

Matheus Antonio Heck Sunny

E-mail: matheusunny@yahoo.com.br

Juliane Vicenzi, Andrei Locatelli, Antônio Takimi, Célia F. Malfatti e Carlos Pérez Bergmann
ESCOLA DE ENGENHARIA / DEPARTAMENTO DE MATERIAIS / UFRGS

1. INTRODUÇÃO

A erosão causada por partículas sólidas em condições extremas (alta dureza e velocidade do corrosivo, carga cíclica e as altas temperaturas) é problemática para equipamentos industriais, como por exemplo para a geração de energia, mineração e transporte pneumático de sólidos. A fim de minimizar os danos causados pelo desgaste erosivo, muitos autores propõem o uso de revestimentos de superfície.

Corpos cerâmicos de alumina sinterizados têm muitas propriedades mecânicas, químicas e tribológicas interessantes. No entanto, revestimentos de alumina aplicados por aspersão térmica (plasma spray) tendem a ter alta porosidade que permanece após a aspersão, prejudicando assim as propriedades mecânicas do revestimento, fornecendo uma baixa resistência ao desgaste. Nesse sentido para melhorar o desempenho contra o desgaste, utilizam-se selantes orgânicos e inorgânicos para preencher assim os poros abertos.

2. OBJETIVO

Este trabalho visa avaliar o efeito do selante inorgânico em revestimento de alumina aplicado por plasma spray contra o desgaste erosivo por partículas sólidas e em meio corrosivo.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 – Plasma Spray:

A alumina (105 NS Metco) foi depositado por plasma em um substrato de aço inoxidável 310, utilizando um equipamento - Sulzer Metco TMB - Metco EUA - sistema com argônio e hidrogênio. Uma camada intermediária de NiAl, aspergidos por flame spray, foi utilizado para melhorar a aderência do revestimento de alumina. A espessura do revestimento de alumina ficou entre 300 e 400µm. Após a deposição, as amostras foram divididas em dois grupos:

i) impregnado com selante inorgânico (AlPO₄ base) e tratados termicamente (denotado AS);

ii) Como aspergida (denotado A).
 O selante inorgânico foi preparado a partir de uma mistura de hidróxido de alumínio (Al(OH)₃) e ácido ortofosfórico (H₃PO₄) diluído em 20% de água deionizada. O Al(OH)₃: relação H₃PO₄ foi 1:4,2 em peso, respectivamente. Posteriormente o selante foi aplicado sobre as amostras com uma pincel durante 3h e, posteriormente, submetidas a tratamento térmico (2h a 100°C, 2h a 200°C e 2h a 400°C, a temperatura de cura. A taxa de aquecimento utilizada foi de 100°C/h).

As amostras do tipo AS e A foram caracterizadas em termos de porosidade total (por análise de imagem), microdureza Vickers (com 300g de carga), composição de fase (por difração de raios-x) e análise microestrutural por MEV/EDS. Após a obtenção dos revestimentos A e AS, estes foram caracterizados por corrosão (curvas de polarização) e resistência ao desgaste erosivo.

3.2 – Avaliação eletroquímica:

O comportamento eletroquímico foi avaliado por potenciais de circuito aberto (OCP), medidas de acompanhamento e de polarização potenciodinâmica em solução 2,5% NaCl (pH6). O aparato experimental utilizado para o estudo eletroquímico foi um potenciostato EG & G PAR273. As curvas de polarização foram obtidas em um intervalo de verificação de -200 mV abaixo do potencial de circuito aberto, a +900 mV acima deste potencial, com uma taxa de varredura de 1 mV/s. Para as medidas eletroquímicas, três eletrodos eletroquímicos foram utilizados, consistindo de um eletrodo de platina, um eletrodo de calomelano saturado e o da amostra (0,626 cm²), como eletrodo de trabalho.

3.3 - Teste de erosão:

O teste de erosão foi realizado em um equipamento de erosão para altas temperaturas, desenvolvido de acordo com a norma ASTM G76. Antes do ensaio, a superfície dos corpos-de-prova foi lixada para a eliminação de irregularidades. A taxa de erosão foi determinada pela perda de volume, considerando a densidade aparente dos revestimentos e descontando o ganho de massa devido à incrustação de partículas erodentes.

Os seguintes parâmetros foram utilizados nos ensaios de erosão: velocidade de 50±1,3m/s; temperaturas de 25°C, 200°C e 400°C; ângulos de incidência de 30°, 60° e 90°. Erodente: alumina irregular eletrofundida (tamanho de partículas 184µm); taxa de alimentação 8,667 g/min, pressão de ar de 10 bar e duração dos testes de erosão 10 min. Após o teste de erosão, a superfície de erosão da AS e da A foram caracterizadas por MEV, para determinar os mecanismos de desgaste.

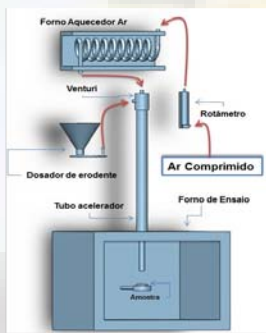


Figura 1: Equipamento utilizado para o teste de erosão segundo a norma ASTM G76:

4. RESULTADOS

Os resultados da caracterização de A e AS são apresentados na Tabela 1.

Propriedades	Revestimento	
	A sem selante	AS com selante
Porosidade (%)	8,1	3,2
Microdureza (HV)	692,2 ± 6	913,9 ± 62,7
Espessura do revestimento (µm)	~370	~370
Penetração do selante (µm)	-	150 (média)
Composição cristalográfica	α-Al ₂ O ₃ , γ-Al ₂ O ₃ , alumina amorfa Óxido de alumínio sódio	α-Al ₂ O ₃ , γ-Al ₂ O ₃ , alumina amorfa Óxido de alumínio sódio e fosfato de alumínio

Tabela 1: Propriedades do revestimento com AS e sem selante A.

A impregnação de selantes inorgânicos promove a diminuição da porosidade (~60%) e aumento da dureza (~25%) dos revestimentos. A dureza dos revestimentos investigados apresentaram valores normais, segundo a literatura, porque essa propriedade depende dos níveis de porosidade e do grau de fusão das partículas do pó.

A morfologia da superfície do revestimento sem selante (A) apresentou um maior número de micro-fissuras termicamente induzidas que atravessam todas as lamelas quando comparado ao revestimento selado (AS), fig. 2 (b) e (d).

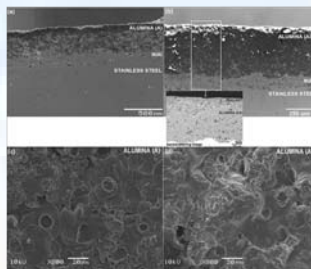


Fig. 2: Micrografias (a) e (b) Seção transversal do revestimento A e AS. (c) e (d) Vista superior de A e AS.

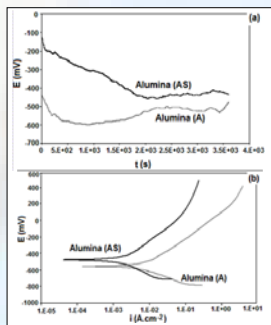


Fig. 3: (a) Diagrama OCP; (b) Curvas de polarização; ambas em solução de 2,5% NaCl

	A sem selante	AS com selante
I _{cor} (A/cm ²)	5,43E-06	1,15E-06
E _{cor} (V)	-0,558	-0,483
R _p (Ohm.cm ²)	5,36E+03	2,27E+04

Tabela 2: Parâmetros obtidos da simulação das linhas de Tafel.

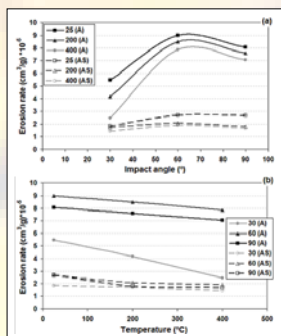
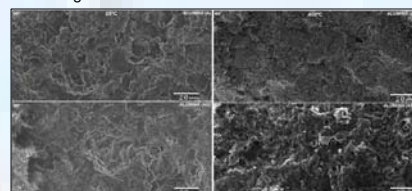


Fig. 4: Taxa de erosão em função do (a) ângulo de impacto de erodente e (b) temperatura.

Fig. 5: Micrografias dos revestimentos de alumina (A) e (AS) após o desgaste a 25°C e 400°C em 90° de angulação. Imagens ampliadas 800 vezes.



Na Fig. 4(a) pode ser observado que a forma das curvas no gráfico é característico de materiais frágeis. Pode-se notar, também, que a taxa de erosão diminuiu para os ângulos de 60° e 90°. Isso provavelmente ocorreu devido ao balanço energético em função da microestrutura e à presença de trincas, que facilitaram a erosão. Na fig. 4(a) e (b) observa-se que com o aumento da temperatura diminuiu-se a taxa de erosão. Isto ocorreu provavelmente porque o aumento da temperatura pode modificar as propriedades mecânicas da alumina (com e sem selante), proporcionando maior absorção de energia elástica durante o impacto e, conseqüentemente, reduzindo a energia disponível anteriormente utilizada para causar o dano. Além disso, os mecanismos de desgaste também podem ser modificados com o aumento da temperatura, como pode ser visto na fig. 5.

À temperatura ambiente, observou-se mais significativamente cantos vivos, pequenas fissuras e pits em ambos os revestimentos, porém no revestimento de alumina sem selante, características mais frágeis puderam ser observadas. Em altas temperaturas, observou-se o arredondamento das bordas após a erosão e há presença de menos trincas superficiais na área desgastada. O revestimento de alumina com selante (AS) apresenta características dúcteis na superfície e com alguns platelets.

5. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas a partir do presente trabalho:

- O selante inorgânico (AlPO₄) mostrou-se eficaz no fechamento dos poros e trincas dos revestimentos aspergidos com alumina e tratados termicamente, diminuindo a porosidade (~60%) e aumentando a dureza (~25%) dos revestimentos.
- A resistência à corrosão do revestimento de alumina foi melhorada com a aplicação do selante e do tratamento térmico.
- A taxa de erosão a baixa e alta temperaturas, foi bastante reduzida pela selagem, provavelmente devido ao aumento da resistência mecânica, aumento na absorção de energia de impacto na região elástica, e da modificação dos mecanismos de desgaste.
- O aumento da temperatura diminuiu a taxa de erosão.
- Na microestrutura foi observada significativamente mais cantos vivos, pequenas trincas e pits em ambos os revestimentos de alumina à temperatura ambiente. Com o aumento da temperatura foi observado o arredondamento das bordas após a erosão e a presença de menos trincas na superfície desgastada.