

REVESTIMENTO PARA TUBULAÇÕES DE CALDEIRAS QUE GERAM VAPOR À PARTIR DA QUEIMA DE CARVÃO MINERAL

P. Kessler Campos

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Rua Fonseca Telles 121, Rio de Janeiro, Brasil. CEP: 20940-903

E-mail: pamella.kessler@gmail.com

M. G. Diniz

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do

Rio de Janeiro – UERJ

S. A. Martins

Universidade Estadual da Zona Oeste - UEZO

B. R. Cardoso

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

RESUMO

*Usinas termoelétricas brasileiras utilizam a combustão pulverizada de carvão mineral em suas caldeiras. Os tubos que compõem a parede d'água das caldeiras estão expostos a altas temperaturas e à particulados de carvão, resultantes da queima incompleta do mesmo, sofrendo assim um desgaste acentuado capaz de reduzir a espessura dos tubos e, por consequência, aumentar a frequência de perfurações causando a indisponibilidade da unidade. O objetivo é desenvolver e caracterizar um revestimento feito de adesivo cerâmico refratário inorgânico e fibra de carbono para as tubulações de aço submetidas ao impacto destas partículas resultantes da queima incompleta de carvão em caldeiras de usinas termoelétricas que utilizam carvão mineral brasileiro. Foram realizados ensaios preliminares de aderência com resultados promissores. Serão realizados testes de estabilidade térmica e mecânica apenas da resina cerâmica, testes para o desgaste por abrasão para o conjunto resina – fibra de carbono, tração a frio e a quente e técnicas de caracterização que incluem análise macroscópica, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. **Palavras-chave:** revestimentos, desgaste, caldeiras.*

INTRODUÇÃO

A geração é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores^[1]. A geração de energia elétrica no setor elétrico brasileiro é predominantemente proveniente da geração hidráulica, porém cerca de 28% da capacidade instalada provém da geração termoelétrica^[2]. Desta parcela a geração termoelétrica utilizando carvão mineral corresponde a cerca de 9% da capacidade instalada no país. Trata-se de vinte e duas plantas com uma capacidade instalada de cerca de 3.600MW^[3]. Os depósitos de carvão do Brasil situam-se nos Estados de Paraná, Santa Catarina e Rio G. do Sul, totalizando 32,3 bilhões de toneladas. Distribuem-se em oito grandes jazidas, sete das quais no Rio Grande do Sul e uma em Santa Catarina. Cerca de 90% das reservas de carvão mineral localizam-se no Rio Grande do Sul^[4]. O ambiente em que foram formados os carvões brasileiros determinou suas características e possíveis aplicações nos dias de hoje e resultou em um mineral com alto teor de cinzas, sílica, enxofre e ferro, isto é, um alto conteúdo de impurezas (teor de cinzas em torno de 40 e 60% e de enxofre geralmente entre 0, 5 e 8, 0%) e um baixo poder calorífico (normalmente entre 2.700 e 5.000 kcal/kg). As usinas termoelétricas brasileiras que empregam o carvão mineral como fonte térmica utilizam a tecnologia de combustão pulverizada em caldeira. O carvão é processado até a granulometria adequada e injetado por meio de queimadores na caldeira^[3]. O baixo poder calorífico dos carvões brasileiros requer um volume de carvão elevado para a obtenção das condições adequadas de temperatura na caldeira. O calor liberado na queima do carvão é transferido à água que circula nos tubos que envolvem a fornalha da caldeira, transformando-a em vapor superaquecido. Os tubos que formam o que se denomina "parede d'água" nos quais circula a água que se transformará no vapor que movimentará a turbina, estão sujeitos a alta temperatura, ambiente agressivo e a erosão causada pelos fluxos de gases e particulados resultantes da queima do carvão. Do ponto de vista de materiais, considerando-se o alto percentual de cinzas presentes no carvão brasileiro as partes metálicas do interior da caldeira e, em especial, os tubos da parede d'água sofrem desgaste acentuado em função da composição das cinzas. Esse processo de ataque às superfícies metálicas, potencialmente, é capaz de reduzir a espessura dos tubos e, por consequência, aumentar a frequência de

ocorrência de perfurações causando a indisponibilidade da unidade. O procedimento de reparo dos tubos internos das caldeiras é trabalhoso e acarreta longos tempos de paralisação em função da necessidade de resfriamento da unidade. A indisponibilidade da caldeira acarreta perdas substanciais às geradoras por lucros cessantes. Na impossibilidade de modificar o projeto da caldeira (queima do carvão, fluxo de gases, posicionamento dos queimadores, etc.) uma forma de minimizar as ocorrências causadas pelo desgaste dos tubos é a investigação detalhada do desgaste nas paredes das tubulações causado pelo impacto de partículas presentes nas cinzas do carvão mineral queimado e a pesquisa de revestimentos metálicos ou compósitos nas regiões críticas da caldeira. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver e caracterizar um revestimento feito de material composto pelo sistema aço - adesivo cerâmico refratário inorgânico e um tecido de carbono, para as tubulações de aço submetidas ao impacto de partículas de carvão resultantes da combustão incompleta do mesmo, em caldeiras utilizadas em termoelétricas que utilizam carvão mineral brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes iniciais utilizaram um revestimento composto por uma chapa de aço carbono com composição química semelhante ao aço carbono que se utiliza para a confecção dos tubos da parede d'água das caldeiras brasileiras ($\approx 0,2\%C$), adesivo cerâmico refratário resistente a altas temperaturas Three Bond e tecido de carbono com trama bidirecional designação RC 200T/1270. O conjunto resina e fibra de carbono foi colocado sobre a chapa de aço carbono previamente preparada (lixada com lixa metalográfica 600 e limpa com acetona) segundo dois esquemas distintos de preparação. Num dos esquemas inicialmente foi depositada uma camada do adesivo cerâmico e sobre a mesma foi disposta uma camada de tecido de carbono. O procedimento foi realizado uma segunda vez e para a sua finalização, uma camada de adesivo cerâmico. A Fig. 1 apresenta a disposição dos materiais para a formação dos dois esquemas de revestimento. Após a montagem, as amostras revestidas com ambos os esquemas passaram por um aquecimento durante 45 minutos a temperatura de 150°C em forno em forno EDG 1800 3PS.

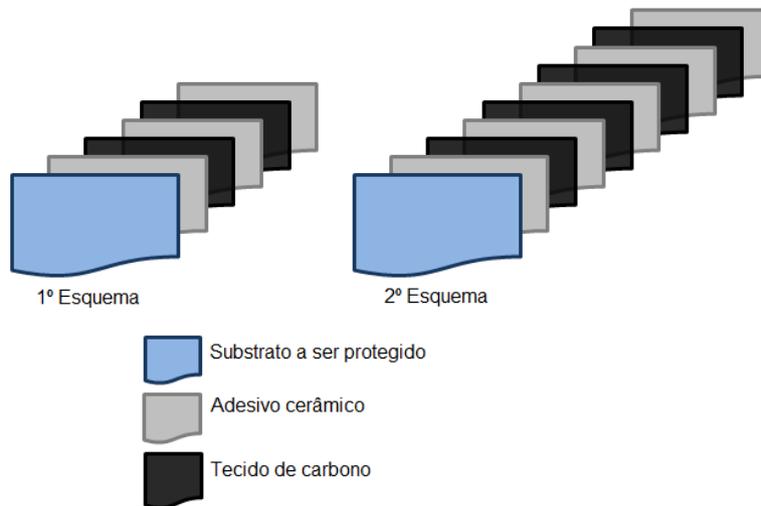


Fig. 1: Montagem esquemática dos dois esquemas de revestimento propostos para tubulação da parede d'água de caldeiras termelétricas.

Testes de aderência foram realizados sobre o conjunto segundo a norma ASTM 4541^[5] que estabelece requisitos técnicos mínimos para o ensaio de aderência (*Pull-Off*). Foi utilizado o equipamento *Positest AT-A: Automatic Adhesion tester* da Defelsko. Ensaios foram inicialmente feitos apenas no substrato recoberto com adesivo cerâmico e, posteriormente, nos conjuntos, conforme Fig.1.



Fig. 2: Montagem do ensaio de *Pull-Off* segundo a norma ASTM 4541^[5].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de aderência realizado no substrato revestido apenas com uma camada de adesivo cerâmico apresentou força de ligação média de 25 MPa. A natureza da força foi coesiva B. Isto significa que o adesivo cerâmico de fato aderiu à superfície do substrato de um modo considerado estável pela norma ASTM

4541^[5]. A Fig. 3 apresenta os aspectos obtidos para a superfície do aço revestido apenas com a resina adesiva cerâmica e após o testes de adesão. A finalidade destes testes foi verificar o comportamento do sistema aço – resina de um modo individual, sem a influência da fibra de carbono.

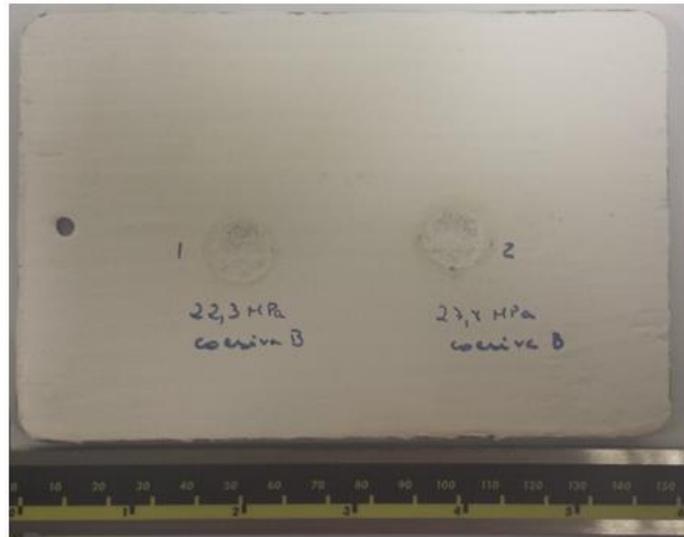


Fig. 3: Aspectos obtidos do teste de aderência para o substrato com apenas a primeira camada de adesivo cerâmico. Observou-se a natureza da falha Coesiva B.

Com o sucesso do sistema individual aço-resina, seguiram-se os testes de adesão sobre os revestimentos esquematizados na Fig. 1. O esquema com duas camadas de tecido de carbono apresentou uma força média de aderência de 1,27 MPa (1 MPa – carretel 1 e 1,54 MPa – carretel 2) e natureza de falha tipo C – coesiva da última camada. O esquema com quatro camadas de tecido de carbono apresentou força média de aderência de 1,93 MPa (1,66 MPa – carretel 1 e 2,20 MPa – carretel 2) e natureza de falha tipo C – coesiva da última camada. Os resultados foram parecidos para ambos os esquemas. As Figuras 4 e 5 apresentam os aspectos obtidos para ambos os esquemas testados e as respectivas aparências de falha tipo C, conforme ASTM 4541^[5].

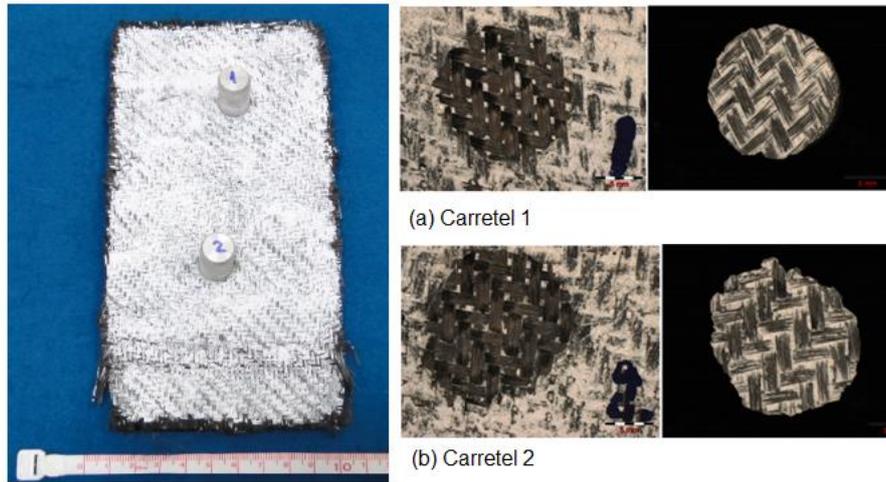


Fig. 4: Resultado do primeiro esquema de montagem do revestimento de proteção. Natureza da falha tipo C.

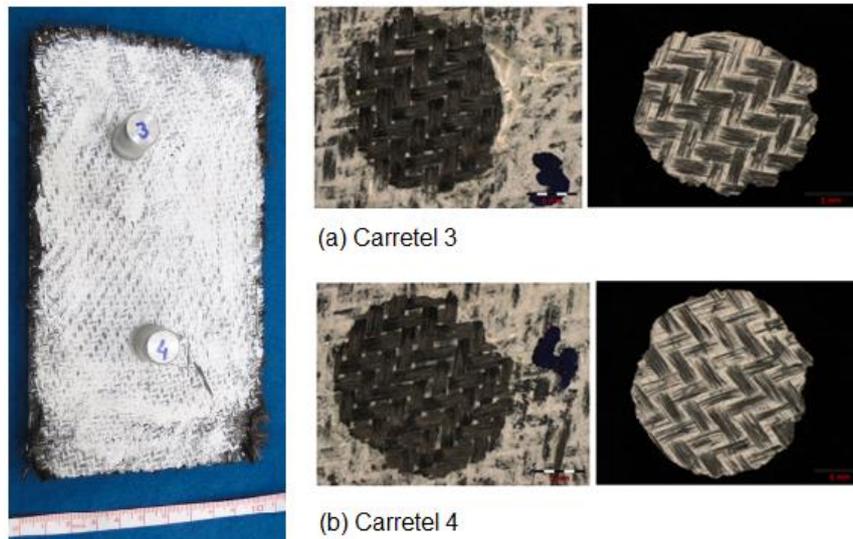
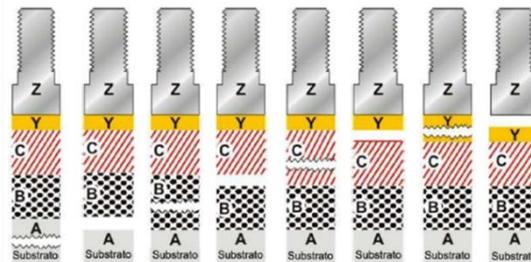


Fig. 5: Resultado do segundo esquema de montagem do revestimento de proteção. Natureza da falha: tipo C.

CONCLUSÃO

Os ensaios preliminares de aderência apresentaram natureza de falha semelhante para todos os esquemas propostos: falha coesiva tipo C. Segundo a norma ASTM 4541^[5], essa natureza de falha é desejável, pois a falha coesiva indica que caso algum dano seja causado ao revestimento, este não irá desprender-se do substrato (força de natureza adesiva) e o mesmo ficará protegido. A Fig. 5 apresenta

uma descrição dos tipos de falhas de aderência que podem ser observados em ensaio de adesão.



Descrição das Falhas de Aderência.

Classificação	Natureza da Falha de Aderência
A	falha coesiva do substrato
A/B	falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento
B	falha coesiva da segunda camada
B/C	falha adesiva entre as camadas B e C
C	falha coesiva da camada C
C/D	falha adesiva entre as camadas C e D
D	falha coesiva da camada D
D/Y	falha adesiva entre a última camada de tinta e o adesivo
Y	falha coesiva do adesivo
Y/Z	falha adesiva entre o adesivo e o carretel (<i>dolly</i>)

Fig. 6: Quadro de análise de falhas. Extraído da Norma ASTM 4541^[5].

AGRADECIMENTOS

Ao grupo CEPEL pelo apoio financeiro (bolsa de mestrado) e suporte laboratorial. À Cristina da Costa Amorim, integrante do Departamento de Tecnologias Especiais – DTE do CEPEL pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

1. Visão geral do setor elétrico – ABRADÉE: Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica. Disponível em <http://abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>. Acessado em 30/05/2016.
2. Banco de Informações de Geração – Capacidade de geração do Brasil – ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; 4º Trimestre de 2015. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acessado em 30/05/2016.

3. Matriz energética brasileira – ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; 4º Trimestre de 2015. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> . Acessado em 30/05/2016.
4. TOLMASQUIM, M.T. Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão mineral e nuclear. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Páginas 217 – 313.
5. Norma *ASTM 4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*.

PIPES COATINGS FOR BOILER THAT GENERATE STEAM FROM MINERAL COAL BURNING

ABSTRACT

Brazilian power plants use pulverized combustion of coal method in their boilers. The tubes which compose the water wall boilers are exposed to high temperatures and carbon particles resulting from the incomplete combustion of the coal. This attack can reduce the thickness of the tubes and therefore increasing the frequency perforations causing the unavailability of the unit. This study aims to develop and characterize a coating made of inorganic refractory ceramic adhesive and carbon fiber for steel pipes subjected to the impact of these particles resulting from incomplete burning of coal in power plants boilers using Brazilian coal. Adhesion, abrasion and tensile tests will be performed, besides characterization techniques including macroscopic analysis, optical microscopy, scanning electron microscopy.

Key-words: *coatings, erosion, boiler chamber.*