

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).

Avaliação de Falhas em Revestimentos Anticorrosivos via Termografia Ativa

Marcella Grosso^a, Marcos P. V. de Souza^b, João M. A. Rebello^c, Isabel C. P. Margarit-Mattos^c,
Gabriela R. Pereira^c, Sérgio D. Soares^d

Abstract

Thermography is a non destructive technique that maps the heating distribution on a material's surface. The advantages of the technique are the velocity and efficiency in superficial and internal defects detection, in addition to the fact that no specific treatment of the surface is needed due to its contact-free nature. The purpose of the present paper is to verify the possibility of using the infrared thermography as a non destructive technique in the inspection of the following organic coating defects: blistering, lack of adherence and undercoating corrosion. For the experimental procedure, thermography has been applied using the active approach; the Pulsed Thermography technique. The sample was submitted to a ten seconds thermal pulse, emitted by halogen lamps. Analyzing the originals thermographic images, all the three kinds of defects were detected. Samples with defects simulating localized corrosion were prepared with holes of six different dimensions. In some samples the holes were filled with iron oxide, simulating corrosion product. The results had shown the method capacity to detect and dimension corrosion flaws on organic coatings, including composite materials widely used in extreme conditions of the oil industry.

Keywords: thermography, coating, composite, inspection, corrosion.

Resumo

A termografia é uma técnica não destrutiva que mapeia a distribuição de temperaturas na superfície do material. As vantagens desta técnica são rapidez e eficiência na inspeção, detecção de descontinuidades subsuperficiais e internas além de dispensar preparo da superfície para uma grande variedade de materiais por ser uma técnica sem contato. O objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade da utilização da termografia como ensaio não destrutivo na inspeção de defeitos em revestimentos anticorrosivos, a saber: empolamento, perda de aderência e corrosão localizada sob a camada de revestimento. Nos ensaios foi adotada a modalidade de termografia ativa pulsada. As amostras foram submetidas a excitação térmica de 10 s oriundas de lâmpadas halógenas. Pela análise das imagens termográficas originais é possível detectar os três tipos de defeito. Amostras simulando corrosão localizada foram confeccionadas com seis furos de dimensões diferentes. Em algumas amostras, os furos foram preenchidos com óxido de ferro simulando produto de

^a Engenheira Metalúrgica – Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem (LNDC) - COPPE

^b Engenheiro Metalúrgico - Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem (LNDC) - COPPE

^c Dr. Professor Universitário- Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem (LNDC) – COPPE

^d D. Sc, Engenheiro Mecânico – CENPES/PETROBRAS

corrosão. Os resultados mostram que a metodologia proposta é capaz de detectar e dimensionar defeitos de corrosão em revestimentos orgânicos, inclusive revestimentos compósitos, que vêm sendo especificados para condições de extrema agressividade na indústria do petróleo.

Palavras-chave: Termografia, Revestimento, Compósitos, Inspeção, Corrosão.

Introdução

Sabe-se que a corrosão é um processo espontâneo e indesejável visto que a sua causa está relacionada ao fato dos metais apresentarem uma condição termodinamicamente instável e mudarem para uma condição estável pela formação de óxidos, hidróxidos, sais, etc. (1,2). Para evitá-la ou até mesmo controlá-la, dispõe-se de vários métodos, entre os quais esta a aplicação de revestimentos orgânicos anticorrosivos.

Por apresentar um ambiente muito corrosivo, a indústria do petróleo requer cada vez mais a utilização de revestimentos de altíssimo desempenho em seus equipamentos. As razões principais para a utilização destes revestimentos são: aumento dos intervalos de tempo entre paradas para manutenção, maior resistência a condições severas de alta temperatura e contato prolongado com petroquímicos e a minimização da utilização de materiais nobres (aço super duplex), substituindo-os por materiais de baixo custo (aço carbono), que quando revestidos talvez possam apresentar tempo de vida útil semelhante.

Devido ao seu envelhecimento e presença de defeitos, a utilização de revestimentos não impede totalmente a ocorrência de corrosão. Os principais defeitos decorrentes da deterioração dos revestimentos anticorrosivos são: empolamento, perda de aderência e corrosão localizada no substrato sob a camada de revestimento. A utilização de técnicas não destrutivas para o controle e monitoração da deterioração de revestimento apresenta grande interesse tecnológico.

Para o presente trabalho foi utilizada como técnica não destrutiva a termografia ativa pulsada, na qual é utilizada uma fonte externa de calor para a excitação do objeto inspecionado através de um pulso de calor bem definido no tempo (3). Com isso, este trabalho visa avaliar a capacidade da termografia ativa na detecção e dimensionamento dos principais defeitos encontrados na vida prática de utilização de revestimentos orgânicos anticorrosivos na indústria do petróleo.

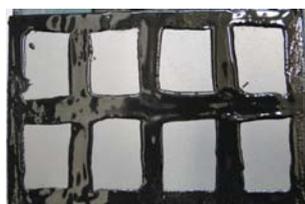
Metodologia

Para avaliar a capacidade da termografia ativa de detecção de defeitos em revestimentos anticorrosivos foram utilizados cinco corpos de prova, que possuam: falha de aderência entre o substrato e o revestimento, corrosão localizada abaixo da camada de revestimento e empolamento. As falhas de aderência e a corrosão localizada foram simuladas pela preparação de amostras conforme se descreve a seguir.

A aplicação dos revestimentos foi feita com um pincel através uma fina camada sobre uma placa de aço carbono (150 mm x 100 mm x 4.7 mm) utilizada como substrato e acima desta camada foi fixada uma película seca do próprio revestimento. No caso do defeito de falha de aderência, o revestimento foi aplicado conforme mostrado na figura 1 de modo que ao fixar a película seca não houve aderência nas áreas claras. Para os corpos de prova com defeitos simulando a corrosão localizada, foram realizados seis furos, sendo cada furo de diâmetro e profundidade conhecidos a fim de simular diferentes graus de corrosão no aço abaixo da camada de revestimento e, assim, na aplicação do revestimento por pincel, foi evitado à área dos furos. Em um dos corpos de prova simulando a corrosão localizada, a região dos furos foi preenchida com produto de corrosão. O aspecto dessas amostras pode ser visto nas Figuras 3,4 e 5. A tabela 1 apresenta as principais especificações relacionadas aos corpos de prova utilizados nesse estudo.

Tabela 1- Especificações dos corpos de prova.

| Corpo de prova | Revestimento | Composição | Defeito Simulado |
|----------------|--------------|---|--|
| CP1 | A | Composto de Polímero/Cerâmica. Resina epóxi modificada de dois componentes em reação com um agente de cura cicloalifático de amina com reforços de cerâmicas. | Falha de aderência (Figura 1) |
| CP2 | B | Composto de resina epóxi novolac reforçado com carga de flocos de vidro. | Empolamento oriundo de ensaios de corrosão em autoclave (Figura 2) |
| CP3 | C | Sistema bicomponente de resinas epóxi multifuncionais aditivadas com escamas de vidro. Agente de cura: poliamida modificada | Corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento (Figura 3) |
| CP4 | | | Corrosão localizada no substrato com presença de produto de corrosão abaixo da camada de revestimento (Figura 4) |
| CP5 | D | Resina epóxi modificada multifuncional com agente de cura modificado aminocicloalifático com reforços minerais modificados. | Corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento (Figura 5) |



(a)



(b)

Figura 1 – Imagem do CP1 (a) modo de aplicação do revestimento simulando o defeito de falha de aderência e (b) corpo de prova finalizado após a aplicação da película do revestimento.

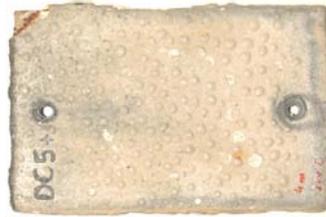


Figura 2 – Imagem do CP2 com os defeitos de empolamento.



(a)



(b)

Figura 3 – Imagem do CP3 (a) modo de aplicação do revestimento e posicionamento dos defeitos e (b) corpo de prova finalizado após a aplicação da película de revestimento.



(a)



(b)

Figura 4 – Imagem do CP4 (a) modo de aplicação do revestimento, posicionamento dos defeitos e adição de produto de corrosão nos defeitos e (b) corpo de prova finalizado após a aplicação da película de revestimento.



(a)



(b)

Figura 5 – Imagem do CP5 (a) modo de aplicação do revestimento e posicionamento dos defeitos e (b) corpo de prova finalizado após a aplicação da película de revestimento.

Inicialmente foi coletada uma sequência de imagens ao longo de 1s de cada corpo de prova antes da excitação térmica. Em seguida, os corpos de prova foram estimulados termicamente durante 10 s através de um conjunto de lâmpadas halógenas de 3 KW pelo método de reflexão, no qual a câmera e o excitador térmico ficam do mesmo lado dos defeitos das amostras. Após a excitação térmica, foi coletada durante 30 s a uma taxa de 30 Hz uma sequência de imagens radiométricas, através de uma câmera termográfica. Um computador ficou responsável pelo armazenamento das imagens e pelo processamento de dados.

Nos corpos de prova simulando os defeitos de corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento, foi desenvolvida uma metodologia de pós-processamento de análise

das imagens termográficas pelo contraste térmico. Essa metodologia foi realizada através da subtração da imagem antes do ensaio da imagem de melhor contraste obtida após a excitação térmica. Com isso, buscou-se obter uma imagem que apresentasse a menor influência possível do ambiente externo sobre o ensaio e atenuação dos ruídos. Também foi realizada a segmentação das imagens obtidas da metodologia de contraste térmico e de posse da imagem segmentada, foram dimensionados os defeitos e os valores obtidos com este procedimento foram comparados com os valores reais dos defeitos a fim de avaliar o erro experimental da técnica de termografia ativa.

Resultados e discussão

Pela análise das imagens termográficas obtidas para os cinco corpos de prova analisados, a termografia ativa pulsada foi capaz de detectar todos os defeitos simulados, sendo eles: falha de aderência, empolamento e corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento. As figuras 6 a 11 apresentam as imagens termográficas de melhor contraste entre os defeitos e a região não defeituosa para cada corpo de prova inspecionado.

A figura 6 apresenta a imagem termográfica para o CP1. Pela análise da figura, é possível detectar claramente a região do corpo de prova onde foi simulada a falha de aderência, região esta que aparece na imagem com o tom de alaranjado.

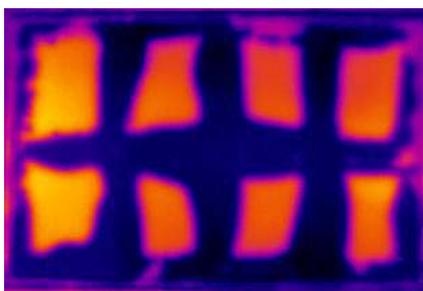


Figura 6 – Imagem termográfica obtida para o CP1, com falha de aderência.

A figura 7 apresenta a imagem termográfica para o CP2. Inicialmente este corpo de prova foi submetido a ensaios de corrosão em autoclave, ensaios estes que ocasionaram defeitos de empolamento na superfície do corpo de prova que podiam ser vistos apenas por uma inspeção visual. Contudo, finalizados estes ensaios, o corpo de prova foi inspecionado pela termografia ativa sendo possível observar claramente e com um alto contraste na imagem a região dos empolamentos.

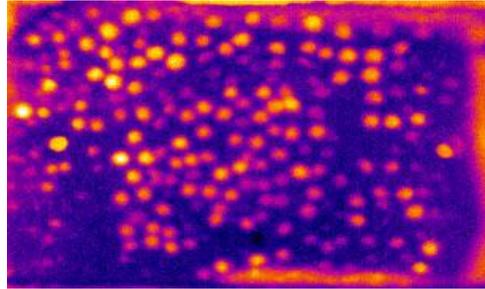


Figura 7 – Imagem termográfica obtida para o CP2, com empolamento na superfície do revestimento.

A figura 8 apresenta a imagem termográfica obtida para o CP3, sendo a figura 8 (a) referente a imagem termográfica de melhor contraste, a figura 8 (b) a imagem segmentada e a figura 8 (c) a imagem segmentada em três dimensões. Pela análise da imagem termográfica, todos os seis defeitos foram detectados. Também houve a detecção de manchas nas imagens provavelmente resultantes do processo de preparação da amostra. Devido a rigidez do filme que foi colado na superfície, pode ter ficado um pouco de ar na interface com o metal.

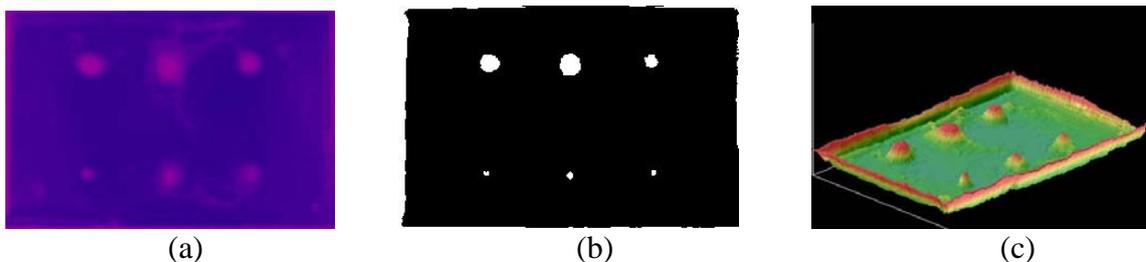


Figura 8- Imagem de melhor contraste obtida para o CP3, no qual foram simulados defeitos de corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento.

A figura 9 apresenta as imagens obtidas para o CP4. Neste corpo de prova, os furos foram preenchidos com óxido de ferro, simulando desta forma a presença de produto de corrosão. Como pode ser observado na imagem, os defeitos maiores foram detectados mesmo preenchidos com produto de corrosão, contudo a presença de uma região clara no local onde foram simulados os defeitos menores comprometeu a detecção destes. Essa região mais clara se refere ao mesmo tipo de problema já comentado na Figura 8.

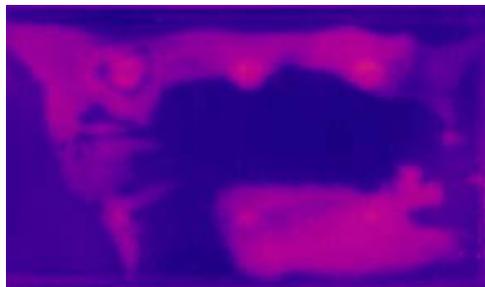


Figura 9 – Imagem de melhor contraste obtida para o CP4, no qual foi simulado defeitos de corrosão localizada com produto de corrosão no substrato abaixo da camada de revestimento.

A figura 10 apresenta a imagem termográfica para o CP5, sendo a figura 10 (a) referente a imagem termográfica de melhor contraste, a figura 10 (b) a imagem segmentada e a figura 10 (c) a imagem segmentada em três dimensões. Como pode ser observado na imagem, todos os seis defeitos simulados foram detectados. Além dos defeitos simulados, novamente foram detectados regiões claras na imagem.

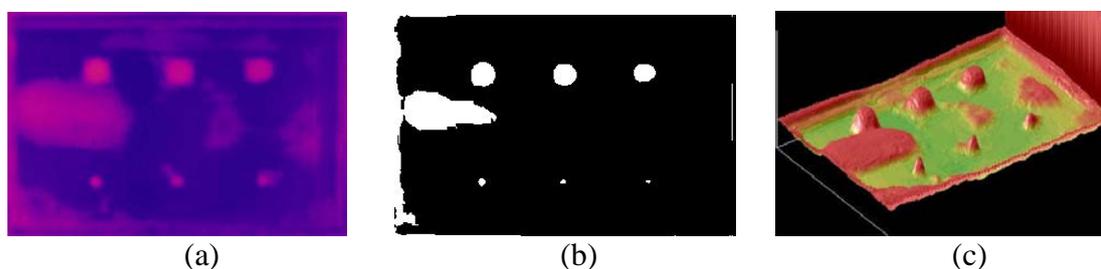


Figura 11 – Imagem de melhor contraste obtida para o CP5, no qual foi simulado defeitos de corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento.

A figura 11 (a) apresenta a imagem termográfica para o CP5 com a detecção dos defeitos simulados. A figura 11 (b) apresenta a imagem segmentada e a figura 11 (c) apresenta a imagem segmentada em três dimensões. Na figura 11 (b) foi dimensionado o diâmetro das áreas brancas que representam os defeitos e os valores obtidos foram comparados aos valores reais dos furos realizados para a simulação do defeito.

A tabela 2 apresenta os valores referentes aos erros de dimensionamento obtidos nos CP1 e CP2. Os erros foram expressos na forma de média, uma vez que em cada corpo de prova havia três defeitos do mesmo diâmetro e para facilitar a análise, foi feita uma média dos valores de cada defeito em relação ao seu diâmetro.

Tabela 2 – Erro de dimensionamento

| Tamanho real dos defeitos (mm) | Média do erro de dimensionamento (mm) | |
|--------------------------------|---------------------------------------|------|
| | CP1 | CP2 |
| 5 | 1,96 | 1,39 |
| 11 | 4,19 | 8,86 |

O erro obtido de dimensionamento dos defeitos menores (defeitos de 5 mm de diâmetro) foi em média de 1,6 mm de sobredimensionamento ao passo que para os defeitos maiores (defeitos de 10 mm de diâmetro) o erro obtido foi de 4,2 mm de sobredimensionamento. Este resultado referente ao erro de dimensionamento dos defeitos maiores ser maior do que o erro do dimensionamento dos defeitos menores já era esperado, uma vez que a escolha do limiar utilizado para a segmentação foi baseado nos defeitos menores, defeitos estes mais críticos de detecção do que os defeitos maiores.

Conclusões

A avaliação de uma técnica capaz de detectar defeitos que ocorrem com frequência na aplicação de revestimentos anticorrosivos é de extrema importância, uma vez que a grande

parte destes defeitos não pode ser observada por inspeção visual. Para o presente trabalho, foi escolhida a termografia como a técnica a ser estudada para avaliação dos três tipos de defeitos mais comuns: empolamento, falha de aderência do revestimento e corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento.

Diante dos resultados obtidos, a técnica de termografia foi capaz de detectar com facilidade os três tipos de defeitos simulados. O defeito de empolamento era visualizado simplesmente por uma inspeção visual, contudo, a imagem termográfica poderá ser utilizada em locais de difícil acesso. O defeito simulando a falha de aderência foi detectado somente pela imagem termográfica obtida do ensaio, uma vez que tal defeito não era possível de observação por inspeção visual. Em relação aos defeitos simulando a corrosão localizada abaixo da camada de revestimento, a termografia foi capaz de detectar defeitos deste tipo de até 5 mm de diâmetro e com uma profundidade de perda de espessura de até 2,8 mm. Na amostra que continha produto de corrosão preenchendo os defeitos, a termografia também foi capaz de detectá-los.

Nos corpos de prova simulando defeitos de corrosão localizada no substrato abaixo da camada de revestimento, foi desenvolvida uma metodologia de pós-processamento para análise das imagens por contraste térmico. O resultado obtido apresentou melhorias na qualidade das imagens pela atenuação dos ruídos e melhor delimitação dos contornos dos defeitos, facilitando a interpretação dos resultados e tornando-os mais confiáveis. Outra metodologia de pós-processamento utilizada nas imagens de contraste térmico foi a segmentação desta imagem para o posterior dimensionamento dos defeitos. O erro obtido para os defeitos menores de 5 mm foi em média de 1,6 mm de sobredimensionamento enquanto que os defeitos maiores, a média de erro encontrada foi bem maior, resultado este que já era esperado, uma vez que o limiar utilizado para a segmentação foi baseado no defeito mais crítico, ou seja, o defeito de menor diâmetro e com menor contraste térmico para visualização. Uma proposta para tornar a média de erro de dimensionamento dos defeitos maiores mais confiável, é a utilização de uma segmentação individual para cada defeito, o que demandaria deste estudo inicial mais tempo de análise e fugiria do escopo do trabalho, que é a avaliação de um técnica capaz de detectar este tipo de defeito.

Referências bibliográficas

- (1) GENTIL, VICENTE. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- (2) JAMBO, H.C.M., FÓFANO,S. **Corrosão - Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2008.
- (3) MALDAGUE, X., MOORE,P. **Nondestructive Testing Handbook - Infrared and Thermal Testing**. V. 3, American Society for Nondestructive Testing.