	___	___
WCCo	___	___	___	___	2,30	486,20
WCCo/NiCrAl	2,55	0,72	___	___	68,77	17,58
50%(WCCo)50%(NiCr) (CD)	67,15	9,55	___	___	8,86	21,63
50%(WCCo)50%(NiCr) (F)	38,54	4,17	___	___	8,82	5,03

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.

Tabela 2 - Parâmetros eletroquímicos obtidos nos ensaios potenciodinâmicos para os conjugados analisados

Conjugados (sistemas)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (mA/cm^2)	R_p ($ohm.cm^2$)	T_C (mm/ano)
Aço 1020	-506,5	0,3718	47,5	4,300
NiCrAl	-397,6	0,0879	168,48	1,054
WCCo	-323,0	0,4462	96,16	2,646
WCCo/NiCrAl	-329,1	0,0893	15,96	0,595
50%(WCCo)50%(NiCr) (CD)	-323,9	0,3103	56,35	2,646
50%(WCCo)50%(NiCr) (F)	-405,8	0,0329	2380	0,341

[1] Doutor, Professor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[2] Doutor – Escola de Engenharia da UFMG, Brasil.
[3] Doutor – TECVAC Ltd, United Kingdom.