

Taubaté, 12/09/15 a 28/11/15

TTEM 013/15

MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE REVESTIMENTO CONDUTOR NÃO CONDUTOR ATRAVÉS DO METODO DE CORRENTES PARASITAS

THICKNESS MEASUREMENT OF CONDUCTING AND NONCONDUCTING COATING THROUGH EDDY CURRENT METHOD

Signatários:

- Vinicius Toledo de Almeida¹
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. José Rui de Camargo – Universidade de Taubaté

Finalidade: Apresentar a utilização do método de medição de camada de revestimento com a técnica de correntes parasitas.

Duração: 3 meses

1 – Aluno do curso de Especialização em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP) – engenharia@alphatec-vta.com.br

Palavras chave: Revestimento, Medição, Ensaio não destrutivo, Camadas, Correntes parasitas.

Resumo. A espessura de camada de revestimento nos materiais sejam elas através de pintura, eletrodeposição, junções a frio ou a quente necessitam de técnicas de controle dimensional que garantam sua uniformidade. A espessura dos revestimentos não condutores sobre elementos condutores, podem ser determinadas através do efeito de *lift off*. Este método de ensaio tem sido largamente utilizado para medir a espessura de revestimentos plásticos e de pintura, onde o revestimento atua como um espaçador entre a sonda e o material condutor. À medida que a distancia entre sonda e material condutor aumenta, o campo atuante da corrente parasita se enfraquece, gerando deste modo um limite de espessura a ser medido.

1. Introdução

O ensaio por correntes parasitas baseia-se no princípio de que quando existe um campo magnético variando com o tempo numa região do espaço (campo primário), ao se colocar um material condutor nesta região, ocorrerá no mesmo a geração de correntes induzidas, denominadas correntes parasitas, as quais criarão um campo magnético secundário, que se oporá a variação do campo primário ou indutor.

Uma das maiores vantagens da utilização do método de correntes parasitas como uma ferramenta de END é a variedade de inspeções e medições que podem ser realizadas. Em circunstancias corretas, as correntes parasitas podem ser aplicadas em (figura 1):

- Detecção de trincas
- Medição de espessura de materiais
- Medição de revestimentos (condutores ou não)
- Detecção de materiais
- Danos por aquecimento
- Controle de tratamento térmico



Figura 1 – Equipamentos de correntes parasitas para medições de camadas.

Como as correntes parasitas são baseadas no fenômeno físico da indução eletromagnética, o END torna-se limitado a inspeções de materiais condutores. Quando aplicados a revestimentos, como plásticos ou tintas, estas devem estar aplicadas também a superfícies igualmente condutoras.

Como a técnica de medição de espessura de revestimentos não condutores baseia-se no efeito de *lift off*, que é o afastamento entre sonda e peça, a espessura máxima da camada de revestimento fica limitada a aproximadamente 50 mm (MATAREZZI, 2009).

A limitação de espessura ocorre em decorrência do enfraquecimento do campo magnético no material condutor.

A detecção de discontinuidades em componentes é de extrema importância, pois defeitos que têm início em escala microscópica podem propagar-se e comprometer a estrutura. Os ensaios não destrutivos END são usados para detectar esse tipo de dano a tempo (FERREIRA, 2008).

2. Princípio de medição dos sensores de correntes parasitas

O fenômeno das correntes parasitas ocorre quando se induz uma corrente elétrica sobre um material condutor. O efeito gerado sobre o material condutor é a geração de uma corrente secundária na forma similar a um vortex de água.

Para a formação deste vortex, são necessárias duas condições, sendo estas a presença de um campo magnético alternado e condutores elétricos no campo magnético. Portanto o sensor de correntes parasitas é composto basicamente de uma bobina indutora de corrente alternada e um condutor metálico no campo magnético alternado.

Ao utilizar o efeito das correntes parasitas, os sensores de *eddy current* convertem alguns parâmetros não elétricos, para as mudanças de impedância de carga (ou alterações de indutância) a fim de medir os parâmetros não elétricos.

Conforme demonstrado (Figura 2), a bobina com corrente alternada I_1 gera um campo magnético H_1 em torno da bobina. Se o material condutor a ser medida esta dentro da área atuante do campo magnético indutor, o material irá então gerar uma nova corrente induzida I_2 . Esta corrente parasita irá gerar o campo magnético H_2 , que se opõe ao campo H_1 . Esta oposição irá então gerar as variações de indutância, impedância e fator de qualidade. Onde o fator de qualidade é a relação de reatância indutiva para sua resistência a uma dada frequência, e é uma medida de sua eficiência. Quanto maior o fator Q do indutor, mais próximo é seu comportamento ideal.

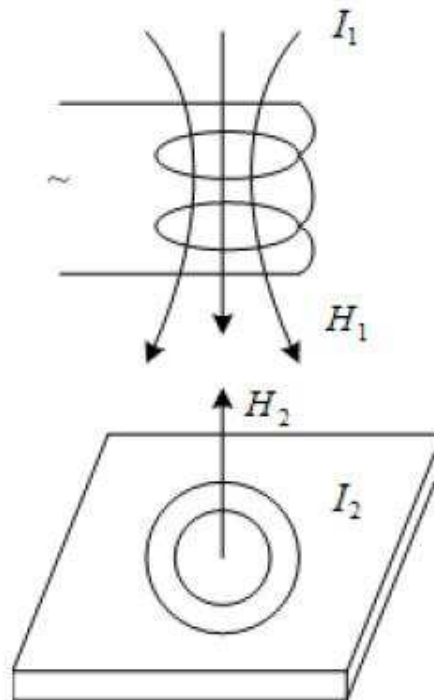


Figura 2 – Diagrama esquemático da formação de corrente parasita
Fonte: Chinese Academy of Inspection and Quarantine

De uma maneira geral, as mudanças de indutância, impedância e *Q-factor* estão relacionadas a geometria da bobina do sensor, a condutividade e permeabilidade do material. Além de estar relacionada a parâmetros geométricos, a frequência aplicada à bobina indutora, e a distância entre sonda e peça.

3. Medição das camadas

Respeitando-se as limitações dos equipamentos a serem utilizados, as medições de camadas de revestimentos não condutores podem ser medidas com grande precisão. Como o revestimento realiza um deslocamento da sonda em relação ao material condutor, o enfraquecimento das correntes parasitas pode ser medido e relacionado com a espessura do revestimento.

Na indústria aeronáutica a medição de camada de pintura através das correntes parasitas (Figuras 3 e 4) contribui de forma significativa para o controle de uniformidade do revestimento e também de seu peso total. A fabricante AIRBUS calcula que o A380 leva 531 Kg de verniz e base para tinta, e 650 Kg no total com todas as camadas de pintura (LUFTHANSA). Em um mercado disputado, onde cada grama de peso tem seu valor, o controle do revestimento tem importância significativa durante a vida útil da aeronave.

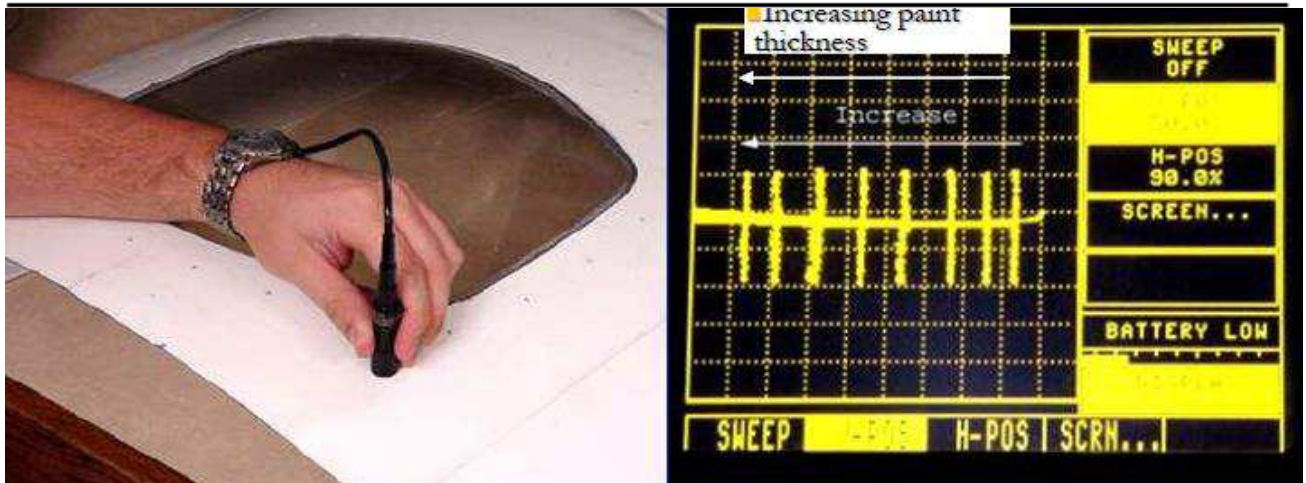


Figura 3 - Inspeção de pintura em painel de aeronave com painel indicando diferentes sinais para de medição obtida por oito diferentes espessuras de pintura em alumínio.

Fonte: Departamento de Engenharia de Materiais Escola de Engenharia de São Carlos - USP

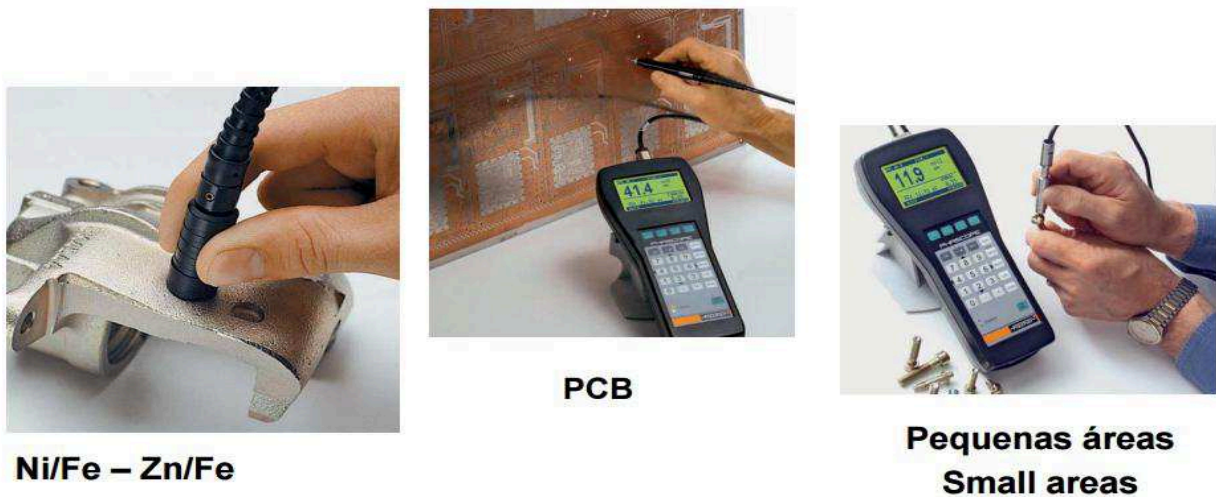


Figura 4 – Medição de camadas com correntes parasitas.

4. Métodos de medições

4.1 O método de ensaio da indução magnética (ISO 2178, ASTM 7091),

Tem como princípio funcional, o método de contato (figura 5). A excitação da corrente gera um campo magnético de baixa frequência com uma força correspondente a distancia entre a sonda e material base. Uma bobina de medição mede o campo magnético. No instrumento o valor obtido através da leitura do campo magnético, é convertido em valores de espessura equivalente do revestimento. As principais aplicações são para determinar revestimentos não magnéticos em materiais magnéticos; revestimentos eletro depositados de cromo, zinco, cobre ou alumínio sobre aço ou ferro; tintas, vernizes, esmaltes ou revestimentos plásticos aplicados sobre aço ou ferro.

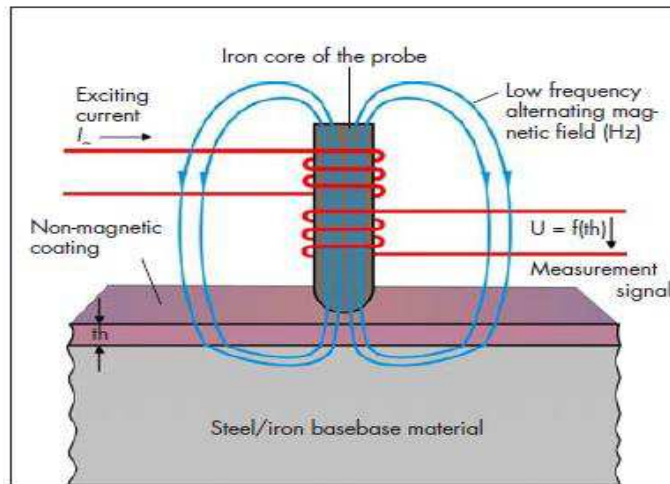


Figura 5 - Diagrama esquemático do método de indução magnética. A profundidade de penetração depende da permeabilidade do material base. Fonte: Helmut-Fischer

4.2 Método de corrente parasita, amplitude sensitiva (ISO 2360, ASTM 7091)

Tem como princípio funcional, o método de contato (figura 6). A excitação da corrente gera um campo magnético de alta frequência, induzindo correntes parasitas no material base. A força da corrente parasita corresponde a distancia entre a sonda e material base. O campo magnético das correntes parasitas se opõe ao campo magnético indutor, gerando uma diferença de sinal a ser medido. Utilizando as características adequadas de saída da sonda, converte-se o sinal de saída no instrumento gerando um valor real de espessura de revestimento. As principais aplicações deste método são utilizadas para determinar revestimentos não condutivos e não magnetizáveis aplicados a superfícies não ferrosas, porém condutoras; tintas, vernizes, esmaltes ou revestimentos plásticos aplicados sobre alumínio, cobre, latão, zinco e bronze; camadas de anodização em alumínio.

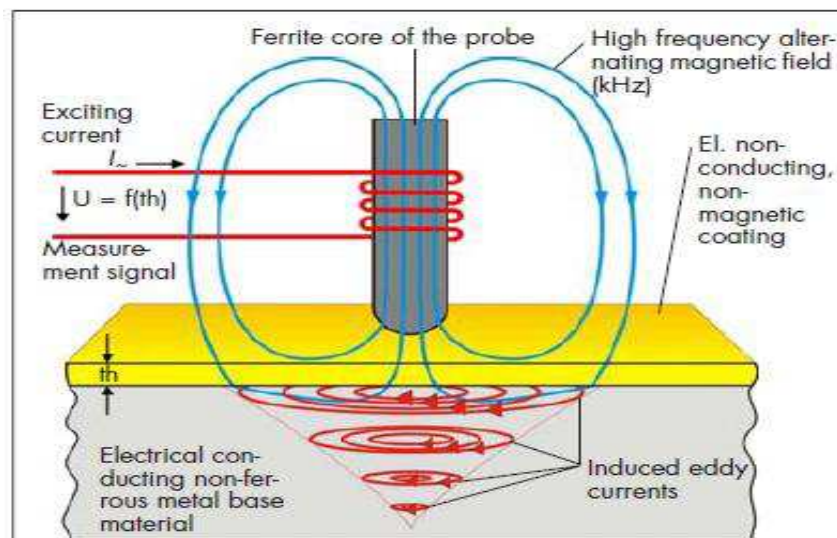


Figura 6 - Diagrama esquemático da amplitude sensitiva da corrente parasita. A profundidade de penetração varia de acordo com a frequência aplicada, e condutividade elétrica do material base. Fonte: Helmut-Fischer

4.3 Método de corrente parasita, sensibilidade de fase (ISO 21968)

Tem como princípio funcional, o método de contato (figura 7). A excitação da corrente gera um campo magnético de alta frequência, induzindo correntes parasitas no revestimento ou material base. As diferentes formações de correntes parasitas nos revestimentos e material base são utilizadas para determinar a espessura do revestimento. A mudança Φ de fase entre a corrente induzida e o sinal medido é convertido no instrumento gerando um valor referente à espessura. Dentro de certo alcance, que é determinado pelo tipo de sonda a ser utilizada, a leitura não é dependente da distancia entre revestimento e sonda. As principais aplicações deste método são a utilização para determinar revestimentos condutivos aplicados a qualquer tipo de material base; Zinco ou níquel sobre aço ou ferro, revestimentos de cobre sobre bronze ou aços inoxidáveis, revestimentos de cobre aplicados à epóxi, mesmo quando aplicados a proteções de verniz ou esmaltes sobre revestimento.

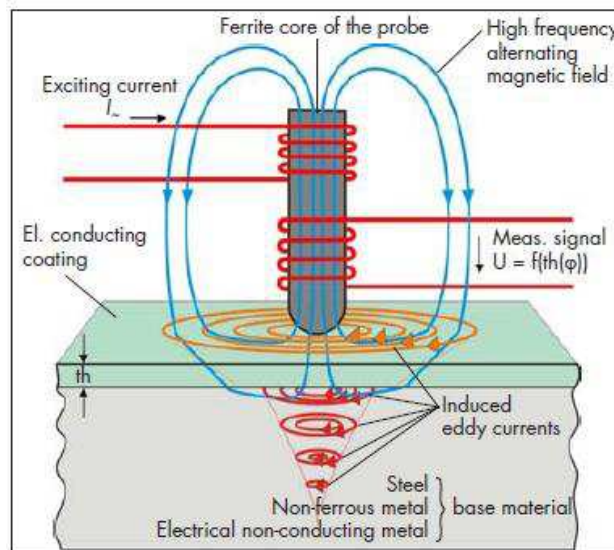


Figura 7 - Diagrama esquemático da sensibilidade de fase através do método de correntes parasitas
A profundidade de penetração depende da frequência utilizada e da condutividade elétrica do material
Fonte: Helmut-Fischer

4.4 Método do teste magnético (ISO 2178, ASTM 7091)

Um ímã permanente gera um campo magnético constante (figura 8) com uma força correspondente à espessura do revestimento a ser medido, ou distancia entre sonda e material base. A força do campo magnético é medida utilizando-se sensores adequados. A correlação funcional entre o sinal medido e a espessura do revestimento gera um sinal a ser convertido em valor de espessura de revestimento. As principais aplicações para este tipo de método são medições de revestimentos não magnetizáveis aplicados sobre aço ou ferro, revestimento de níquel aplicado sobre materiais não ferrosos, revestimentos aplicados através de eletrodeposição de cromo, zinco, cobre, alumínio, latão aplicados sobre aço ou ferro; revestimentos de níquel aplicados através de galvanização sobre cobre, alumínio, também adequado à verificação de revestimentos de níquel em placas de circuito impresso, mesmo quando protegidos por finas camadas de revestimento de ouro; revestimentos de níquel químico se magnetizados, aplicados em cobre ou alumínio.

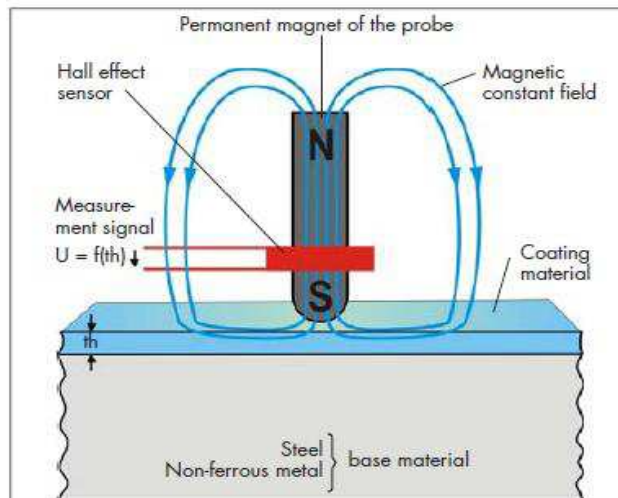


Figura 8 - Diagrama esquemático do método magnético. A profundidade de penetração do campo magnético depende da permeabilidade do material base. Fonte: Helmut-Fischer

4.5 Método Duplex aplicado a proteções contra corrosão (zinco $\geq 70 \mu\text{m}$)

O teste de indução magnética e de amplitude sensitiva das correntes parasitas é utilizado para medições de camadas de revestimentos do tipo duplex com espessura de zinco maior que 70 micras. Os dois testes são aplicados paralelamente, de modo que em um único passo de medição as espessuras dos diferentes tipos de material são apresentadas individualmente. A zona não magnética de difusão zinco-ferro (figura 9) vai juntamente com a espessura de zinco, então através da diferença de condutividade elétrica do revestimento puro de zinco e da zona de difusão zinco-ferro não tem efeito sobre a medição da espessura da camada de tinta. As principais aplicações deste método são a medição na proteção de corrosão aplicados a materiais com espessura de zinco maior que 70 micras, medição de pintura, esmaltação e zincagem à banho quente aplicados sobre aço ou ferro galvanizado, aplicados a galvanização contínua ou por banho; medição de camadas em postes de aço galvanizado revestidos, componentes estruturais de pontes, portões, cercas, *guard rails*.

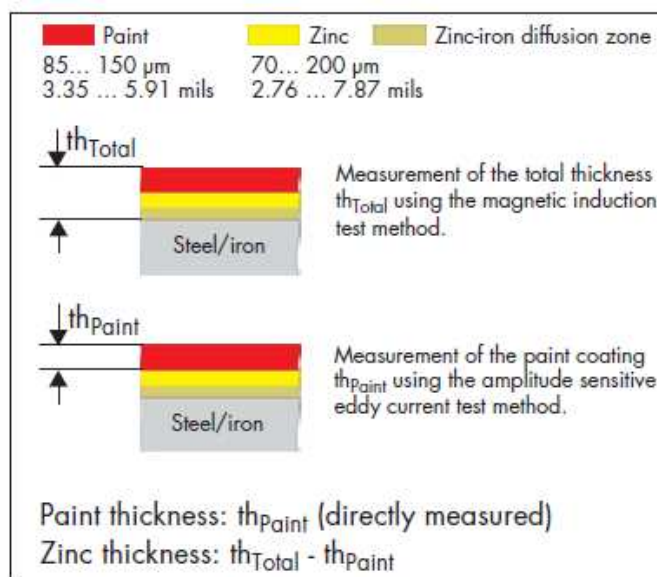


Figura 9 - Separação de camadas de revestimento através do método duplex, utilizando amplitude sensitiva das correntes parasitas e indução magnética. Fonte: Helmut-Fischer

4.6 Método Duplex aplicado a chapas galvanizadas por banho eletrolítico ou imersão.

São aplicados os métodos da indução magnética e corrente parasita por sensibilidade de fase para determinação de espessura de revestimento sobre material base revestido de zinco com camadas entre 5 e 20 micras (figura 10) através do método duplex. Os dois métodos são aplicados paralelamente da mesma maneira quando realizado apenas um método. As medidas de zinco e pintura são exibidas no aparelho de forma individual. Revestimentos galvanizados duplex aplicados por banhos de imersão a quente sem difusão de zona zinco-ferro podem também ser medidos com este método. As principais aplicações deste método são as medições de inspeção de espessura de revestimento de banhos eletrolíticos aplicados em revestimentos galvanizados, medição de pintura automotiva e tubos de freio.

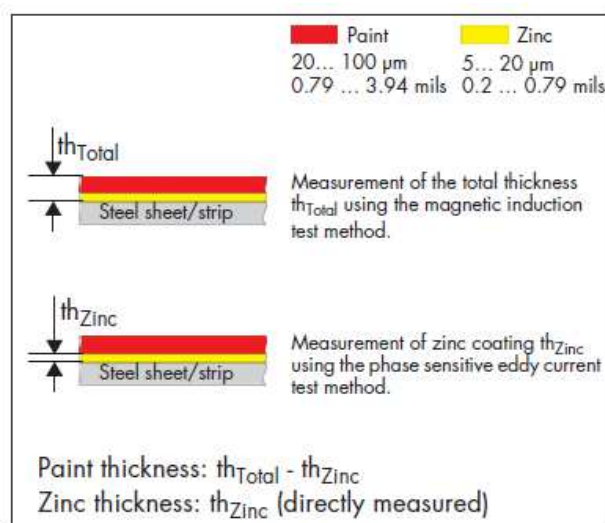


Figura 10 - Separação de camadas de revestimento através do método duplex, utilizando Correntes parasitas por sensibilidade de fase e indução magnética. Fonte: Helmut-Fischer

5. Conclusão

Em se tratando de fabricação ou manutenção, uma grande precisão é requerida na inspeção dos componentes que dependem de revestimentos para manterem-se íntegros. Quanto menor o desvio, mais acurado tem de ser o método de inspeção para garantir a detecção de falhas por desgastes, ou por desvios de fabricação.

Durante muitos anos por falta de tecnologias como as apresentadas nesse trabalho técnico, os métodos de controle dimensional de tratamentos de superfície por revestimentos, dependiam da destruição parcial ou total de modelos e peças. Pois era a única maneira de se verificar a estabilidade dos processos industriais. Quando aplicados à manutenção e reposição de componentes, era necessário que a substituição fosse realizada pela vida útil estimada, e não por sua real integridade.

Com a aplicação das referidas técnicas, verificou-se que, além da confiabilidade do produto e processo ser mais elevada, os custos com análises tornam-se inferiores, pois não há mais a necessidade de produtos acabados serem colocados à prova, e componentes em vida útil não necessitam de substituição antes do tempo.

6. Referências

Institute of Mechanical and Electrical Product Safety. A new coating thickness measuring instrument based on eddy.

Disponível: http://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/279_Fu_Rev1.pdf

NDT Resource Center. Thickness Measurements of Nonconducting Coatings on Conductive Materials .Disponível: www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/Applications/thicknessmeasurements2.htm

OLYMPUS. Disponível: <http://www.olympus-ims.com/vi/eddycurrenttesting/>

Matarezzi, J. C. Aplicação do Ensaio de Eddy Current Phased Array em Componentes Aeroespaciais. Dissertação de Mestrado. Universidade de Taubate. 2009

Helmut-Fischer. Probes for Coating Thickness Measurements. Disponível: http://www.fischer-technology.com/fileadmin/user_upload/default/Brochures/en-gb/BROC_Probes_902-111_en.pdf

Lufthansa. As cores de uma estrela disponível: http://a380.lufthansa.com/FASCINATION/#/PT/PT/main/faszination_fiegen/ensteht/flying_colors

SMM-311 Ensaios Não Destrutivos 5. Correntes Parasitas. Departamento de Engenharia de Materiais Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível: <http://www.smm.eesc.usp.br/smm/images/material-didatico/smm311/TEORICA5.pdf>

7. Comunicado de responsabilidade

O autor é o único responsável pelo material pesquisado.

Abstract. The thickness of coating layer materials whether by painting, electroplating, cold joints or hot joints require control dimensional techniques to ensure uniformity. The thickness of the non-conductive coating on conductive elements can be determined through the lift off effect. This test method has been widely used to measure the thickness of plastic coatings and painting, where the coats act as a spacer between the probe and the conductive material. As the distance between the probe and conductive material increases, the active Field of the eddy current is weakened, thereby generating a thick boundary to be measured.