DETERMINAÇÃO DE DEFEITOS EM PROFUNDIDADE (ESTEREORADIOGRAFIA)

Gilberto Carvalho

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP
Travessa "R" 400 – Cidade Universitária
05508-900, São Paulo, SP, Brasil
gcarval@net.ipen.br

RESUMO

Após a identificação de um defeito interno, mediante o emprego do processo radiográfico comum, pode ser necessário determinar a sua posição, tanto para avaliar a sua importância em serviço, quanto para decidir de qual lado da solda deve ser cortada a peça, de modo a reduzir a quantidade de material a ser removido, diminuindo em muito o custo do reparo. A visão radiográfica simples não possui perspectiva, não podendo dar a impressão de profundidade, não indicando claramente as posições relativas das várias partes da peça, ao longo da direção da visão. A Estereoradiografia foi idealizada para superar essa deficiência da radiografia comum e requer a realização de duas radiografias, feitas em duas posições diferentes, realizadas com um tubo de raios-X ou uma fonte radioisotópica, posições essas que devem estar separadas por uma distância igual a distância interpupilar normal. No presente trabalho, utilizamos a técnica em um defeito simulado, defeito esse comumente encontrado nos processos de soldagem, no caso, poros e apresentamos a eficiência da técnica, suas vantagens e suas limitações. O material empregado foi o aço comum, 1020, em corpos de prova de várias espessuras, abrangendo praticamente todo o intervalo de espessuras do radioisótopo utilizado, no caso o ^{192}Ir e poros simulados de diversos diâmetros.

I. INTRODUÇÃO

Na Engenharia de um modo geral, e em particular, nos ramos que se ocupam com máquinas e estruturas, é necessário que os materiais envolvidos tenham um nível de qualidade compatível com os usos a que se destinam, sob pena de provocarem acidentes, às vezes graves, pondo em risco não só patrimônios valiosos mas principalmente vidas humanas.

As propriedades desses materiais devem ser bem conhecidas, e isso se faz mediante ensaios, que permitem determinar propriedades químicas, mecânicas, térmicas, elétricas, ópticas etc.

Assim como muitos desses ensaios exigem a destruição de corpos de prova e protótipos, há outros tipos de ensaios chamados de não destrutivos, END,que após suas realizações, não deixam quaisquer vestígios ou provocam quaisquer danos nas peças ensaiadas. O presente trabalho enfoca os ensaios não destrutivos com radiação X e gama[1,3,4,5], amplamente conhecidos e intensa e extensivamente utilizados industrialmente. De modo mais específico, concentramos o estudo, na gamagrafia, com o uso do radioisótopo ^{192}Ir[2,3,4], que abrange a maioria dos ensaios, com especial atenção às peças soldadas.

A estereoradiografia[3,4,5,6], que permite não só a detecção das descontinuidades mas também a localização das mesmas no cordão de solda, é uma técnica antiga, dentro da gamagrafia, e é a razão primordial do presente trabalho.

II. OBJETIVO

Para satisfazer o crescimento e as mudanças de demanda da indústria, a pesquisa e o desenvolvimento no campo da radiografia e gamagrafia industrial, tem produzido continuamente novas fontes radioisotópicas, equipamentos mais portáteis, mais potentes e seguros, novos tipos de filmes, processadores automáticos de filmes e aperfeiçoamento de técnicas antigas e o uso de novas técnicas.

Assim, mediante o uso da técnica de determinação de defeitos em profundidade, esperamos fornecer aos usuários de END uma ferramenta adicional, simples e apta a ser utilizada sempre que requerida. Este é o escopo deste trabalho.

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Gamagrafia. Os raios gama assim como os raios-X, têm a propriedade, devidos aos pequenos comprimentos de onda que possuem, de penetrar a matéria, sendo mais ou menos

absorvidos, dependendo da espessura e densidade do material sob ensaio.

Assim, a intensidade da radiação emergente do material é variável, podendo ser ou não detectada e registrada. Quando a radiação emergente é detectada e registrada sobre um filme, chamado filme radiográfico, e quando o ensaio é realizado dentro de padrões e procedimentos estabelecidos por Normas, fica assegurada uma maneira de observação interna do material sob ensaio, verificando-se a integridade ou não desse mesmo material.

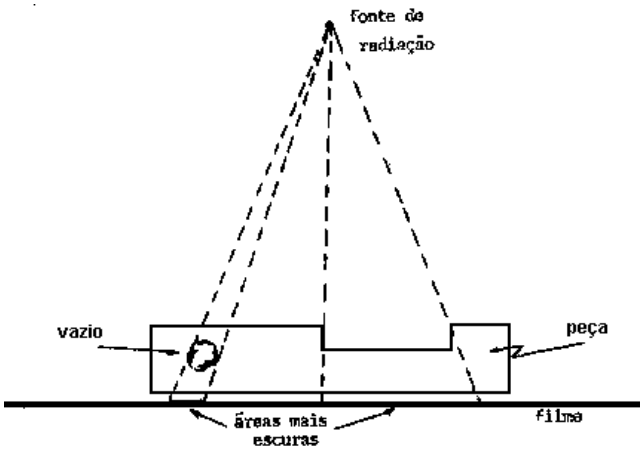

Figura 1- Esquema do processo radiográfico.

A radiação emergente que atinge o filme, produz neste, uma imagem latente, que vai se tornar visível após o processamento fotográfico do filme. Essa imagem final mostrará, conforme Figura 1, áreas mais escuras e mais claras, em conformidade com a maior ou menor absorção da radiação.

Matematicamente, esse fenômeno pode ser expresso pela seguinte equação[2,3,4,5]:

$$Ix = I_0 \cdot e^{-\mu x(2}$$

onde

I_0 = é a intensidade do feixe incidente;

Ix = é a intensidade do feixe emergente (não houve interação);

x = é a espessura do material:

μ = é o coeficiente de absorção linear do material.

Em nosso caso, que utilizamos o ^{192}Ir como fonte radioisotópica, essa interação da radiação com a matéria se processa mediante o efeito fotoelétrico e por espalhamento Compton, visto que a energia média do ^{192}Ir é de 350 KeV.

Estereoradiografia. Os objetos vistos com um par de olhos normal, aparecem na sua real perspectiva e em sua correta relação espacial, para cada um dos olhos, devido a natural visão estereoscópica do ser humano. Cada olho recebe uma imagem ligeiramente diferente e a combinação das duas imagens permite, mediante processos cerebrais, uma visão tridimensional.

A imagem radiográfica registrada no filme, não possui profundidade, razão pela qual, não permite a visão relativa das partes internas do objeto. A Estereoradiografia foi idealizada para suprir a deficiência da técnica radiográfica comum. Para tanto, requer duas radiografias, executadas em duas posições diferentes e separadas por uma distância igual a distância interpupilar.

As radiografias são levadas a um estereoscópio[3,4], um instrumento óptico, com lentes e espelhos, que permite a visão tridimensional dos filmes.

IV. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Corpo De Prova.

Material. O material escolhido foi o aço 1020(aço comum), por ser um material fartamente empregado nos vários campos da Engenharia e também por se constituir como material padrão no levantamento das curvas de exposição radiográfica[1,2,3,45]. Na realidade , esse padrão deveria ser o Ferro, com conteúdo de 99,9% (pureza), porém para efeito prático, o aço 1020 é um substituto perfeito, uma vez que um dos principais parâmetros envolvidos num ensaio radiográfico é a densidade do material, e a diferença de densidades entre ambos os materiais é praticamente inexistente, ou seja, 0,01 g/cm^3 ou 0,127 %(porcentualmente), que é um valor desprezível em relação a sensibilidade do detector(filme radiográfico).

Espessura Do Corpo De Prova. A escolha da espessura do corpo de prova está intimamente ligada à sensibilidade do ensaio, pois a partir da espessura do material, podemos determinar a energia que possibilita a obtenção da maior sensibilidade possível e consequentemente, a seleção do radioisótopo para o ensaio em questão[5].

Da equação da intensidade do fluxo de radiação eletromagnética:(1)

$$Ix = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

obtem-se:

$$S = \frac{dIx}{dx} = -\mu Ix = -\mu I_0 e^{-\mu x} \qquad (2)$$

desde que se despreze as características do filme radiográfico, para se obter a energia do radioisótopo, de modo a alcançar a maior sensibilidade **S** no ensaio.

Para se encontrar o valor de μ, para o qual a sensibilidade do ensaio seja máxima, basta derivar a sensibilidade em relação ao coeficiente de absorção linear e igualar a zero:

$$\frac{dS}{d\mu} = x \cdot \mu I_0 \cdot e^{-\mu x} - I_0 \cdot e^{-\mu x} = I_0 \cdot e^{-\mu x} (\mu x - 1) = 0$$

portanto, $\mu x - 1 = 0$

e $\mu = \frac{1}{x}$, (3)

concluindo-se daí que a sensibilidade é máxima, quando o coeficiente de atenuação linear for igual ao inverso da espessura do material.

A prática adotada por nós obedeceu ao critério inverso, para melhor efeito didático. Desse modo, partimos do fim para o começo, isto é, como tínhamos à disponibilidade o radioisótopo para o ensaio, ^{192}Ir de espectro energético conhecido e portanto energia média conhecida, bem como o material previamente selecionado, determinamos a partir da tabela (coeficiente de absorção total para raios gama)[1,5], o coeficiente de atenuação linear (μ), e de posse do mesmo e com o auxílio da expressão $\mu = 1/x$, determinamos a faixa de espessura ideal do nosso corpo de prova, para o qual a sensibilidade seria a máxima. Assim, tomando-se a energia média do ^{192}Ir como sendo de 350 keV, encontramos dois coeficientes:

- para 300 keV $\mu_1 = 0{,}833\ cm^{-1}$
- para 400 keV $\mu_2 = 0{,}7223\ cm^{-1}$

e de posse dos mesmos, calculamos as respectivas espessuras

$x_1 = 12{,}00$ mm e $x_2 = 13{,}84$ mm, que utilizamos na construção dos corpos de prova(faixa de espessuras).

Construção Dos Corpos De Prova. Foram construídos diversos corpos de prova[7] nas seguintes espessuras: 8,00mm, 19,45mm, 27,65mm, 37,15mm e 46,75mm, com as superfícies maiores voltadas para a fonte radioisotópica, paralelas entre si e com áreas suficientemente grandes, de modo a permitir a colocação sobre elas, de indicadores da qualidade de imagem. Os corpos de prova são constituídos de duas placas justapostas, com espessuras idênticas, no centro das quais foram colocadas esferas de aço de 6,5 mm de diâmetro, prensadas para a simulação do defeito pretendido, no caso, poros[7].

Ensaios Dos Corpos De Prova. Após a construção dos corpos de prova, foram realizados diversos ensaios radiográficos, para a comprovação da qualidade dos corpos de prova(assentamento perfeito das duas semi-esferas) e verificação da sensibilidade radiográfica.

Para que isso fosse possível, precisamos fazer as curvas de exposição radiográfica, com o ^{192}Ir e nas espessuras consideradas.

Para o levantamento da curva fator de exposição x espessura[1,2,3,4,5] foi necessária a elaboração da curva densidade óptica x tempo de exposição[1,2,3,4,5] Figura 3 e para tanto , construiu-se um corpo de prova em aço 1020, de forma escalonada, conforme Figura 2.

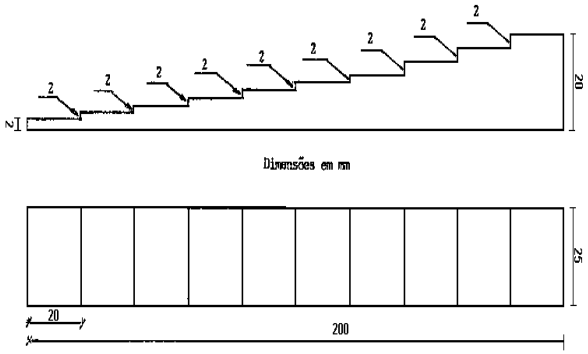

Figura 2- Corpo de prova de forma escalonada.

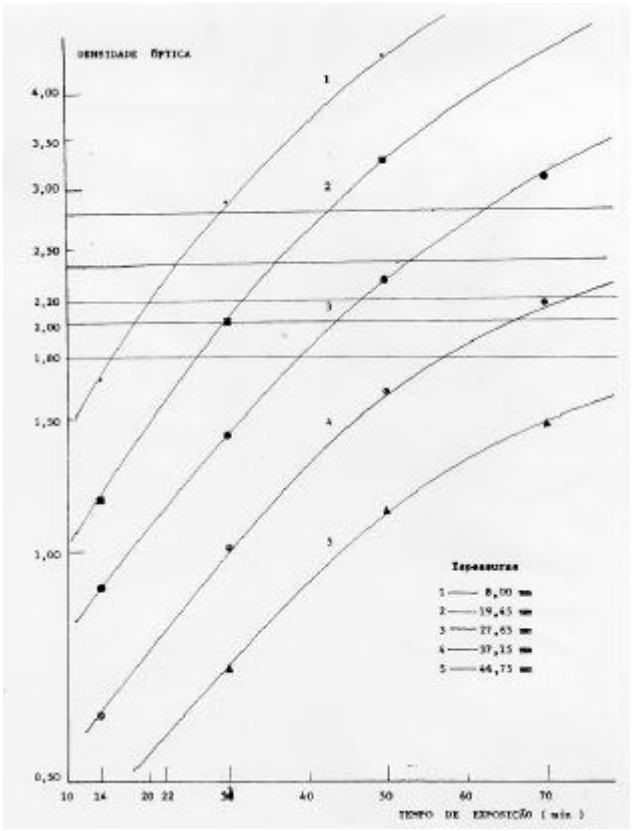

Figura 3 -Densidade óptica x tempo de exposição

Ensaio Final. O ensaio propriamente dito, foi realizado mediante a utilização da curva fator de exposição x espessura do material, Figura 4, levantada para os corpos de prova mencionados.

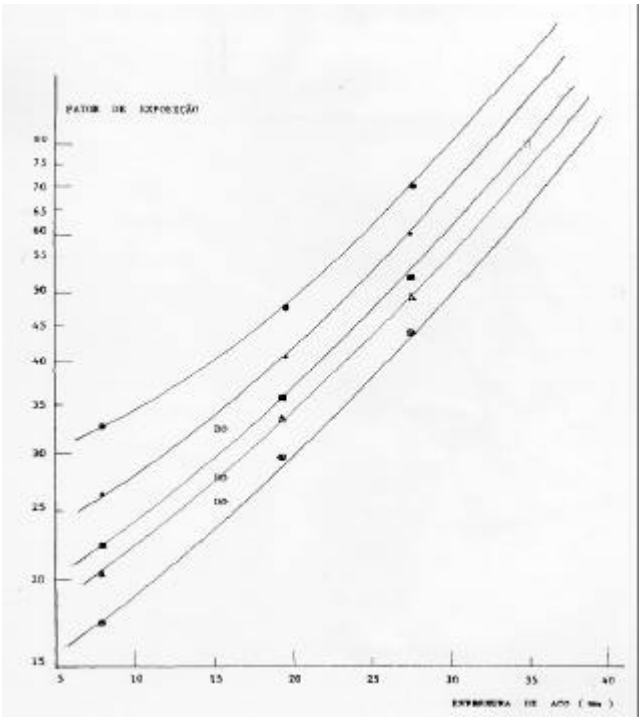

Figura 4. Fator de exposição em função da espessura de aço.

Isto quer dizer que todos os parâmetros envolvidos anteriormente, foram mantidos constantes, isto é, a energia da fonte (^{192}Ir), filmes radiográficos (tipo AA da Kodak)[3,5], telas intensificadoras de imagem(de chumbo e nas espessuras:anterior 0,127 mm e posterior 0,254 mm, processamento fotográfico[1,3,5] e distância fonte-filme: 254 mm. O esquema básico do ensaio é mostrado na figura 5[5].

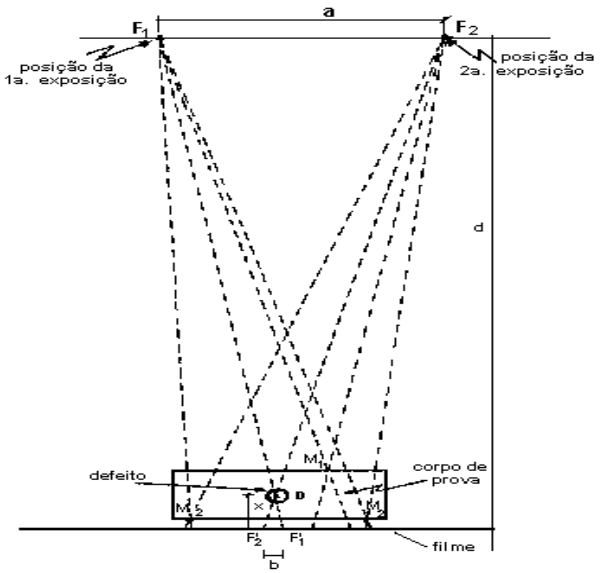

Figura 5 - Esquema do método estereoradiográfico

onde a= deslocamento da fonte radioisotópica da posição F_1 para a posição F_2;

d= distância fonte-filme;

b= deslocamento do defeito da posição F'_1 para a posição F'_2;;

x= distância do centro do defeito à superfície inferior do corpo de prova, que é a distância que se quer determinar.

Para se determinar perfeitamente a profundidade do defeito, algumas precauções devem ser tomadas, tais como:

1a.-manter o deslocamento da fonte radioisotópica, da posição 1 para a posição 2, paralelo ao filme radiográfico;

2a.-fazer as correções da distância **x** procurada, uma vez que o corpo de prova não está em contato direto com o filme radiográfico.

Os ensaios foram realizadas para todas as espessuras dos corpos de prova, para exemplificação tomamos a espessura de 37,15mm.

Da figura 5 temos que

$$\Delta F_1 F_2 D \sim \Delta F'_1 F'_2 D$$

de onde tiramos as relações entre as respectivas bases e alturas

$$\frac{a}{b} = \frac{d - x}{x}$$

tirando o valor de **x**

$$\mathbf{x} = \frac{b \cdot d}{a + b} \qquad (4)$$

Substituindo-se os valores dados, d = 10” = 254 mm

a = 70 mm

e o valor obtido(medido) b = 6,2 mm

temos

$$\mathbf{x} = \frac{6,2 \cdot 254}{70 + 6,2}$$

então **x** = 20,666 mm

Correções

y = espessura da tela intensificadora anterior = 0.005”= 0,1270 mm

z = espessura do chassis (entre o corpo de prova e a tela intensificadora anterior) = 1,45 mm

Então $\mathbf{x_{corrigido} = x_{obtido} - correções}$ **(5)**

Substituindo os valores encontrados em (5), temos:

$\mathbf{x_{corrigido}}$ **= 20,666 - 1,577 = 19,089 mm**, que é a distância procurada.

V. ANÁLISE DO RESULTADO E CONCLUSÕES

Se compararmos o valor obtido no ensaio, que foi de 19,089mm, com o valor previamente dado ao corpo de prova, isto é, 18,575mm (metade da espessura total onde foi inserido o defeito), veremos que houve um erro de 2,8%, o que demonstra a alta sensibilidade do ensaio estereoradiográfico, podendo portanto ser aplicado onde se requer uma boa precisão.

Em virtude da sensibilidade obtida no ensaio, ficamos animados dos seguintes propósitos:

1º.- Construção de mais corpos de prova, do mesmo material e com outras espessuras, abrangendo a faixa de espessuras possível de se ensaiar com o ^{192}Ir, para comprovação da sensibilidade do ensaio num espectro mais amplo.

2º.- Simulação de outros tipos de defeitos usualmente encontrados nos processos de soldagem, como inclusões de tungstênio, de escória e trincas de vários tamanhos e perpendiculares ao feixe da radiação gama.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Handbbok of Radiographic Apparatus and Techniques.The International Institute of Welding. London, 2nd Edition,1973

[2] Radiography in Modern Industry. Eastman Kodak Company, Rochester, New York.1969

[3] RUMYANTSEV, S. Industrial Radiology. The use of radioactive isotopes in flaw detection.Moscow, Foreign Languages.1971

[4] SANCHEZ, Wladimyr.Ensaios não destrutivos pela técnica dos raios X e raios gama.Informação IEA nº 29, agosto 1974.

[5] MCMASTER, R. C., Nondestructive Testing Handbook, Ronal Press Co., NewYork. 1959

[6] CARLSON, K.W; LAWRENCE, F.V., The examination of discontinuities in welds by stereoradiography. International Advance in Nondestructive Testing, vol. 5, pp. 291-301, 1977.

[7] LANDOLT, J.I.-A Technique for Placing Known Defects in Weldments -Materials Evaluation, pp 214-216, october 1973.

ABSTRACT

DETERMINATION OF DEFECTS IN DEPTH (STEREORADIOGRAPHY)

After the identification of an internal defect, by means of the single radiographic process, it can be necessary to determine it's position to evaluate the importance of the service and to specify which side of the weld the piece should be cut in order to reduce the amount of material to be removed and, in a lot, the cost of repair. The single radiography image doesn't have perspective and can't show the tridimensional vision, and so, do not clearly indicate the relative positions of the various parts of the object, in the direction of the vision. Stereoradiography was idealized to overcome that limitation of the standard radiography and it requests the accomplishment of two exposures, separated by the normal interpupillary distance. In the present work, we use this technique in a simulated pore defect, commonly found in the welding processes, and we present the efficiency of the technique. The material employed was SAE 1020 steel, in several thickness pieces, covering the range of thickness that the use ^{192}Ir source is recommended.