

APARATO PARA ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE EROSÃO- OXIDAÇÃO DE MATERIAIS METÁLICOS

C.T. Kunioshi, A.L.T. Silva, M.C. Feijão, L.V. Ramanathan

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

C.P. 11049 – Cidade Universitária – CEP. 05422-970 – São Paulo – Brasil

Fax: (011) 3816-9370 – E-mail: kunioshi@net.ipen.br

Resumo

Em vários equipamentos ou máquinas, tais como, turbinas de gás, combustores de leito fluidizado, incineradores, conversores catalíticos a carvão ou a gás, materiais estão sujeitos aos processos erosivos e oxidativos, simultaneamente. E para caracterizar o comportamento da erosão em temperaturas elevadas é preciso observar as condições do processo, como velocidade e ângulo de impacto, tamanho, forma e dureza das partículas erosivas, propriedades mecânicas e físicas do alvo e temperatura. Nos Laboratórios de Corrosão do Departamento de Engenharia de Materiais do IPEN, foi construído um aparato para realizar estudos de erosão-oxidação em temperaturas elevadas. Neste aparato será possível realizar estudos de erosão-oxidação até 900 °C, com velocidade de impacto das partículas abrasivas variando até 15 m/s. Outros parâmetros que podem ser controlados neste aparato são composição, tamanho e forma das partículas, bem como a composição do gás oxidante. Objetiva-se determinar o nível de dano de materiais metálicos e compósitos, em função de parâmetros de erosão-oxidação.

Abstract

In a number of industrial equipment or components such as gas turbine engines, fluidized bed combusters, coal or gas catalytic converters, etc., materials are subject to the conjoint effect of erosion and high temperature corrosion processes. To characterize the high temperature erosion-corrosion behavior of materials it is essential to reproduce process conditions such as temperature, abrasive particle velocity and impact angle, particle size, shape, and hardness as well as the mechanical and physical properties of the target material. An apparatus to conduct high temperature erosion-oxidation investigations has been constructed and put into operation in the Corrosion Laboratories of IPEN. In this apparatus erosion-oxidation measurements can be carried out up to 900°C, with abrasive particle impact velocities of upto 15 m/s. Other parameters that can be controlled in this apparatus are gas composition and particle parameters. This apparatus would enable the erosion/corrosion damage on metallic and

composite materials to be determined. The apparatus is operational and preliminary tests are being carried out to evaluate the erosion-oxidation behavior of metal-ceramic components.

1 Introdução

O processo de erosão por partícula sólida constitui um importante mecanismo de desgaste, e é definido como a remoção de material pelo impacto repetitivo de material particulado, que se move a velocidades maiores que 1,0 m/s, constituindo um importante mecanismo de desgaste observado em uma grande variedade de condições industriais. O comportamento de erosão de vários materiais à temperatura ambiente tem sido muito bem caracterizado, porém em temperaturas elevadas, somente nos últimos vinte anos tem sido objeto de intensas pesquisas. Segundo Roy et al. ^[1], a erosão por partícula sólida em metais e ligas, sob temperaturas elevadas, é resultado de diferentes mecanismos de interação entre erosão e corrosão/oxidação, dependendo da natureza, espessura, adesão e morfologia do óxido formado. De acordo com outros pesquisadores ^[2], os mecanismos de erosão-corrosão/oxidação, como todo processo de desgaste de materiais, dependem de muitos parâmetros como as propriedades das partículas erosivas (tamanho, dureza, forma, velocidade, ângulo de impacto), do alvo (dureza, ductilidade, resistência à corrosão/oxidação) e do ambiente (temperatura, pressão parcial dos gases presentes).

O desgaste de ligas devido a efeitos combinados de erosão e corrosão/oxidação é um problema muito sério, observado em muitos processos industriais, como sistemas de quebra catalítica na separação de óleo e gás, sistemas de conversão de carvão, como combustão sob pressão em leito fluidizado, e em lâminas de turbinas de motores à jato, onde o desgaste erosivo pode ser causado pela ingestão de material particulado ou pelo acúmulo de material resultante do processo de corrosão/oxidação ^[3].

Até o momento, estão disponíveis muitos dados sobre corrosão/oxidação de metais e ligas em temperaturas elevadas. Da mesma forma, muita pesquisa tem sido feita, e existe uma boa compreensão sobre o comportamento de erosão em temperaturas ambientes ^[4]. Entretanto, existem poucos estudos sobre processos combinados de erosão-corrosão/oxidação, sendo que, em alguns deles ^[5-9], os resultados mostram que, quando processos de erosão e corrosão/oxidação ocorrem juntos, existe uma grande interação, ou seja, uma sinergia é observada entre os processos de erosão e corrosão/oxidação. Isto significa que a degradação causada pela erosão-corrosão/oxidação pode ser maior que quando os dois processos operam separadamente. Tem sido citado também que, em alguns casos, a formação de produtos de corrosão/oxidação pode inibir a erosão ^[2], isto é, a velocidade de erosão-corrosão/oxidação

pode ser menor que a velocidade de erosão na ausência da corrosão/oxidação. Estas observações contraditórias significam que os modelos desenvolvidos para erosão por partícula sólida e a corrosão na ausência de erosão não descrevem adequadamente muitos processos de erosão-corrosão/oxidação. Por estas razões, em anos recentes, existe crescente interesse sobre os mecanismos de interação entre os processos de erosão e corrosão, sob atmosferas oxidantes. Procedimentos para combater degradação induzida pelos processos de erosão-corrosão/oxidação não estão disponíveis. Em baixas temperaturas onde corrosão/oxidação não é um problema, podem ser utilizados revestimentos duros. Em temperaturas elevadas estes revestimentos geralmente não têm resistência à corrosão adequada. Revestimentos cerâmicos podem ser uma alternativa para obter ambos, resistência à corrosão/oxidação e à erosão. Até o momento não foram desenvolvidos revestimentos cerâmicos densos e aderentes aos substratos. A falta de adesão é devido, principalmente, à grande diferença entre os coeficientes de expansão térmica do substrato metálico e do revestimento cerâmico. Revestimentos de materiais com gradiente de função (MGF) oferecem potencial como revestimentos em meios agressivos nos quais erosão por partículas sólidas ocorre em condições altamente corrosivas. Variação da fração volumétrica do reforço (partículas de materiais duros como certos tipos de cerâmicas ou intermetálicos) através do revestimento tipo MGF fornece um gradiente de determinadas propriedades e reduz problemas, tais como incompatibilidade dos coeficientes de expansão térmica.

Com o intuito de estudar o comportamento de erosão e erosão-oxidação de diversos materiais em temperaturas elevadas e, em particular, de materiais compósitos com gradiente de função, foi projetado, construído e instalado nos Laboratórios de Corrosão do Departamento de Engenharia de Materiais do IPEN, um aparato para realizar estudos de erosão-oxidação. Este é o primeiro aparato deste tipo existente na América Latina. Este trabalho descreve o sistema desenvolvido, bem como alguns de seus componentes.

2 Materiais e Métodos

2.1 Equipamento

O aparato experimental desenvolvido envolve, basicamente, componentes que possibilitam a simulação de um ambiente, no qual partículas cerâmicas ficam suspensas, formando um leito fluidizado, e os corpos de prova entram em contato com as mesmas, em diferentes condições de impacto, variando-se parâmetros como velocidade e temperatura.

Dessa forma, para simplificar, podemos desmembrar esse aparato em quatro partes. A primeira é responsável pelo fornecimento de ar atmosférico, ou gás, sob diferentes condições de pressão

e fluxo. A segunda consiste de um forno de pré-aquecimento, que eleva a temperatura desse ar, ou gás, a, aproximadamente, 650 °C. O ar é, então, direcionado para o forno de ensaios de erosão-oxidação, no qual é introduzido com uma temperatura mais próxima à que será utilizada durante os experimentos, evitando, assim, problemas de choque térmico e melhor controle de temperatura. A terceira, e mais importante, é composta do forno, no qual serão realizados os ensaios de erosão-oxidação, propriamente ditos. Conforme mencionado anteriormente, em seu interior serão simuladas as condições de erosão-oxidação por meio de um sistema onde os corpos de prova (material a ser testado) entram e saem de um leito fluidizado de partículas abrasivas (figura 1). O gás oxidante (ar ou oxigênio), previamente aquecido, ajudará a criar o leito fluidizado das partículas. As amostras serão fixas em uma haste-suporte e a variação da velocidade de impacto das partículas será obtida através da variação da velocidade rotacional do eixo que controlará a passagem dos mesmos pelo leito fluidizado. Neste aparato será possível realizar estudos de erosão-oxidação até 900°C, com velocidade de impacto das partículas abrasivas variando até 15 m/s. E a quarta parte, consiste de acessórios para tratar o ar, ou gás, que será eliminado do sistema, possivelmente carregando algumas partículas abrasivas. Este aparato foi montado em um painel, conforme figura 2. Outros parâmetros que podem ser controlados neste aparato são: composição, tamanho e forma das partículas, bem como a composição do gás oxidante.

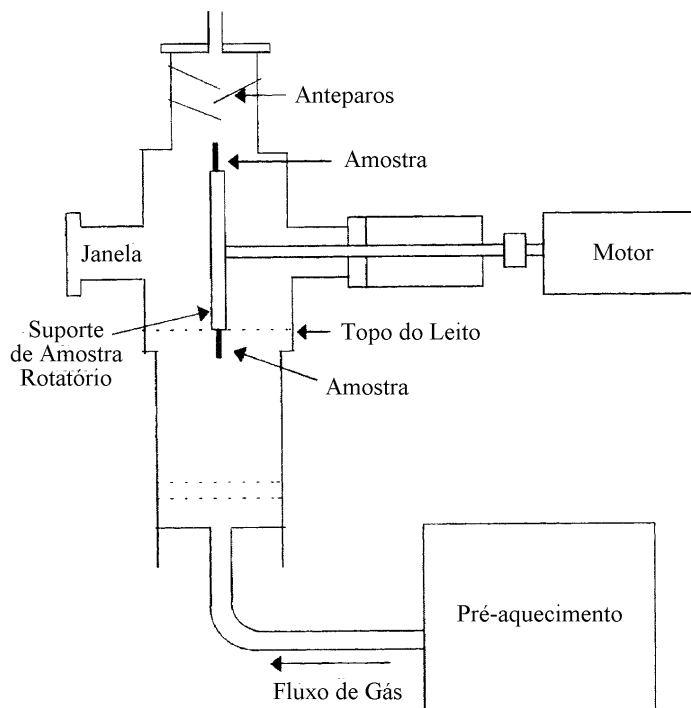


Figura 1. Diagrama esquemático dos ensaios de erosão-oxidação por leito fluidizado.

Em uma primeira etapa do trabalho, foi possível projetar, construir e instalar parte do aparato experimental para a realização dos ensaios de erosão-oxidação, englobando o painel de fixação, os fornos de pré-aquecimento e de ensaios de erosão-oxidação e o sistema de agitação de amostras, juntamente com todo o sistema de controle de aquecimento e funcionamento do motor.

Em uma segunda etapa, foi possível montar o sistema pneumático (tubos, filtros e controladores de fluxo e pressão) e hidráulico (refrigeração) do aparato experimental e fazer a instalação elétrica do painel de controle dos fornos de pré-aquecimento e de ensaios de erosão-oxidação e do sistema de agitação de amostras. O sistema permite que seja acoplado compressores ou cilindros de gases, para a formação do leito fluidizado.

Testes preliminares foram realizados e mostram a boa funcionalidade do sistema, com relação aos controladores das zonas de aquecimento dos fornos, aos fornos propriamente ditos, ao sistema de agitação das amostras, aos compressores, ao sistema pneumático e ao sistema de refrigeração das flanges do forno de ensaio de erosão-oxidação.

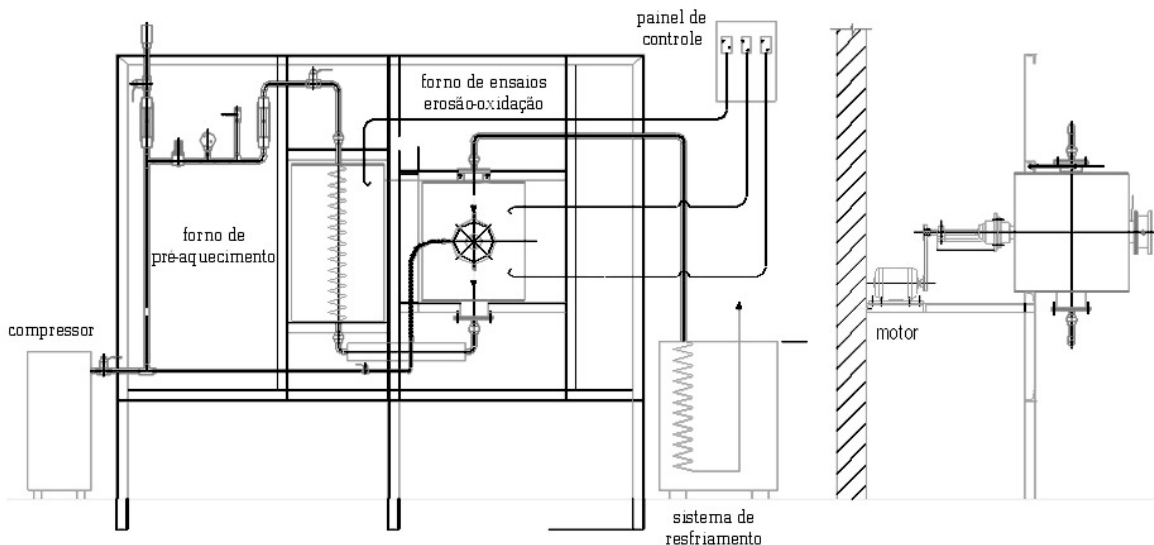


Figura 2. Esquema da montagem do sistema de ensaios de erosão-oxidação.

Para os nossos estudos, as condições experimentais são: (a) as partículas erosivas de alumina eletrofundida de várias faixas granulométricas, (b) o leito fluidizado é proporcionado por ar comprimido, limpo e pressurizado e (c) corpos de prova de Ni-20Cr e compósitos de Ni-20Cr+WC, com e sem gradiente de função, obtidos por duas técnicas, metalurgia do pó e via processo HVOF.

Foi confeccionado, também, um protótipo da retorta do forno de ensaios de erosão-oxidação, com a parte da frente fechada com uma placa de acrílico. Esse protótipo permite visualizar o leito fluidizado e fixar parâmetros experimentais, como pressão e vazão de ar para determinados tamanhos de partícula. Isso se faz necessário, uma vez que não é possível ter certeza da altura do leito fluidizado dentro do forno e se as amostras estão passando por ele, apesar do pequeno visor existente na flange frontal do forno.

A placa porosa utilizada na formação do leito fluidizado de partículas foi confeccionada conforme mostra a figura 3. Foram compactados e sinterizados vários filtros (ϕ 40 mm) de aço inoxidável AISI 310L, com duas faixas granulométricas (150-75 e 75-44 μ m), que são fixadas entre duas placas de aço inoxidável AISI 310.

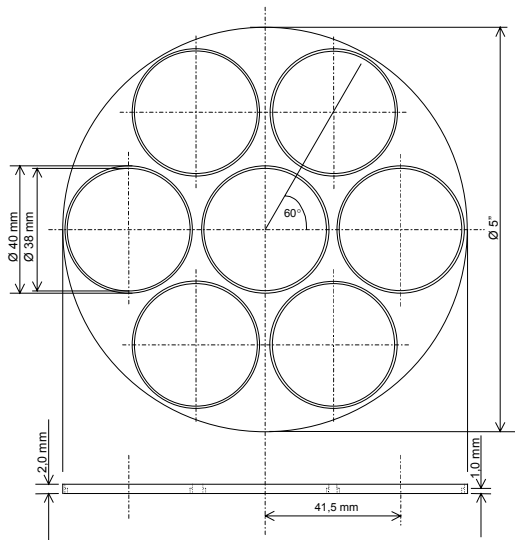


Figura 3. Desenho esquemático das placas que fixarão os filtros de aço inoxidável AISI 310.

A utilização deste aparato, permitirá, então:

1. Avaliar o comportamento de erosão-oxidação de materiais metálicos e compósitos de matriz metálica, em temperaturas até 900°C. Mais especificamente, determinar o nível de dano desses materiais em função de parâmetros de erosão-oxidação.
2. Identificar os diferentes regimes de erosão-oxidação em função da composição e propriedades mecânicas e físicas do material alvo, características e velocidade das partículas abrasivas e temperatura.
3. Baseado nos resultados obtidos, construir mapas de erosão-oxidação em temperaturas elevadas que relacionem velocidade de partículas abrasivas, temperatura e propriedades do material exposto. Mapas, em geral, ajudam na determinação das velocidades mínima e

máxima de erosão-oxidação da matriz ^[10-13]. Com a definição adequada dos eixos, relacionados com determinadas propriedades da liga, o mapa pode ser usado para a seleção de materiais.

3 Conclusões

1. Foi possível projetar, construir e instalar um aparato experimental para a realização de ensaios de erosão-oxidação, onde as condições de ensaio são simuladas através de um sistema onde os corpos de prova sofrem erosão em altas temperaturas ao passar por um leito fluidizado de partículas abrasivas.
2. Os parâmetros experimentais que podem ser controlados neste aparato são: composição, tamanho e forma das partículas, composição do gás oxidante, temperatura e velocidade das partículas.
3. Com a utilização deste aparato será possível avaliar o comportamento de erosão-oxidação de materiais metálicos e compósitos em temperaturas até 900°C e determinar o nível de dano em função dos vários parâmetros experimentais.

4 Referências Bibliográficas

1. **M. ROY; K.K. RAY; G. SUNDARARAJAN**, *Wear*, 217 (1998), 312.
2. **M.M. STACK; S. LEKATOS; F.H. STOTT**, *Tribol. Int.*, 28, 7 (1995), 445.
3. **M.M. STACK; F.H. STOTT; G.C. WOOD**, *Wear*, 162-164 (1993), 706.
4. **P. SHEWMON; G. SUNDARARAJAN**, *Ann. Rev. Mater. Sci.*, 13 (1983), 301.
5. **L.K. IVES**, *J. Eng. Mater. Tech., Trans. ASME*, 99 (1977), 126.
6. **S. BHATTACHARYA; C. HALES; V. HILL**, Tech. Report 'Corrosion-Erosion Behavior of Materials', K.Natesan ed., Oct.1978, Conf. Proc. Fall Meeting, St.Louis, MO, 244.
7. **I.G. WRIGHT; V. NAGARAJAN; R.B. HERCHOEDER**, Tech. Report 'Corrosion-Erosion Behavior of Materials', K. Natesan ed., Oct.1978, Conf. Proc. Fall Meeting, St. Louis, MO.
8. **A.V. LEVY; G. ZAMBELLI**, *Wear*, 68 (1981), 305.
9. **W. TABAKOFF**, *Wear*, 86 (1983), 65.
10. **M.M. STACK, J.G. CHACON-NAVA; M.P. JORDAN**, *Mat. Sci. Tech.*, 12 (1996), 171.
11. **M.M. STACK; D. PEÑA**, *Wear*, 203 (1997), 489.
12. **M.M. STACK; J.G. CHACON-NAVA; F.H. STOTT**, *Mat. Sci. Tech.*, 11 (1995), 1180.
13. **M.M. STACK; Q. SONG-ROEHRLE; F.H. STOTT; G.C. Wood**, *Wear*, 181-183 (1995), 516.