



Tecnologia em Soldagem

Controle da Qualidade II

CQ-II

CONTEÚDO

Capítulo 1.....	Ensaio Radiográfico
Capítulo 2	Ensaio por Líquidos Penetrantes
Capítulo 3	Ensaio por Ultra- Som
Capítulo 4.....	Ensaio por Partículas Magnéticas

Nota

Este material didático é destinado aos alunos do Curso regular de Tecnologia em Soldagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC, e contém os assuntos a serem tratados na disciplina de Controle da Qualidade II – CQ-II no período de duração de 18 semanas (90 horas/aula).

CAPÍTULO 1

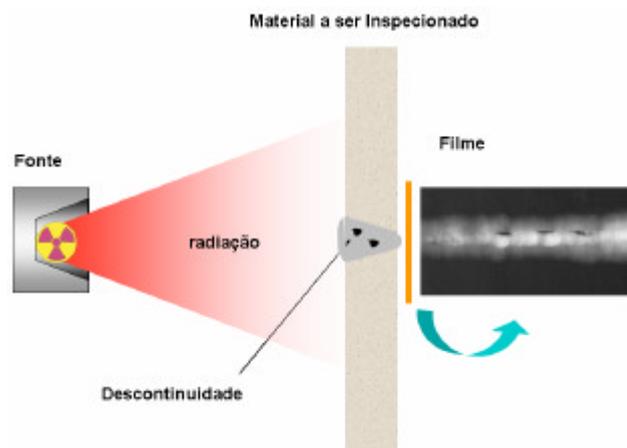
ENSAIO RADIOGRÁFICO

1.1 Fundamentos e Princípios Físicos do Ensaio

Descrição Genérica do Método e Aplicações:

A radiografia é um método usado para inspeção não destrutiva que baseia-se na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada. Devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorverão quantidades diferentes da radiação penetrante. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um meio, irá nos indicar, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material.

A radiografia industrial é então usada para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, em outras palavras, a radiografia é um método capaz de detectar com boas sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependerá da técnica de ensaio realizado. Defeitos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções, serão facilmente detectadas desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.



Técnica Geral de Ensaio Radiográfico

Natureza da Radiação Penetrante:

O nome “Radiação Penetrante” se originou da propriedade de que certas formas de energia radiante possuem de atravessar materiais opacos à luz visível. Podemos distinguir dois tipos de radiação penetrante usados em radiografia industrial: os Raios X e os Raios Gama. Eles se distinguem da luz visível por possuírem um comprimento de onda extremamente curto, o que lhes dá a capacidade de atravessarem materiais que absorvem ou refletem a luz visível.

Por serem de natureza semelhante à luz, os Raios X e os Raios Gama possuem uma série de propriedades em comum com a luz entre as quais podemos citar: possuem mesma velocidade de propagação (300.000 km/s), deslocam-se em linha reta, não são afetadas por campos elétricos ou magnéticos, possuem a propriedade de impressionar emulsões fotográficas.

Poderíamos citar outras propriedades comuns entre as radiações penetrantes e a luz visível. Ocorre, no entanto, que vários fenômenos que observamos na luz, são muitos difíceis de serem detectados. O fenômeno de refração, por exemplo, ocorre nas radiações penetrantes, mas numa escala tão pequena que são necessários instrumentos muito sensíveis para detectá-lo. Isso explica porque a radiação penetrante não pode ser focalizada através de lentes, como acontece com a luz.

No âmbito dos ensaios não destrutivos devemos salientar seis propriedades da radiação penetrante que são de particular importância:

- deslocam-se em linha reta;
- podem atravessar materiais opacos a luz, ao fazê-lo, são parcialmente absorvidos por esses materiais;
- podem impressionar películas fotográficas, formando imagens;
- provocam o fenômeno da fluorescência ;
- provocam efeitos genéticos ;
- provocam ionizações nos gases.

Propriedades da Radiação :

As propriedades das radiações eletromagnéticas, Raios X e Gama, são dependentes de seu comprimento de onda (ou energia) . As propriedades dos Raios X que tem importância fundamental, quando se trata de ensaios não destrutivos e são aquelas citadas anteriormente.

Quanto menor o comprimento de onda, maior é a energia de radiação. Por possuírem comprimento de onda muito curto, e consequentemente alta energia, os Raios X e gama apresentam propriedades e características, que os distinguem das demais ondas eletromagnéticas.

A energia das radiações emitidas tem importância fundamental no ensaio radiográfico , pois a capacidade de penetração nos materiais está associada a esta propriedade.

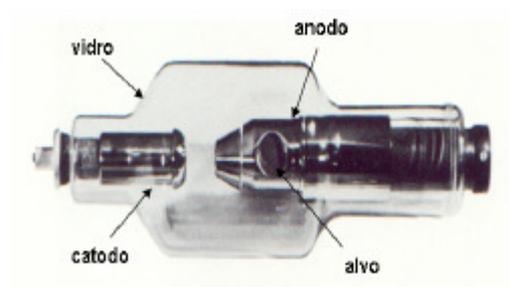
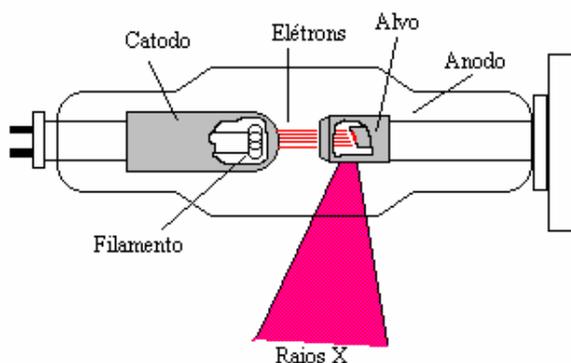
Produção das Radiações X e Gama

Os Raios-X

As radiações gama são aquelas que são emitidas do núcleo do átomo, o qual se encontra num estado excitado de energia, o que diferencia significativamente das radiações X, as quais são emitidas das camadas eletrônicas dos átomos. Essas emissões não ocorrem de forma desordenada, mas possuem “padrão” de emissão denominado espectro de emissão.

Os Raios X, destinados ao uso industrial e médico, são gerados numa ampola de vidro, denominada tubo de Coolidge, que possui duas partes distintas: o anodo e o catodo.

O anodo e o catodo são submetidos a uma tensão elétrica da ordem de milhares de volts, sendo o polo positivo ligado ao anodo e o negativo no catodo. O anodo é constituído de uma pequena parte fabricada em tungstênio, também denominado de alvo, e o catodo de um pequeno filamento, tal qual uma lâmpada incandescente, por onde passa uma corrente elétrica da ordem de miliamperes.



Esquema de um tubo de Raios X Industrial.

Quando o tubo é ligado, a corrente elétrica do filamento, se aquece e passa a emitir espontaneamente elétrons que são atraídos e acelerados em direção ao alvo. Nesta interação, dos elétrons com os átomos de tungstênio, ocorre a desaceleração repentina dos elétrons, transformando a energia cinética adquirida em Raios X.

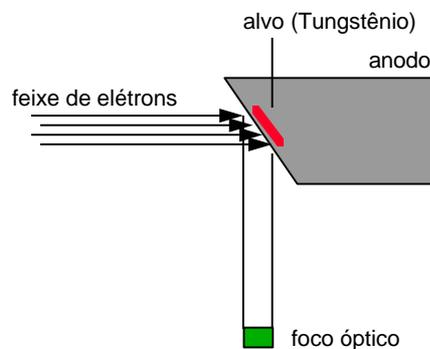
Outros fenômenos de interação dos elétrons acelerados com as camadas eletrônicas dos átomos de tungstênio, também são responsáveis pela emissão dos Raios X.

Os Raios X, são gerados nas camadas eletrônicas dos átomos por variados processos físicos. Caracteriza-se por apresentar um espectro contínuo de emissão ao contrário das radiações gama. Em outras palavras, os Raios X emitidos pelo aparelho apresentam uma variedade muito grande de comprimento de onda ou seja que a energia varia de uma forma contínua.

Equipamentos de Raios X:

Os Raios X são produzidos em ampolas especiais. Os tamanhos das ampolas ou tubos são em função da tensão máxima de operação do aparelho.

Do ponto de vista da radiografia, uma atenção especial deve ser dada ao alvo, contido no anodo. Sua superfície é atingida pelo fluxo eletrônico, proveniente do filamento, e denomina-se foco térmico. É importante que esta superfície seja suficiente grande para evitar um superaquecimento local, que poderia deteriorar o anodo, e permitir uma rápida transmissão do calor.



Corte transversal do anodo direcional , na ampola de Raios X

Para obter-se imagens com nitidez máxima, as dimensões do foco óptico devem ser as menores possíveis. As especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico.

O calor que acompanha a formação de Raios X é considerável, e portanto é necessário especial atenção aos sistemas e métodos para refrigerar o anodo. Esta refrigeração pode ser feita de diversas maneiras:

- Refrigeração por irradiação: Neste caso o bloco de tungstênio, que compõe o alvo, se aquece e o calor se irradia pelo anodo.
- Refrigeração por convecção: O calor irradiado pelo anodo, se transmite ao prolongamento de cobre, o qual está imerso em óleo ou gás, que se refrigera por convecção natural, ou por circulação.
- Refrigeração por circulação forçada de água: A refrigeração descrita em (b), é limitada, principalmente se o aparelho for operado continuamente, exposto ao sol. Neste caso, a circulação de água por uma serpentina interna à unidade geradora, é eficaz, permitindo o uso do aparelho por longos períodos de uso.

Unidade Geradora, Painel de Comando:

Os equipamentos de Raios X industriais se dividem geralmente em dois componentes: o painel de controle e o cabeçote, ou unidade geradora.

O painel de controle consiste em uma caixa onde estão alojados todos os controles, indicadores, chaves e medidores, além de conter todo o equipamento do circuito gerador de alta voltagem. E através do painel de controle que se fazem os ajustes de voltagem e amperagem, além de comando de acionamento do aparelho.

No cabeçote está alojada a ampola e os dispositivos de refrigeração. A conexão entre o painel de controle e o cabeçote se faz através de cabos especiais de alta tensão.

As principais características de um equipamento de Raios X são:

- a - tensão e corrente máxima;
- b - tamanho do ponto focal e tipo de feixe de radiação;
- c - peso e tamanho;

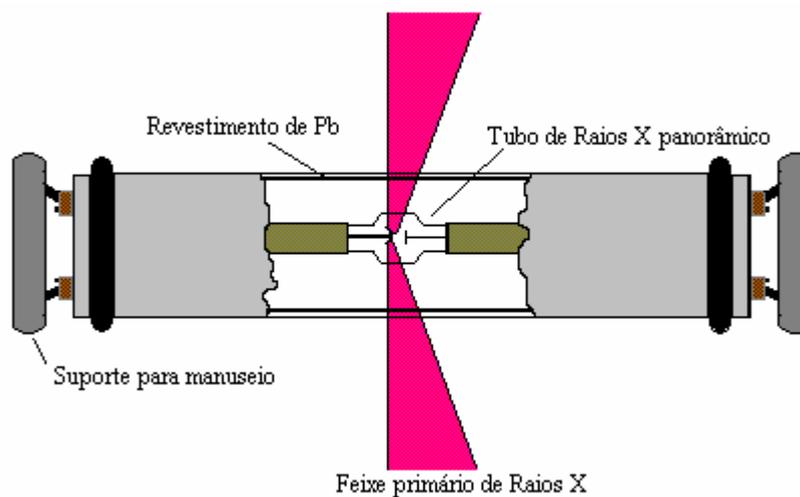
Esses dados determinam a capacidade de operação do equipamento, pois estão diretamente ligados ao que o equipamento pode ou não fazer. Isso se deve ao fato dessas grandezas determinarem as características da radiação gerada no equipamento. A voltagem se refere à diferença de potencial entre o anodo e o catodo e é expressa em quilovolts (kV). A amperagem se refere à corrente do tubo e é expressa em miliamperes (mA).

Outro dado importante se refere à forma geométrica do anodo no tubo. Quando em forma plana, e angulada, propicia um feixe de radiação direcional, e quando em forma de cone, propicia um feixe de radiação panorâmico, isto é, irradiação a 360 graus, com abertura determinada.

Os equipamentos considerados portáteis, com voltagens até 300 kV, possuem peso em torno de 40 a 80 kg, dependendo do modelo. Os modelos de tubos refrigerados a gás são mais leves ao contrário dos refrigerados a óleo.



Aparelhos de Raios X industrial, de até 300 kV



Equipamentos de Raios X panorâmico.

Aceleradores Lineares :

O aceleradores lineares são aparelhos similares aos aparelhos de Raios X convencionais com a diferença que os elétrons são acelerados por meio de uma onda elétrica de alta frequência, adquirindo altas velocidades ao longo de um tubo retilíneo. Os elétrons ao se chocarem com o alvo, transformam a energia cinética adquirida em calor e Raios X com altas energias cujo valor dependerá da aplicação. Para uso industrial em geral são usados aparelhos capazes de gerar Raios X com energia máxima de 4 Mev.

Os Betatrons são considerados como transformadores de alta voltagem o que consiste na aceleração dos elétrons de forma circular por mudança do campo magnético primário, adquirindo assim altas velocidades e consequentemente a transformação da energia cinética em Raios X, após o impacto destes com o alvo. Este processo podem gerar energias de 10 a 30 Mev.

Os aceleradores lineares e os betatrons são aparelhos destinados a inspeção de componentes com espessuras acima de 200 mm de aço. As vantagens do uso desses equipamentos de grande porte, são:

- foco de dimensões reduzidas (menor que 2 mm)
- tempo de exposição reduzido
- maior rendimento na conversão em Raios X



Fotos de um acelerador linear LINAC - Mitsubishi, usado para radiografia industrial de peças com espessura de 20 a 300 mm de aço.

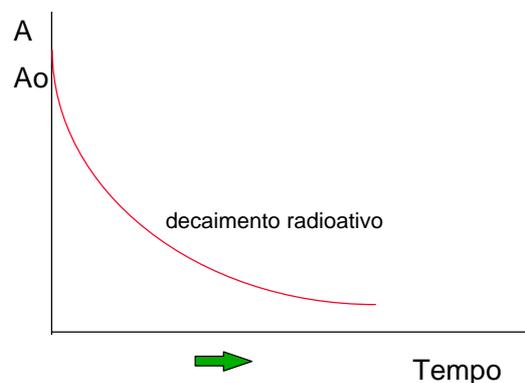
(Foto cedida pela CBC Indústrias Mecânicas – São Paulo)

Equipamentos de Raios Gama:

Com o desenvolvimento dos reatores nucleares, foi possível a produção artificial de isótopos radioativos através de reações nucleares de ativação.

O fenômeno de ativação, ocorre quando elementos naturais são colocados junto ao núcleo de um reator e, portanto, irradiados por neutrons térmicos, que atingem o núcleo do átomo, penetrando nele. Isto cria uma quebra de equilíbrio energético no núcleo, e ao mesmo tempo muda sua massa atômica, caracterizando assim o isótopo. O estabelecimento do equilíbrio energético do núcleo do átomo, é feito pela liberação de energia na forma de Raios gama.

Um átomo que submetido ao processo de ativação, e portanto seu núcleo se encontra num estado excitado de energia passa a emitir radiação. É fácil ver, portanto, que o número de átomos capazes de emitir radiação (A), diminui gradualmente com o decorrer do tempo. A esse fenômeno chamamos de Decaimento Radioativo.



Esquema do Decaimento Radioativo.

Uma característica importante do Decaimento Radioativo é que ele não se processa na mesma velocidade para diferentes elementos. Por exemplo, uma amostra de Co-60 podemos dizer que os átomos se desintegram mais lentamente que no caso de uma amostra de Ir-192. Observe que a relação demonstra que o número de átomos “N” que se desintegram dentro de um certo intervalo de tempo é proporcional a “ λ ”, “No” e “ δt ”. Nessa equação a letra “ λ ” representa uma grandeza denominada de Constância de Desintegração, que significa a razão que a desintegração se processa. Como vimos a Constante de Desintegração é uma característica de cada elemento radioativo.

Resolvendo a equação chegamos, então, à expressão matemática de Lei do Decaimento Radioativo:

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

onde N_0 = número inicial de elétrons excitados.
 N = números de átomos excitados após transcorrido um certo intervalo de tempo.
 e = base dos logaritmo neperiano.
 λ = constante de desintegração, característica do material radioativo.
 t = tempo transcorrido.

É importante observar-se, que o decaimento obedece a uma lei exponencial. Isso significa que o número “N” nunca se tornará zero embora vá assumindo valores progressivamente menores. Em outras palavras, isso significa que um material radioativo sempre estará emitindo alguma radiação, não importando quanto tempo tenha transcorrido desde a sua formação.

Meia Vida:

Quando produzimos uma fonte radioativa, colocamos em estado excitado, um certo número “No” de átomos na fonte. Vimos através da Lei do Decaimento Radioativo que esse número de átomos excitado diminui com o passar do tempo, segundo as características do elemento radioativo.

Portanto, após passado um certo intervalo de tempo, podemos ter no material radioativo exatamente a metade do número inicial de átomos excitados.

A esse intervalo de tempo, denominamos Meia - Vida do elemento radioativo. Como a taxa em que os átomos se desintegram é diferente de um elemento para outro elemento a Meia - Vida também será uma característica de cada elemento.

A Meia - Vida é representada pelo símbolo “ $T_{1/2}$ ” e pode ser determinada pela seguinte equação:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

onde $T_{1/2}$ = meia-vida do elemento.
 λ = constante de desintegração radioativa característico de cada radioisótopo

Atividade de uma Fonte Radioativa:

A atividade de um radioisótopo é caracterizada pelo número desintegrações que ocorrem em um certo intervalo de tempo. Como a atividade apresentada uma proporcionalidade com o número de átomos excitados presentes no elemento radioativo, podemos expressa-la através de uma fórmula semelhante à do Decaimento Radioativo, uma vez que $A = \lambda \cdot N$, ou seja:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

onde A_0 = atividade inicial do elemento radioativo.
 A = atividade do elemento radioativo após transcorrido um certo intervalo de tempo.
 λ = constante de desintegração.
 t = tempo transcorrido.

Como demonstrado no Decaimento Radioativo, a atividade de um certo elemento diminui progressivamente com o passar do tempo, porém nunca se torna igual a zero.

A unidade padrão de atividade é o **Becquerel**, que é definida como sendo a quantidade de qualquer material radioativo que sofre uma desintegração por segundo.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Bq} &= 1 \text{ dps.} & 1 \text{ GBq} &= 10^9 \text{ dps.} \\ 1 \text{ kBq} &= 10^3 \text{ dps.} & 1 \text{ TBq} &= 10^{12} \text{ dps.} \\ 1 \text{ MBq} &= 10^6 \text{ dps.} \end{aligned}$$

$$\text{unidade antiga : 1 Curie} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps.}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq.}$$

As fontes usadas em gamagrafia (radiografia com raios gama), requerem cuidados especiais de segurança pois, uma vez ativadas, emitem radiação, constantemente.

Deste modo, é necessário um equipamento que forneça uma blindagem, contra as radiações emitidas da fonte quando a mesma não está sendo usada. De mesma forma é necessário dotar essa blindagem de um sistema que permita retirar a fonte de seu interior, para que a radiografia seja feita. Esse equipamento denomina-se Irradiador.

Os irradiadores compõe-se, basicamente, de três componentes fundamentais: Uma blindagem, uma fonte radiotiva e um dispositivo para expor a fonte.

As blindagens podem ser construídas com diversos tipos de materiais. Geralmente são construídos com a blindagem, feita com um elemento (chumbo ou urânio exaurido), sendo contida dentro de um recipiente externo de aço, que tem a finalidade de proteger a blindagem contra choques mecânicos.

Uma característica importante dos irradiadores, que diz respeito à blindagem, é a sua capacidade. Como sabemos, as fontes de radiação podem ser fornecidas com diversas atividades e cada elemento radioativo possui uma energia de radiação própria. Assim cada blindagem é dimensionada para conter um elemento radioativo específico, com uma certa atividade máxima determinada. Portanto, é sempre desaconselhável se usar um irradiador projetado para determinado elemento, com fontes radioativas de elementos diferentes e com outras atividades.

Esse tipo de operação só pode ser feita por elementos especializados e nunca pelo pessoal que opera o equipamento. A fonte radioativa consta de uma determinada quantidade de um isótopo radioativo. Essa massa de radioisótopo é encapsulada e lacrada dentro de um pequeno envoltório metálico muitas vezes denominado "porta-fonte", ou fonte selada, simplesmente.

O porta fonte se destina a impedir que o material radioativo entre em contato com qualquer superfície, ou objeto, diminuindo os riscos de uma eventual contaminação radioativa.

Características Físicas e Tipo de Fontes Gama:

(a) **Cobalto - 60**

O Cobalto-60 é obtido através do bombardeamento por nêutrons do isótopo estável Co-59. Suas principais características são:

- Meia - Vida = 5,24 anos
- Energia da Radiação = 1,17 e 1,33 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 60 a 200 mm de aço

Esses limites dependem das especificações técnicas da peça a ser examinada e das condições da inspeção.

(b) **Iródio - 192**

O Iródio-192 é obtido a partir do bombardeamento com nêutrons do isótopo estável Ir-191. Suas principais características são:

- Meia - Vida = 74,4 dias
- Energia da Radiação = 0,137 a 0,65 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço

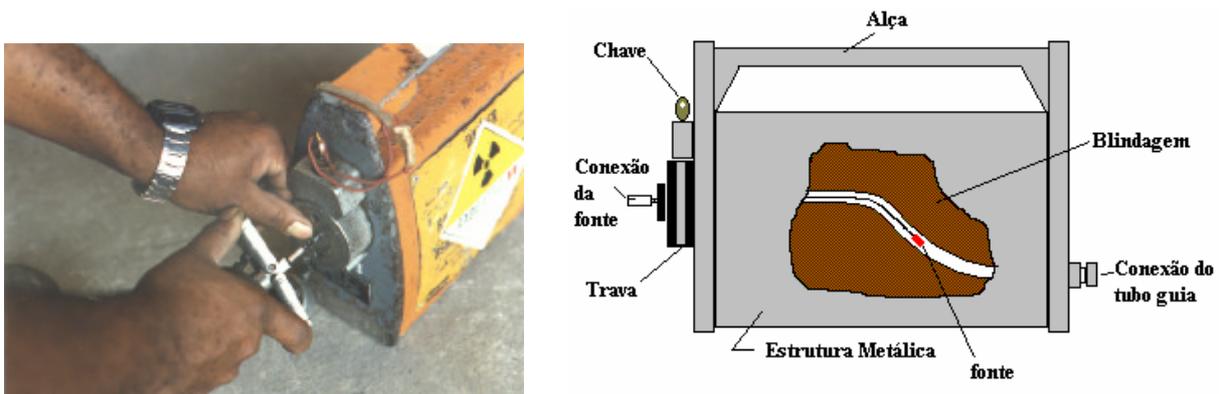
(c) Selênio-75

Suas principais características são:

- Energia de Radiação: 0,066 e 0,405 MeV.
- Meia - Vida = 125 dias
- Faixa de utilização mais efetiva = 4 a 30 mm de aço

Características Físicas dos Irradiadores Gama:

O que mais diferencia um tipo de irradiador de outro são os dispositivos usados para se expor a fonte. Esses dispositivos podem ser mecânicos, com acionamento manual ou elétrico, ou pneumático. A única característica que apresentam em comum é o fato de permitirem ao operador trabalhar sempre a uma distância segura da fonte, sem se expor ao feixe direto de radiação.



Aparelho para gamagrafia industrial.



Aparelho para Gamagrafia Sauerwein, usando Fonte Radioativa de Cobalto 60 com atividade máxima de 30 Curies, pesando 120 kg, projetado com tipo de canal reto.

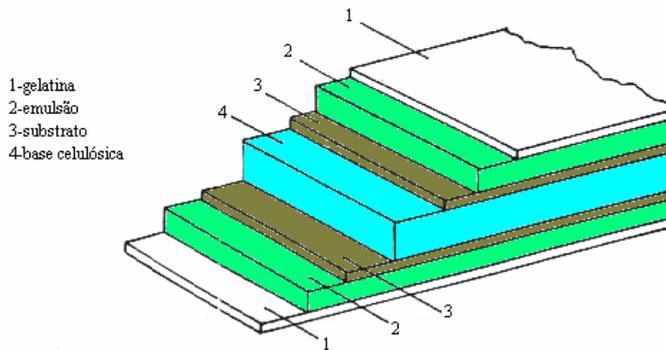
Filmes Radiográficos:

Os filmes radiográficos são compostos de uma emulsão e uma base. A emulsão consiste em uma camada muito fina (espessura de 0,025 mm) de gelatina, que contém, dispersos em seu interior, um grande número de minúsculos cristais de brometo de prata. A emulsão é colocada sobre um suporte, denominado base, que é feito geralmente de um derivado de celulose, transparente e de cor levemente azulada.

Uma característica dos filmes radiográficos é que, ao contrário dos filmes fotográficos, eles possuem a emulsão em ambos os lados da base.

Os cristais de brometo de prata, presentes na emulsão, possuem a propriedade de, quando atingidos pela radiação ou luz, tornarem-se susceptíveis de reagir com produto químico denominado revelador. O revelador atua sobre esses cristais provocando uma reação de redução que resulta em prata metálica negra.

Os locais do filme, atingidos por uma quantidade maior de radiação apresentarão, após a ação do revelador, um número maior de grãos negros que regiões atingidas por radiação de menor intensidade, dessa forma, quando vistos sob a ação de uma fonte de luz, os filmes apresentarão áreas mais escuras e mais claras que irão compor a imagem do objeto radiografado.



Estrutura de um filme radiográfico

Os filmes radiográficos industriais são fabricados nas dimensões padrões de : 3.1/2" x 17" ou 4.1/2" x 17" ou 14" x 17" . Outras dimensões e formatos podem ser encontrados em outros países da Europa e EUA

Granulação:

A imagem nos filmes radiográficos é formada por uma série de partículas muito pequenas de sais de prata, os quais não visíveis a olho nú. Entretanto, essas partículas se unem em massas relativamente grandes que podem ser vistas pelo olho humano ou com auxílio de pequeno aumento. Esse agrupamento das partículas de sais de prata da emulsão cria uma impressão chamada de "Granulação".

Todos os filmes apresentam o fenômeno de granulação. Por possuírem grãos maiores, os filmes mais rápidos apresentam uma granulação mais acentuada que os filmes lentos.

A granulação, além de ser característica de cada filme, também sofre uma influência da qualidade da radiação que atinge o filme. Portanto, podemos afirmar que a granulação de um filme aumenta quando aumenta a qualidade da radiação. Por essa razão os filmes com grãos mais finos são recomendados quando se empregam fontes de alta energia (Raios X da ordem de milhões de volts). Quando usados com exposição longa, esses filmes também podem ser empregados com raios gama.

A granulação é também afetada pelo tempo de revelação do filme. Se aumentarmos, por exemplo, o tempo de revelação, haverá um aumento simultâneo na granulação do filme. Esse efeito é comum quando se pretende aumentar a densidade, ou a velocidade, de um filme por intermédio de um aumento no tempo de revelação. E claro que o uso de tempos de revelação pequenos resultarão em baixa granulação porém corremos o risco de obter um filme sub-revelado. É importante salientar que a granulação aumenta de acordo com o aumento de grau de revelação. Dessa forma, aumentamos no tempo de revelação que visam a compensar atividade do revelador ou a temperatura do banho, terão uma influência muito pequena na granulação do filme.

Densidade Óptica.

A imagem formada no filme radiográfico possui áreas claras e escuras evidenciando um certo grau de enegrecimento que denominamos de Densidade. Matematicamente expressamos a densidade como sendo logaritmo da razão entre a intensidade de luz visível que incide no filme e a intensidade que é transmitida e visualmente observada.

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

onde I_0 = intensidade de luz incidente
 I = intensidade de luz transmitida

Pela relação acima concluímos que quanto maior for densidade, mais escuro será o filme. O Código ASME Art. 2 estabelece que radiografias produzidas com Raios X devem ter densidade óptica na faixa de 1,8 a 4,0 e para radiografias produzidas com Raios Gama densidade de 2,0 a 4,0. O mesmo Código estabelece que as densidades devem ser avaliadas com um **densitômetro** calibrado. Este aparelho eletrônico mede densidades na faixa de 0 – 4,0 e podem ser portáteis e de mesa. A calibração do densitômetro é feita usando uma fita densitométrica aferida como padrão. Esta fita possui vários graus de densidade desde 0,1 até 4,5 e deve ser certificado rastreável ao NIST-National Institute of Standard and Technology. O densitômetro deve responder aos graus de densidade da fita com erro máximo de $\pm 0,05$. Caso isso não ocorra, o densitômetro deve ser calibrado. O Certificado a seguir é um exemplo para uma fita densitométrica usual.

Certificado de calibração de uma fita densitométrica padrão.
Este certificado tem validade de um ano a partir da abertura da sua embalagem.

DATE OF FIRST USE 12-MARCH-2009.



CALIBRATION REPORT
KODAK INDUSTREX Calibrated Step Tablet
 Industrial Imaging
 Eastman Kodak Company
 343 State Street
 Rochester, NY 14650-1802

Serial Number: 3733	Calibration Date: 09-DEC-1998
---------------------	-------------------------------

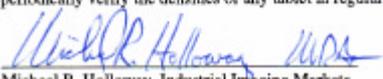
CALIBRATION RESULTS:

Step Number	Density	Rounded Density
1	0.180	0.18
2	0.394	0.39
3	0.623	0.62
4	1.111	1.11
5	1.522	1.52
6	1.810	1.81
7	2.148	2.15
8	2.394	2.39
9	2.746	2.75
10	3.035	3.04
11	3.334	3.33
12	3.532	3.53
13	3.857	3.86
14	3.952	3.95
15	4.176	4.18
16	4.409	4.41
17	4.649	4.65

STATEMENT OF MEASUREMENT UNCERTAINTY:
 The estimated overall uncertainty (combined accuracy and precision at 95% confidence) of the values given in the center column above is +/- 0.014 or 1.4% of the reported density, whichever is greater.

NOTES:

1. This KODAK INDUSTREX Calibrated Step Tablet is intended for use in the calibration of densitometers and similar equipment used in making diffuse transmission density measurements. This step tablet has been exposed onto KODAK INDUSTREX M film.
2. The densities were calibrated by a method that conforms to conditions specified for ISO Standard Visual Diffuse Transmission Density, $D_T(\leq 10^\circ; S_{H^{\circ}opal}; V_T)$, in ANSI/NAPM IT2.19-1995 and ISO 5-2:1991 "Density Measurements - Geometric Conditions for Transmission Density," and in ANSI PH2.18 and ISO 5-3:1995 "Density Measurements - Spectral Conditions." Measurements were performed in a 3mm diameter circular area at the center of each step with the identification number facing the densitometer diffuser. Reported values apply to the measured area only. Step number 9 is indicated on the strip with reference marks.
3. The density values reported above are traceable to NIST (the United States National Institute of Standards and Technology) through a NIST X-Ray Film Step Tablet, Standard Reference Material 1001, serial number 9701160.
4. The life of the step tablet, and validity of the calibration, are dependent on storage and handling. The step tablet should be handled by the edges and stored in a cool, dry place where it will not be exposed to light, other radiant energy or chemical fumes. If the tablet becomes scratched or contaminated by fingerprints or chemical fumes, it should be replaced as the densities of the affected steps will have changed. We recommend that the step tablet be replaced two years from the date of first use. We suggest that a second carefully stored KODAK INDUSTREX Step Tablet be kept for use as a reference to periodically verify the densities of any tablet in regular use.



Michael R. Holloway, Industrial Imaging Markets
Eastman Kodak Company

Page 1 of 1 page



Velocidade:

Antes de introduzirmos o conceito de velocidade é preciso definir o que entendemos por exposição. É uma medida da quantidade de radiação que atinge um filme. Ela é representada pelo produto da intensidade da radiação pelo tempo que o filme fica exposto. É evidente, portanto, quanto maior a exposição a que submetemos um filme, maior a densidade que esse filme atinge. Se submetemos dois filmes diferentes a uma mesma exposição, notaremos que as densidades obtidas nos dois filmes serão diferentes. Ou seja, com uma mesma exposição, um filme apresenta maior rapidez com que um filme atinge determinada densidade, quando comparado com um outro filme. Portanto, um filme rápido necessita de menor tempo de exposição para atingir uma determinada densidade, que num

outro filme, mais lento. Ou ainda, se um filme rápido e um filme lento forem submetidos a uma exposição idêntica, o filme rápido atingirá uma densidade maior.

A velocidade é uma característica própria de cada filme. Ela depende, principalmente, do tamanho dos cristais de prata presentes na emulsão. Quanto maior o tamanho dos cristais mais rápido é o filme. É claro que uma imagem formada por grãos de grandes dimensões é mais grosseira, ou seja, menos nítida, que uma imagem formada por grãos menores. Portanto, quanto mais rápido o filme, menos nítida será a imagem formada por ele.

Os filmes de grande velocidade podem ser utilizados em radiografias de peças com grandes espessuras que exigiria um tempo de exposição incompatível com a produtividade, quando utilizado filmes mais lentos.

Classificação dos Filmes:

A grande variedade de condições e a heterogeneidade de materiais encontrados na radiografia industrial, levaram os fabricantes a produzir várias espécies de filmes. A velocidade de exposição é função logarítmica da dose de radiação necessária para que o filme atinja densidade óptica de 2,0.

- **Tipo 1** - Características: granulação extremamente fina e muito alto contraste. Esse tipo de filme deve ser usado quando se deseja obter alta qualidade de imagem em componentes eletrônicos, ligas leves. Pode ser usado em exposição direta ou com telas intensificadoras.
- **Tipo 2** - Características: granulação ultra fina alto contraste e qualidade. Deve ser usado em ensaios de metais leves ou pesados, ou seções espessas, com radiação de alta energia. Sua granulação não é fina como a dos filmes do tipo A, mas sua maior velocidade torna-os de grande utilidade prática. É um filme ideal para ampliações ópticas.
- **Tipo 3** - Características: média velocidade, alto contraste, granulação extra fina. Podem ser usados com ou sem telas intensificadoras e com radiação de alta energia.
- **Tipo 4** - Características: Filme com granulação muito fina e com alta velocidade e alto contraste quando utilizado em conjunto com telas intensificadoras de chumbo.

Telas Intensificadoras de Imagem

Telas de chumbo:

As telas de chumbo também chamadas de telas intensificadoras possuem como finalidade diminuir o tempo de exposição em ensaios radiográficos industriais, usam-se finas folhas de metal (geralmente chumbo) com intensificadoras da radiação primária emitida pela fonte. O fator de intensificação, além de ser função da natureza e da espessura da tela, depende do contato efetivo entre elas e o filme.

As telas intensificadoras de chumbo geralmente são colocadas sobre cartolina com espessura da ordem de 100 gramas por centímetro quadrado. Essa cartolina deve ter espessura constantes para evitar que qualquer falta de homogeneidade prejudique a qualidade da radiografia.

A tela intensificadora de chumbo precisa ter uma espessura ideal para determinada energia da radiação incidente, pois, caso contrário, a eficiência dela será reduzida.

A atenuação da intensidade da radiação primária em uma tela intensificadora de chumbo será insignificante, desde que esta tela tenha a espessura ideal que deve ser igual ao alcance dos elétrons emitidos pela folha de chumbo. Os elétrons que são emitidos por uma face devem atingir a face oposta e consequentemente o filme produzindo ionização adicional na emulsão fotográfica. Quando se aumenta a espessura da tela de chumbo, a radiação primária e os elétrons emitidos pela face oposta dessa tela sofrem atenuação, e em consequência o fator de intensificação diminui.

O grau de intensificação das telas de chumbo depende da natureza e espessura do material a ensaiar, da qualidade da fonte emissora de radiação e do tipo de filme usado.

As funções das telas intensificadoras de chumbo em radiografia industrial devem ser as seguintes:

- gerar elétrons por efeito fotoelétrico ou Compton, produzindo fluxo adicional de radiação e diminuindo o tempo de exposição;
- absorver ou filtrar a radiação secundária espalhada que pode atingir o filme radiográfico, borrando a imagem e empobrecendo a definição.

Os Chassis Industriais

O chassis para armazenar o filme para a exposição é fabricado na forma de um envelope plástico duplo reforçado, flexível para acompanhar a curvatura ou irregularidades da peça a ser inspecionada. Os tamanhos padrão são iguais aos dos filmes.

Dentro chassis é inserido as telas intensificadoras de imagem e no meio o filme. O chassis é fechado com fita adesiva para evitar a entrada de luz. Identificações de chumbo sobre o objeto que será radiografado podem ser fixados sobre ele.



Chassis plástico flexível típico industrial tamanho 4,5 x 8,5 polegadas

Parâmetros Específicos do Ensaio Radiográfico

Princípios Geométricos:

Suponhamos uma fonte emissora de radiação com diâmetro F , muito pequeno, que pode, para efeitos didáticos, ser considerado um ponto. Neste caso, colocando-se um objeto entre o foco puntiforme e um filme radiográfico teríamos uma imagem muito nítida. Se aumentarmos o diâmetro do foco para o valor F e o aproximarmos do objeto, obteremos uma imagem no filme (depois de revelado) com uma zona de penumbra, perdendo essa imagem muito da sua nitidez (definição).

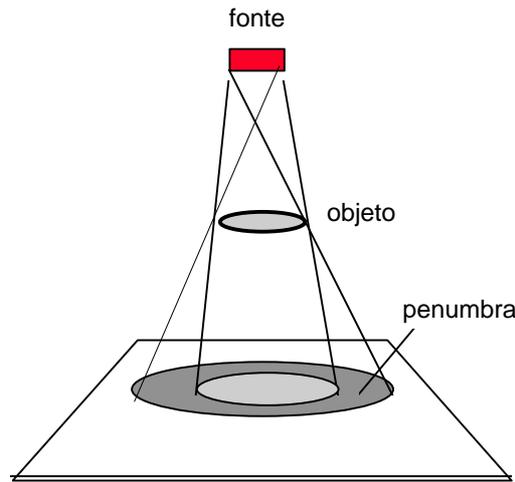
Na prática, deve-se levar em conta que a fonte radioativa possui dimensões compreendidas entre 1 mm e 7 mm de tamanho, dependendo da natureza e atividade do radioisótopo. Quando a distância fonte-filme for muito pequena, para efeito de cálculo de penumbra, é impossível considerá-la como um ponto. A ampliação é problema de geometria, e a nitidez ou definição é função da fonte emissora de radiação e da posição do material situado entre a fonte e o filme. Quando a fonte possui diâmetro considerável ou está muito próxima do material, a sombra ou imagem não é bem definida.

A forma de imagem poderá ser diferente da que tem o material se o ângulo do plano do material variar em relação aos raios incidentes, produzindo neste caso uma distorção da imagem.

Para obtenção de imagens bem definidas ou próximas da fonte e tamanho do objeto, devemos ter:

- o diâmetro da fonte emissora de radiação deve ser o menor possível;
- a fonte emissora deve estar posicionada o mais afastado possível do material a ensaiar;
- o filme radiográfico deve estar mais próximo do material;
- o feixe de radiação deve se aproximar o mais possível, da perpendicularidade em relação ao filme;
- o plano do material e o plano do filme devem ser paralelos.

A distorção da imagem não pode ser totalmente eliminada em virtude dos formatos complicados das peças e dos ângulos de que se dispõem para a realização do ensaio radiográfico.



Disposição Geométrica entre fonte-filme-objeto.

Cálculo da Distância Mínima Fonte-Objeto , Sobreposição entre Filmes:

A penumbra geométrica pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$D = \frac{F \times t}{U_g}$$

- onde: U_g = penumbra geométrica máxima aceitável, ver tabela no ASME Art. 2 abaixo
 F = dimensão do ponto focal
 t = espessura do objeto
 D = distância da fonte ao objeto.

Tabela de Penumbra Máxima Aceitável

Espessura do material polegadas (mm)	Valor máx. da penumbra polegadas (mm)
abaixo de 2 (51 mm)	0,020 (0,51 mm)
de 2 até 3 (75 mm)	0,030 (0,76 mm)
acima de 3 até 4 (100mm)	0,040 (1,02 mm)
maior que 4 (100 mm)	0,070 (1,78 mm)

Conf. ASME Sec. V Art. 2

A inspeção radiográfica de objetos planos, tal como juntas soldadas de topo a serem radiografadas totalmente, requerem cuidados especiais quanto a distância fonte-filme, pois nesses casos se essa distância for muito pequena seções da solda poderão não ser inspecionadas.

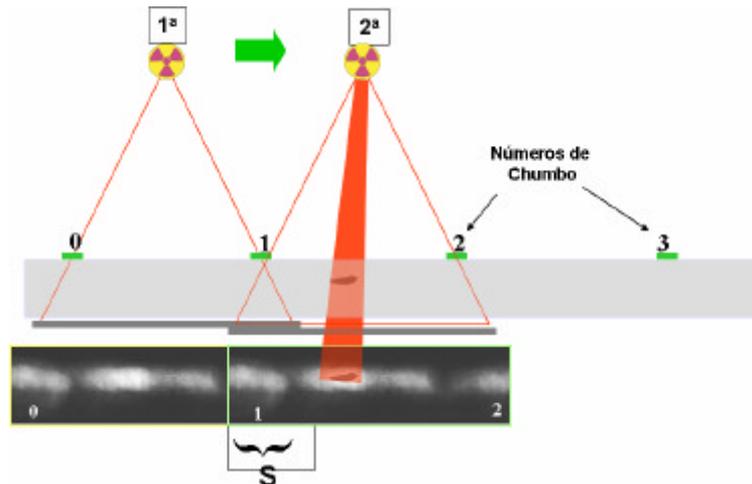
Sobreposição e Marcadores de Posição:

Quando o objeto radiografado for plano ou quando a distância fonte-filme for menor que o raio de curvatura da peça, a sobreposição deverá ser calculada pela fórmula:

$$S = \frac{C \times e}{D_{ff}} + 6 \text{ mm}$$

- onde: S = Sobreposição (mm)
 C = Comprimento do filme (mm)
 e = Espessura da peça (mm)
 D_{ff} = Distância fonte-filme (mm)

A sobreposição correta permite que o volume de solda seja totalmente inspecionado. Na prática, a análise da imagem dos marcadores de posição na radiografia, indica se este procedimento foi adequado.



Sobreposição entre filmes para a cobertura total.

Controle da Sensibilidade Radiográfica:

Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI's (Penetramentos):

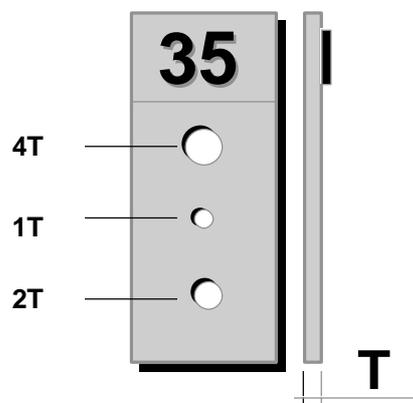
Para que possamos julgar a qualidade da imagem de uma certa radiografia são empregadas pequenas peças chamadas Indicadores de Qualidade de Imagem (IQI), e que são colocadas sobre o objeto radiografado. Os IQIs são também chamados como “Penetramentos”.

O IQI é uma pequena peça construída com um material radiograficamente similar ao material da peça ensaiada, com uma forma geometricamente simples e que contem algumas variações de forma bem definidas tais como furos ou entalhes.

IQI ASME e ASTM.

Os IQI's americanos mais comuns consistem em uma fina placa de metal contendo três furos com diâmetros calibrados. Os IQIs adotados pela Normas ASME, Sec V e ASTM E-142, possuem três furos cujos diâmetros são 4T, 2T, e 1T, onde “T” corresponde à espessura do IQI. Nesses IQIs, a espessura é igual a 2 % da espessura da peça a ser radiografada .

Para avaliar a técnica radiográfica empregada, faz-se a leitura do menor furo, que é visto na radiografia. As classes de inspeção mais rigorosas são aquelas que requerem a visualização do menor furo do IQI. Dessa forma, é possível se determinar o nível de inspeção, ou seja, o nível mínimo de qualidade especificado para o ensaio. O nível de inspeção é indicado por dois números em que o primeiro representa a espessura porcentual do IQI e o segundo o diâmetro do furo que deverá ser visível na radiografia.



IQI ASME ou ASTM tipo Furos

Esses IQI's devem ser colocados sobre a peça ensaiada, com a face voltada para a fonte e de modo que o plano do mesmo seja normal ao feixe de radiação.

Quando a inspeção for feita em soldas, o IQI será colocado no metal de base, paralelo à solda e a uma distância de 3 mm no mínimo. No caso de inspeção de solda, é importante lembrar que a seleção do IQI inclui o reforço, de ambos os lados da chapa.

Portanto, para igualar a espessura sob o IQI à espessura da solda, deverão ser colocados calços sob o IQI feitos de material radiograficamente similar ao material inspecionado. Para efeito da determinação da área de interesse não devem ser considerados os anéis ou tiras de cobre-junta caso existam.

Sempre que possível, o IQI deverá ser colocado no lado da peça, voltado para a fonte. Caso isso não seja possível, o IQI poderá ser colocado no lado voltado para o filme, sendo nesse caso acompanhado de uma letra "F", de chumbo.

Em radiografia de componentes cilíndricos (tubos, por exemplo) em que são expostos mais de um filme por sua vez, deverá ser colocado um IQI por radiografia. Apenas no caso de exposições panorâmicas, em que todo o comprimento de uma junta circunferencial é radiografado com uma única exposição, é permitida a colocação de três IQI igualmente espaçados. A disposição em círculo de uma série de peças iguais, radiografadas simultaneamente, não é considerada como panorâmica para efeito de colocação de IQI, sendo necessário que a imagem do mesmo apareça em cada uma das radiografias.

Quando porções de solda longitudinal forem radiografadas simultaneamente com a solda circunferencial, IQI adicionais devem ser colocados nas soldas longitudinais, em suas extremidades mais afastadas da fonte.

Para componentes esféricos, onde a fonte é posicionada no centro do componente e mais de um filme é exposto simultaneamente deverão ser usados, pelo menos 3 IQI's, igualmente espaçados, para cada 360 graus de solda circunferencial mais um IQI adicional para cada outro cordão de solda inspecionado simultaneamente.

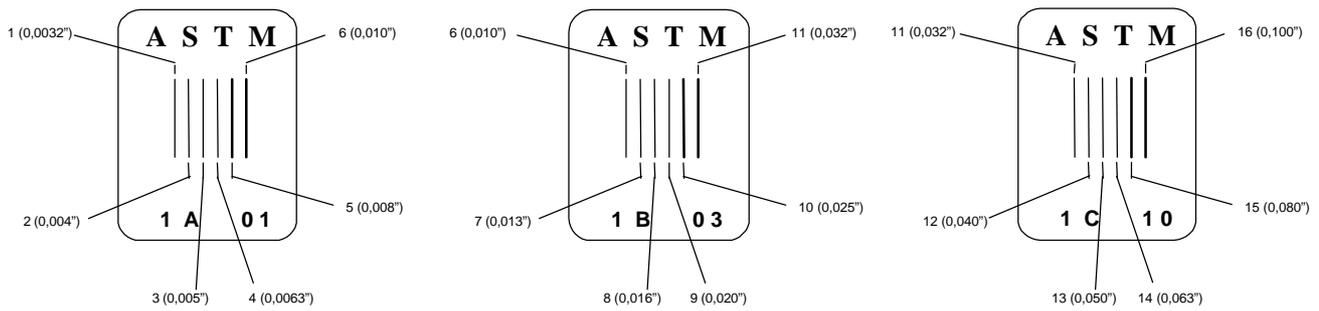
Seleção do IQI ASME em função da Espessura do Material

Espessura do material						IQI – Tipo Furos e Tipo Fios					
						Lado Fonte			Lado Filme		
						Nº	Furo essencial	Arame essencial*	Nº	Furo essencial*	Arame essencial
(mm)			(pol.)								
		6,4			0.25	12	2T	5	10	2T	4
> 6,4	≤	9,5	>0.25	≤	0.375	15	2T	6	12	2T	5
>9,5	≤	12,7	>0.375	≤	0.50	17	2T	7	15	2T	6
>12,7	≤	19,0	>0.50	≤	0.75	20	2T	8	17	2T	7
>19,0	≤	25,4	>0.75	≤	1.00	25	2T	9	20	2T	8
>25,4	≤	38,1	>1.00	≤	1.50	30	2T	10	25	2T	9
>38,1	≤	50,8	>1.50	≤	2.00	35	2T	11	30	2T	10
>50,8	≤	63,5	> 2,00	≤	2,50	40	2T	12	35	2T	11
>63,5	≤	101,6	>2,50	≤	4,00	50	2T	13	40	2T	12
>101,6	≤	152,4	>4,00	≤	6,00	60	2T	14	50	2T	13

Fonte: Código ASME Sec. V , Artigo 2 , Tab. T-276

IQI ASTM DE FIOS

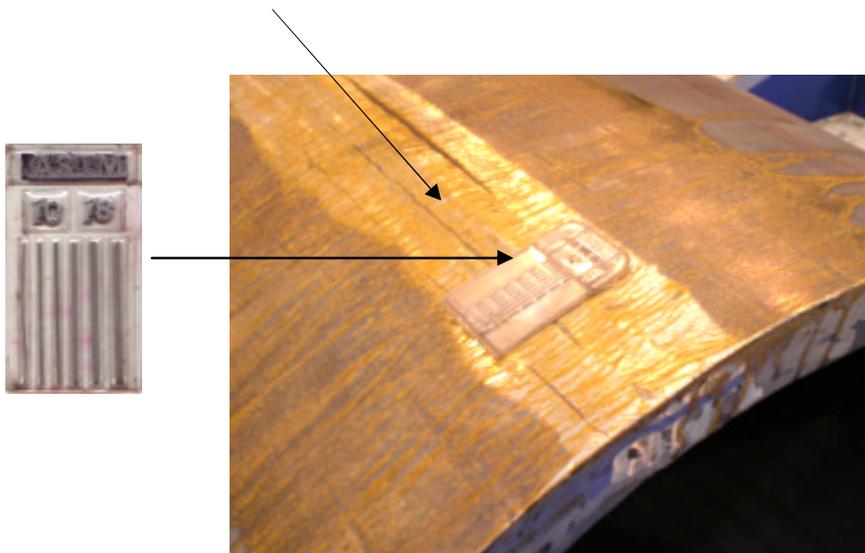
A norma ASTM E- 747 descreve um tipo de IQI denominado tipo fios, que trata de um conjunto de 5 fios de material similar ao do material a ser radiografado com diâmetros diferentes , desde o mais fino até o mais grosso, selados em um envelope plástico transparente, contendo identificações e informações sobre o IQI. O IQI deve ser colocado sobre a área de interesse ,no caso de soldas os fios devem estar aproximadamente perpendiculares ao cordão de solda. A seleção do IQI deve ser feita com base na espessura a ser radiografada , verificando qual o fio essencial que deverá ser visualizado na radiografia, conforme a tabela.



Alguns tipos mais usados de IQI's ASME ou ASTM tipo fios, para aço carbono. Os números indicam os diâmetros dos fios em polegadas, as letras "A", "B" e "C" identificam o conjunto de fios ou o próprio IQI

O IQI, sempre que possível, deve ser colocado sobre a peça voltado para a fonte. Deve ser colocado sobre a solda de forma que os arames estejam perpendiculares à linha da solda, e de forma que sua imagem apareça na zona central da radiografia.

linha de solda



Uso do IQI ASTM tipo fios, numa junta soldada com reforço esmerilhado

O número da qualidade de imagem é o número do arame mais fino visível na radiografia. O número de qualidade de imagem requerido, é definido para cada faixa de espessura de material. A classe de qualidade de imagem é função do rigor com que a inspeção deve ser feita e deve ser especificado pelo fabricante ou projetista do equipamento.

Os IQI's tipo fios, são fornecidos com certificados de calibração quanto ao dimensional dos diâmetros dos fios. Como tais IQI's são selados em plástico não será necessário recalibrar novamente, enquanto eles assim permanecer.

Certificado de Calibração dos Fios do IQI ASTM



JEM Manufacturing Corporation
 225 Arlington Street
 Framingham, MA 01701-8723
 Tel: 508 872-9299 Fax: 508 875-2062
www.jemtesting.com
 JEM Order # 7550

CERTIFICATION

This to certify the JEM wire image quality indicators listed as shipped on our above order were measured and tested before shipment to assure conformance to revision of ASTM E747-97 and ASME sec V article 22 SE 747-90. The calibration system was designed according to MIL-STD45662A to control the accuracy of the measuring and test equipment, and the quality assurance program is according to MIL-Q-9858A.

I. SERIAL NUMBERS of image quality indicators furnish on the above purchase order included the following:

SERIALIZATION AND DIMENSIONAL INSPECTION REPORT
ASTM 747 WIRE PENETRAMETERS

IQI	MATERIAL	SET ID	WIRE MEASUREMENTS IN INCHES							
			SERIAL #	GRADE	ASTM E	WIRE 1	WIRE 2	WIRE 3	WIRE 4	WIRE 5
G 2881	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2882	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2883	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2884	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2885	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2886	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2887	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2888	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	
G 2889	Stainless Steel 1	1A		.0032	.0040	.0050	.0063	.0080	.0100	

II. MECHANICAL: The material listed above were mechanically control as follows:

A. Wire diameter measurements were made utilizing a Fowler electronic digital micrometer model Digitrix II, serial No. JEM DX 1, and/or an Mitutoyo Electronic Digital Caliper (Model CD-4"CS.-Cal, Serial No. 0003048) which were calibrated using Van Kueren Calibrated Microgages traceable to NIST Test No. 821/261910-99, using Starrett Webber Gage Div. Calibrated Micro gage Blocks (Serial No. GLZ15). The Starrett Webber Gage Div. Gage Blocks are calibrated annually to master standards traceable to NIST Test No. 821/265881-01.

B. Wire diameter measurements were measured by Nikon measurescope Model 10, serial No. 10178, which was calibrated against setting standards traceable to NIST.

C. Recalibration of master Standards is performed on an annual basis and is traceable to NIST.

D. All measurements by this organization are performed at standard room temperatures 65F 75F.

III. CHEMICAL

A. All wire lots are purchased with mill certification of chemical composition. In addition, all incoming lots of wire are chemically analyzed on a sample lot basis.

B. Image quality Indicators lots are nondestructively tested before manufacture with a thermoelectric sorter according to Standard Practice ASTM E 977. Materials are tested against known standards that have been chemically analyzed and are traceable to Techni Corp. Metal Sample Kit P/N 108 serial # 108-364.

Certified correct by: 

Note: Current edition approved July 25, 1997. Published November 1997.
 Originally published as E747-80. Last Previous edition E747-94.
 For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications See Related Practice SE-747 in Section II of the Code.
 Manufacturers of: Certified Wire and Hole Type Penetrators (IQIs).
 Distributors of: Radiographic Testing Ultrasonic Flaw Calculators, Radiation Exposure Calculators Equipment and Supplies.
 Form JEM-IQI-8/02

IQI TIPO FIOS CONFORME EN-462-1

O IQI fabricado conforme a norma EN-462 Part 1, é constituído por 7 arames, dispostos paralelamente, cujo material é radiograficamente similar ao material ensaiado.

A relação entre o diâmetro do arame e seu número respectivo é descrito na norma indicada. Os arames foram divididos em quatro grupos, a saber: W1 a W7, W6 a W12 e W10 a W16 e W13 a W19. A letra "W" do inglês "wire", significa tipo fios. Quanto maior o número, menor seu diâmetro, o que determina os níveis de qualidade especificado na tabela 4.



Cada IQI se caracteriza pelas identificações : Ex. 10 FE EN (ver fig. ao lado)

- a norma EN 462-1

- o fio mais grosso - W10

- a abreviatura do material do arame, no exemplo- FE.

A identificação completa, como descrita acima, pode ser abreviada como por exemplo: W 10 FE. O IQI EN-462 . O IQI deve ser colocado sobre a solda ou área de interesse, com o fio essencial na mesma direção do eixo principal de radiação, para garantir maior sensibilidade possível.



IQI conforme a norma EN-462 Parte 1 (antiga DIN 54109 Part 1)

Cálculo do tempo de Exposição do Filme Radiográfico:

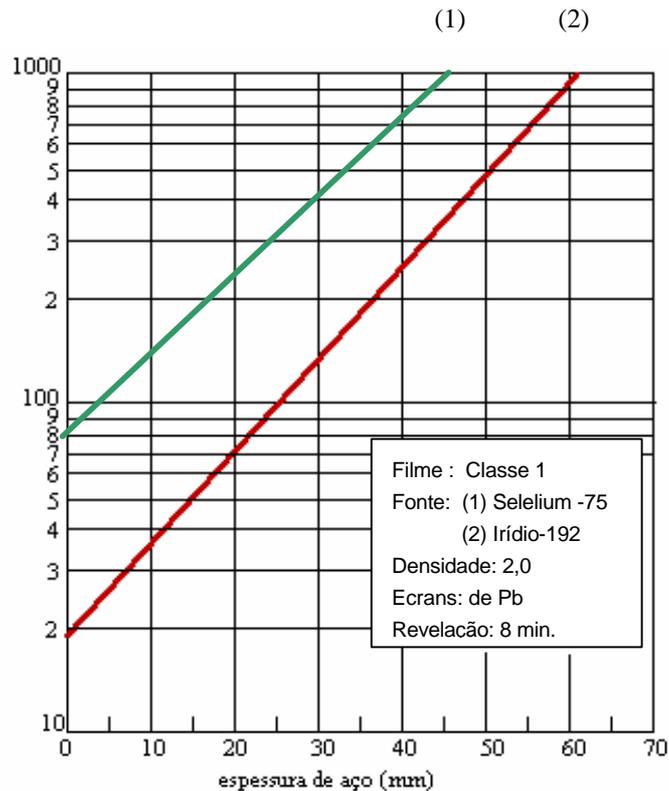
Curvas de exposição para gamagrafia.

O tipo mais comum de curva de exposição é o que correlaciona o fator de exposição com a atividade da fonte, tempo de exposição e distância fonte-filme. Numericamente, o fator de exposição é representado pela formulação:

$$FE = \frac{A \cdot t}{d^2}$$

onde:

- FE = fator de exposição;
- A = atividade da fonte em milicuries;
- t = tempo de exposição em minutos;
- d = distância fonte-filme em centímetros.



Fator de Exposição para Selenium-75 e Ir-192 , para aços

Exemplo de aplicação:

Suponhamos, que se realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 1,5 cm de espessura para obter uma densidade radiográfica de 2,0. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de Ir-192 com atividade 20 Ci e filme Tipo 1.

Pelo gráfico de exposição conclui-se que para 1,5 cm de espessura de aço, na densidade radiográfica de 2,0, corresponde um fator de exposição igual a 50. Lembrando que 20 Ci correspondem a 20.000 milicuries.

Tem-se:

$$50 = \frac{20.000 \times t}{d^2}$$

Observa-se que podemos fixar uma das duas variáveis, tempo de exposição ou distância fonte-filme.

Quando o tempo de exposição é não muito importante, pode-se escolher uma distância fonte-filme adequada, para melhorar a qualidade radiográfica. Supondo que a distância fonte-filme é 60 cm, tem-se:

$$50 = \frac{20.000 \times t}{3600}$$

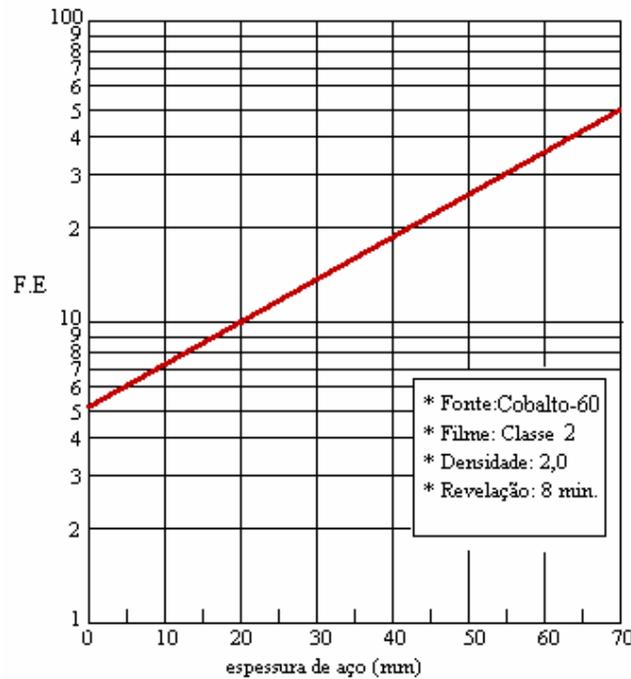
$$t = 9,0 \text{ minutos}$$

Existem outras formas de calcular o tempo de exposição para fontes radioativas, utilizando as curvas de exposição Curies-hora e Espessura de Aço, nessas curvas figuram várias retas representando diferentes densidades radiográficas e elas só podem ser realmente eficientes quando forem obedecidas as condições de revelação, de telas intensificadoras e tipo de filme.

Quando for muito pequena ou muito grande a distância fonte-filme utilizada na construção da curva de exposição pode-se alterá-la levando em conta a lei do inverso do quadrado da distância.

Para a determinação de um tempo de exposição é necessário, primeiramente a espessura da peça a ensaiar. A seguir, escolhe-se a fonte radioativa e o filme mais apropriado para esse isótopo.

Determina-se a atividade da fonte radioativa na hora do ensaio e fixa-se a distância fonte-filme. A seguir, escolhe-se a densidade radiográfica e determina-se o tempo de exposição. Pode ocorrer, e na prática de fato ocorre muitas vezes, que o tempo de exposição calculado não é adequado porque o fabricante mudou as características de seus filmes, ou porque elas variam de lote para outro. Em qualquer desses casos, só a experiência prática ensinará introduzir modificações oportunas.



Fator de Exposição para Co-60 , para aços

Curvas de exposição para Raios X.

O primeiro fator a ser determinado em uma exposição com Raios X, é a voltagem (energia) a ser usada. Essa voltagem deverá ser suficiente para assegurar ao feixe de radiação energia suficiente para atravessar o material a ser inspecionado. Por outro lado, uma energia muito alta irá causar uma diminuição no contraste do objeto, diminuindo a sensibilidade da radiografia. De forma a tornar compatíveis esses dois fatores, foram elaborados gráficos que mostram a máxima voltagem a ser usada para cada espessura de um dado material. É muito importante lembrar que, como materiais diferentes absorvem quantidades diferentes de radiação, existem gráficos para cada tipo de material a ser radiografado.

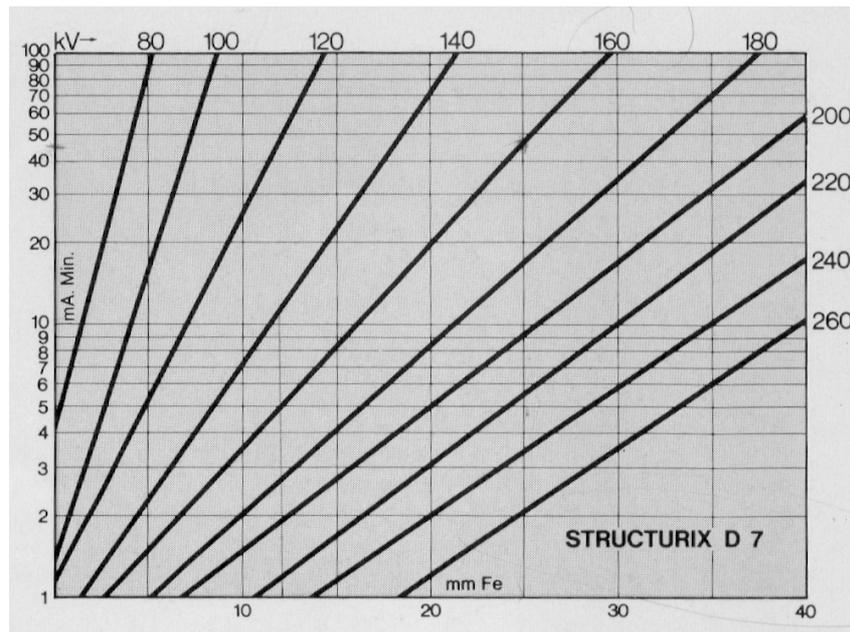
É importante notar que cada gráfico fixa uma série de fatores como segue:

- material inspecionado
- tipo e espessura das telas
- densidade óptica do filme
- distância do foco-filme
- tipo de filme usado
- tempo e temperatura de revelação do filme

Se qualquer um desses fatores for alterado, o gráfico perderá a sua validade, fornecendo resultados imprecisos. Outro fator importante, é que esses gráficos só são válidos, também, para um determinado aparelho.

Normalmente, os aparelhos de Raios X, são fornecidos com uma série de gráficos que permitem a sua utilização em uma vasta gama de situações. A escolha da miliamperagem e ou do tempo de exposição, prende-se à capacidade do aparelho, usando-se o que for mais conveniente.

O cálculo do tempo de exposição de filmes para aparelhos de Raios-X pode ser calculado com auxílio do gráfico fornecido pelo fabricante do aparelho ou do filme.



Curva de Exposição para Raios X , direcional, para aço carbono. A distância fonte-filme é fixada em 700 mm
(Extraído do catalogo da AGFA)

Avaliação da Qualidade da Imagem

Identificação do Filme:

Na identificação do filme deve conter informações importantes tais como: data do ensaio, identificação dos soldadores, no caso de juntas soldadas, identificação da peça e local examinado, número da radiografia, identificação do operador e da firma executante.

Todas essas informações devem aparecer claramente no filme radiográfico, para permitir a rastreabilidade do ensaio. Tais informações poderão ser feitas a partir de letras e números de chumbo dispostos sobre o porta-filmes exposto juntamente com o filme registrando-o de modo permanente. Poderá também ser utilizado o sistema de telas fluorescentes que consiste em escrever no papel vegetal ou similiar toda a identificação do filme e o mesmo colocado junto a tela fluorescente. Este conjunto é montado previamente junto ao filme radiográfico entre a tela trazeira, na câmara escura, e posteriormente exposto, registrando de modo permanente no filme, toda a identificação.

Determinação da Densidade Radiográfica:

A densidade óptica deve ser medida a partir de aparelhos eletrônicos (densitômetro), ou fitas densitométricas calibradas, especialmente feitas para esta tarefa. A densidade deve ser sempre medida sobre área de interesse, por exemplo, sobre a imagem do cordão de solda, no caso de juntas soldadas, e o valor numericamente é normalmente recomendado uma faixa de 1,8 até 4,0 , sendo que a faixa mais usual e aceitável pelas principais normas e especificações, é de 2,0 a 3,5. Procedimentos para calibração do densitômetro e da fita densitométrica deverão ser previstos.

Análise do IQI:

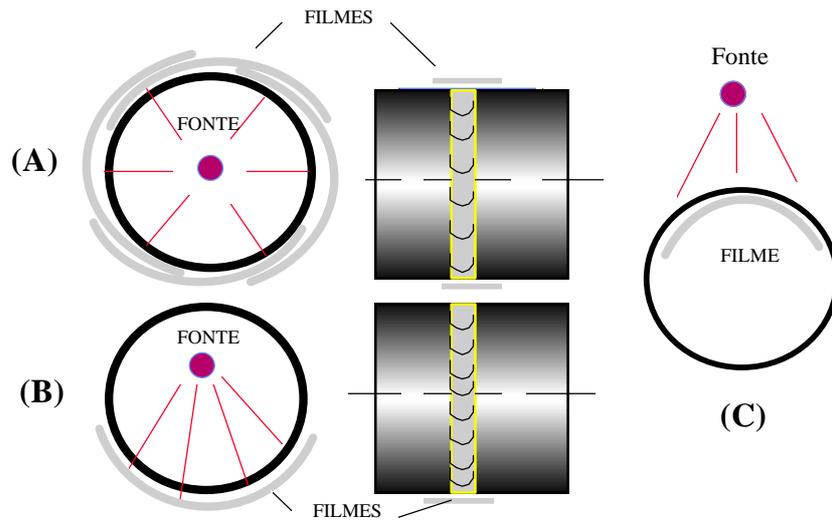
O indicador de qualidade da imagem ou IQI, deve aparecer na radiografia de maneira clara que permita verificar as seguintes informações: se o número do IQI está de acordo com a faixas de espessura radiografada, se o tipo de IQI está de acordo com a norma de inspeção, se o furo ou arame essencial são visíveis sobre a área de interesse, se o posicionamento foi corretamente feito, e finalmente em se tratando do IQI ASME ou ASTM, se a densidade no corpo do IQI está próxima a da área de interesse.

Técnicas de Exposição Radiográfica:

As disposições e arranjos geométricos entre a fonte de radiação, a peça, e o filme, devem seguir algumas técnicas especiais tais que permitam uma imagem radiográfica de fácil interpretação e localização das discontinuidades rejeitadas. Algumas destas técnicas que apresentamos a seguir são largamente utilizadas e recomendadas por normas e especificações nacionais e internacionais.

Técnica de Parede Simples (PSVS):

Essa técnica é assim chamada pois no arranjo entre a fonte de radiação, peça e filme, somente a seção da peça que está próxima ao filme será inspecionada e a projeção será em apenas uma espessura do material. É a principal técnica utilizada na inspeção radiográfica, e a mais fácil de ser interpretada.



Técnica de exposição parede simples - vista simples

Exposição Panorâmica:

Esta técnica constitui um caso particular da técnica de parede simples vista simples descrita acima, mas que proporciona alta produtividade em rapidez num exame de juntas soldadas circulares com acesso interno.

Na técnica panorâmica a fonte de radiação deve ser centralizada no ponto geométrico equidistante das peças e dos filmes, ou no caso de juntas soldadas circulares a fonte deve ser posicionada no centro da circunferência. Com isso numa única exposição da fonte, todos os filmes dispostos a 360 graus serão igualmente irradiados, possibilitando assim o exame completo das peças ou das juntas.



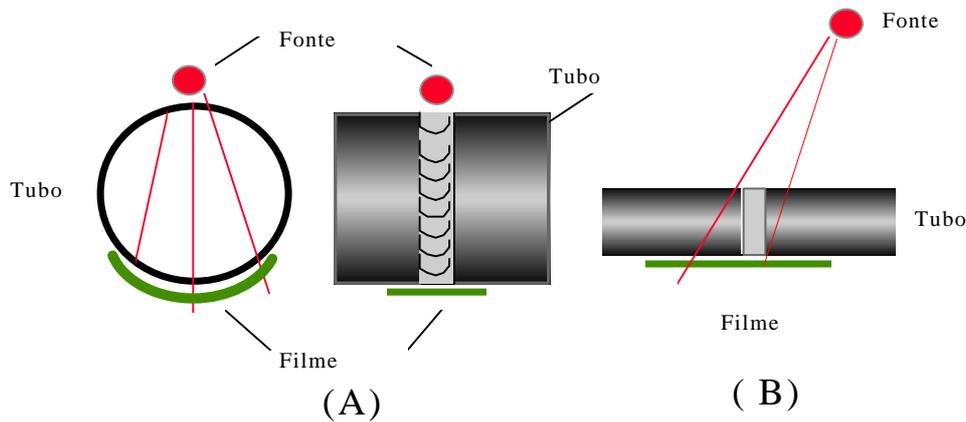
Técnica Radiográfica Panorâmica

Técnica de Parede Dupla :

Técnica de Parede Dupla Vista Simples (PDVS):

Nesta técnica de parede dupla vista simples, o feixe de radiação, proveniente da fonte, atravessa duas espessuras da peça, entretanto projeta no filme somente a secção da peça que está mais próxima ao mesmo.

Frequentemente esta técnica é utilizada em inspeções de juntas soldadas, as quais não possuem acesso interno, por exemplo tubulações com diâmetros maiores que 3.½ polegadas (89 mm), vasos fechados, e outros.



Técnica de exposição parede dupla-vista simples (A) e parede dupla-vista dupla (B)

Técnica de Parede Dupla Vista Dupla (PDVD)

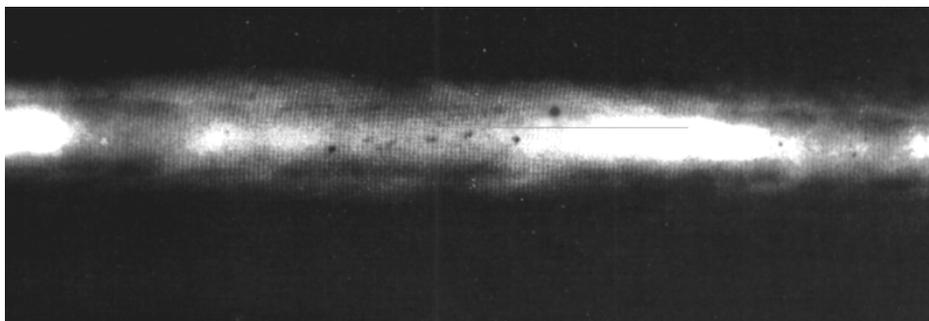
Neste caso o feixe de radiação proveniente da fonte, também atravessa duas espessuras, entretanto projetará no filme a imagem de duas secções da peça, e serão objetos de interesse.

A técnica de parede dupla e vista dupla (PDVD) é frequentemente usada para inspeção de juntas soldadas em tubulações com diâmetros menores que 3.½ polegadas.

Descontinuidades Internas em Juntas Soldadas.

- Inclusão Gasosas (Poros).

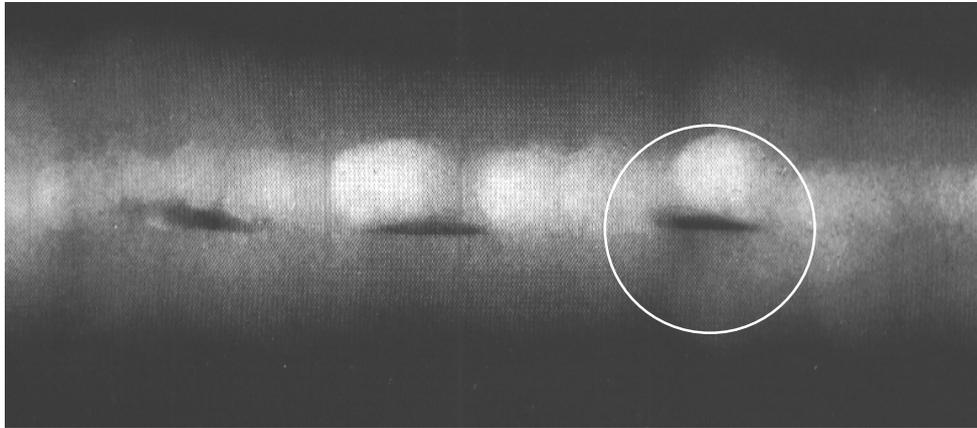
Durante a fusão da solda, pode haver o aprisionamento da mesma, devido a várias razões como o tipo de eletrodo utilizado, má regulagem do arco, deficiência na técnica do operador, umidade etc. Estas inclusões gasosas podem ter a forma esférica ou cilíndrica. Sua aparência radiográfica é sob a forma de pontos escuros com o contorno nítido. Algumas destas inclusões gasosas assumem uma forma alongada, cilíndrica e sua imagem radiográfica vai depender de uma orientação em relação ao feixe de radiação incidente. Outra forma típica de inclusão é aquela que tem a aparência de um galho ramificado, chamada, também, de porosidade Vermiforme.



Radiografia de solda contendo porosidade e falta de fusão

- Inclusão de Escória.

São devidas ao aprisionamento de escória ou materiais estranhos durante o processo de soldagem. Elas apresentam-se com mais frequência em soldas de passes múltiplos, principalmente quando a limpeza não é bem efetuada entre um passe o outro.



Aparência radiográfica de soldas contendo inclusões de escória.

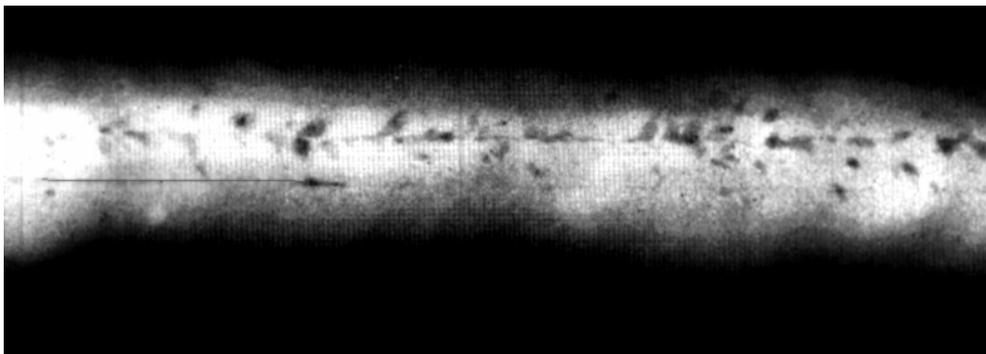
- Inclusão de Escória em Linha.

Inclusões de Escória em Linha, ou “Linha de Escória” é caso particular de inclusão, que se manifesta radiograficamente sob a forma de linhas contínuas ou intermitentes.

Elas são causadas por insuficiente limpeza das bordas de um determinado passe e são aprisionadas pelo passe seguinte.

- Falta de Penetração e Fusão.

Consideramos falta de penetração, como sendo a falta de material depositado na raiz da solda, devido ao fato do material não ter chegado até a raiz. No caso de não haver passe de raiz (selagem) a falta de penetração pode ficar aparente. A aparência radiográfica em ambos os casos é uma linha escura, intermitente ou contínua, no centro do cordão.



Radiografia de solda contendo falta de fusão , inclusões em linha

- Trincas.

As trincas são descontinuidades produzidas por rupturas no metal como resultado de tensões produzidas no mesmo durante a soldagem, sendo mais visível na radiografia, quando o feixe de radiação incide sobre a peça numa direção sensivelmente paralela ao plano que contém a trinca.

A trinca produz uma imagem radiográfica na forma de uma linha escura com direção irregular. A largura desta linha dependerá da largura da trinca. Se a direção do plano que contém a trinca coincide com feixe de radiação, sua imagem será bem escura. De outra forma, ela perderá densidade, podendo até não aparecer. Devido ao fato das trincas serem o mais grave defeito de uma solda, devemos ter uma atenção especial para a sua detecção. A imagem das trincas, especialmente em filmes de granulação grossa pode não ser muito clara. No caso de dúvidas por parte do inspetor, seria aconselhável uma mudança na direção do feixe de radiação e a utilização de

filmes de granulação fina. Pode ocorrer, também, o fato das trincas não serem detectadas, principalmente quando radiografamos peças de grande espessura.

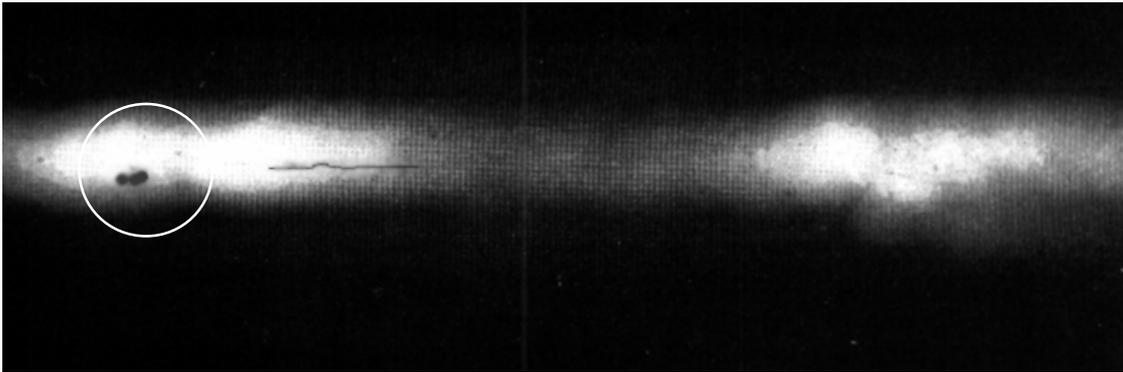


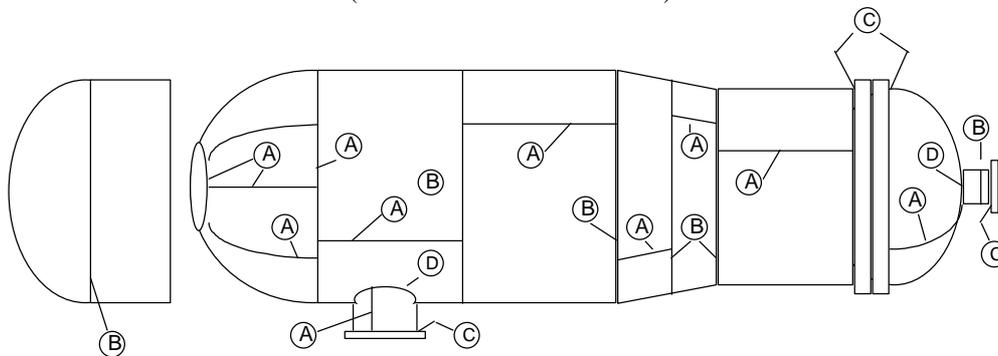
Imagem de radiográfica contendo trinca e poro (ver círculo)

Critérios de Aceitação para Ensaio Radiográfico para Juntas Soldadas

O critério de aceitação a seguir foi extraído do Código ASME Sec.VIII Div.1 , sendo o mesmo aplicável a juntas soldadas de topo , dividido em dois grupos: Soldas projetadas para ensaio radiográfico total (parágrafo **UW-51**) e soldas projetadas para ensaio radiográfico “Spot” (parágrafo **UW-52**).

As juntas soldadas de topo , de um vaso de pressão projetadas conforme o Código ASME , com eficiência 1 , devem ser radiografadas totalmente , mas somente aquelas principais , classificadas como categoria A e B , como por exemplo as soldas longitudinais do casco e conexões e circulares do casco e emendas de fundos. Assim sendo, soldas circulares de conexões menores que 10” de diâmetro , soldas entre conexões e casco , não estão sujeitas ao ensaio radiográfico (ver UW-11 do referido Código).

Categoria das Juntas Soldadas
(ASME. Sec.VIII Div.1 UW-33)



As juntas soldadas de topo , de um vaso , projetadas conforme o Código ASME com eficiência 0,85 , devem ser radiografadas conforme os critérios do ensaio “Spot”. Neste caso , o ensaio deve ser aplicado para cada soldador ou conjunto de soldadores que participaram da soldagem do casco ou fundos do vaso. A extensão mínima destas soldas deve ser de 152 mm , na prática utiliza-se metade do comprimento do filme padrão (8.1/2”) que excede 152 mm. Portanto, antes de ser aplicado o ensaio “Spot” deve ser verificado no vaso os soldadores que participaram das soldagens, para se estabelecer a quantidade de filmes necessários.

- **Critério de Aceitação para radiografia total (UW-51):**

As soldas deverão estar livres de:

- (1) qualquer indicação caracterizada como trinca , zona de fusão ou penetração incompleta ;
- (2) qualquer outra indicação alongada na radiografia que tenha um comprimento maior que:
 - (a) ¼ pol. (6,0 mm) para t até ¾ pol. ;
 - (b) 1/3.t para t de ¾ pol. (19 mm) até 2.1/4 pol. (57 mm)
 - (c) ¾ pol. (19 mm) para t acima de 2.1/4 pol. (57 mm)

onde t é a espessura da solda excluindo qualquer refôrço permitido. Para juntas de topo que tenham diferentes espessuras de soldas, t é a mais fina das dessas espessuras.

- (3) qualquer grupo de indicações alinhadas que tenham um comprimento agregado maior que t num comprimento de $12.t$ exceto, quando a distância entre duas imperfeições sucessivas exceder a $6.L$ onde L é o comprimento da mais longa imperfeição no grupo.
- (4) indicações arredondadas em excesso ao especificado no padrão de aceitação do ASME Sec.VIII Div.1 Ap.4, que reproduzimos alguns exemplos como segue:

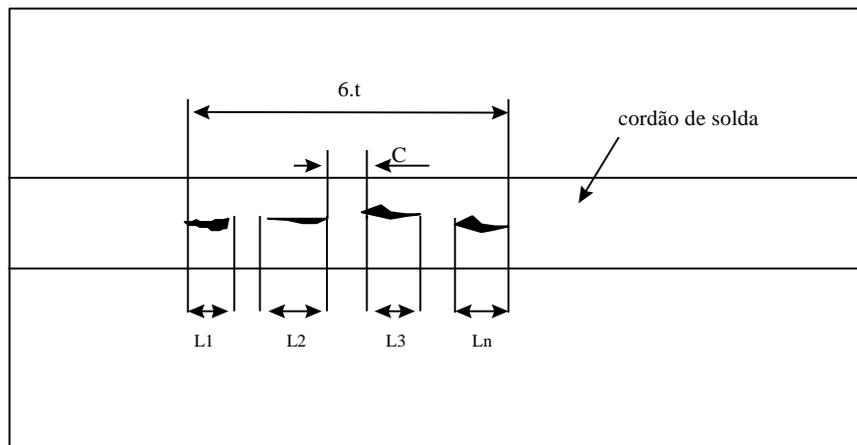
• **Cr terio de Aceita o para radiografia "Spot"(UW-52):**

As soldas deverão estar livres de:

- (1) qualquer indica o caracterizada como trinca, zona de fusão ou penetra o incompleta;
- (2) qualquer outra indica o alongada na radiografia que tenha um comprimento maior que:

$2/3.t$ onde t   a espessura da solda excluindo qualquer refôrco permitido. Para juntas de topo que tenham diferentes espessuras de soldas, t   a mais fina das dessas espessuras.

Qualquer grupo de indica es alinhadas que tenham um comprimento agregado maior que t num comprimento de $16.t$ exceto, quando a distância entre duas imperfei es sucessivas exceder a $3.L$ onde L   o comprimento da mais longa imperfei o no grupo (ver quadro abaixo).



$$C < 3 \times \text{comprimento da maior indica o do grupo}$$

$$L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \leq t \text{ (espessura do metal base)}$$

O máximo comprimento de uma indica o aceitável deve ser de $3/4$ pol. (19 mm). Qualquer indica o menores que $1/4$ pol. (6 mm) deve ser aceitável para qualquer espessura da chapa.

- (3) Indica es arredondadas não   fator para aceitabilidade de soldas.
- (4) Caso a radiografia "spot" não apresentar os requisitos mínimos de qualidade requerida, dois "spots" adicionais devem ser radiograficamente examinados no mesmo incremento de solda, localizado fora do local do "spot" original. Se os dois "spots" adicionais examinados mostrarem que a solda está de acordo com os requisitos mínimos de qualidade, então toda a solda representada pelos três "spots" deve ser aceitável, após a remo o dos defeitos mostrados no primeiro "spot" e reensaio da mesma conforme este anexo.
Se pelo menos um dos dois "spots" adicionais mostrarem que a solda não apresenta os requisitos mínimos de qualidade, o comprimento inteiro da solda representada pelas radiografias, deverá ser rejeitada. A solda rejeitada, deve ser removida e a junta resoldada, ou como op o, poderá ser 100% radiografada, e reparada onde necessário.
Novo ensaio deverá ser efetuado, conforme as regras acima descritas.

• Padrão de aceitação Conforme ASME Sec. IX QW-191.2

O exame radiográfico, referente aos testes do desempenho de soldadores e operadores, deve ser julgado inaceitável quando as radiografias exibirem qualquer imperfeição que exceda os limites especificados abaixo:

(1) Indicações do tipo linear;

Qualquer tipo de trinca, ou zona de fusão incompleta, ou falta de penetração;

(2) Qualquer inclusão de escória alongada, que tenha um comprimento maior que:

- 3 mm para espessuras t até 10 mm, inclusive;
- $1/3$ de t , para t acima de 10 mm e até 55 mm, inclusive;
- 20 mm para t acima de 55 mm.

Onde: t é a espessura da solda excluindo qualquer reforço

(3) Qualquer grupo de inclusões de escórias que estejam em alinhamento e que tenha um comprimento acumulado maior do que t numa extensão igual a $12t$, exceto nos casos em que a distância entre imperfeições sucessivas seja maior do que $6L$, onde L é o comprimento da imperfeição mais alongada verificada no agrupamento.

(4) Indicações de formato arredondado:

Indicações arredondadas em excesso do especificado pelo padrão de aceitação de porosidade descritas como segue:

A dimensão máxima permissível para as imperfeições de formato arredondado é 20% de t ou 3 mm, a que for menor.

Para as soldas de materiais com espessuras menores do que 3 mm, a quantidade máxima aceitável de imperfeições de formato arredondado não deve ser superior a 12 em um comprimento de solda de 150 mm. Para comprimentos de solda inferiores a 150 mm, deve ser permitida uma quantidade de imperfeições proporcionalmente menor.

As imperfeições de formato arredondado menores do que 0,8 mm não devem ser consideradas no julgamento das radiografias, quando da aprovação dos corpos de prova de soldadores e operadores nessas faixas de espessuras de materiais.

Exercícios para Estudo :

- 1) O Ensaio Radiográfico foi desenvolvido para:
 - a) detectar descontinuidades superficiais.
 - b) inspecionar peças com grandes espessuras.
 - c) detectar defeitos em soldas
 - d) detectar descontinuidades internas em geral.
- 2) Quanto às propriedades das radiações gama podemos afirmar que:
 - a) possuem grande poder de penetração nos materiais leves.
 - b) são geradas no núcleo do átomo.
 - c) podem enegrecer chapas fotográficas.
 - d) todas as alternativas acima são corretas.
- 3) Quanto ao poder de penetração das radiações, qual é a mais penetrante?
 - a) os raios X possuem maior poder de penetração que os raios gama
 - b) os raios X gama possuem maior poder de penetração que os raios X.
 - c) a luz ultra-violeta tem mais poder de penetração que os raios X
 - d) N.D.A
- 4) Quanto ao tamanho padronizado, dos filmes radiográficos industriais temos:
 - a) 14" x 17" e 3.1/2" x 8.1/2".
 - b) 3.1/2" x 17" e 4.1/2" x 17"
 - c) 4.1/2" x 8.1/2"
 - d) 2 cm x 45 cm.

- 5) Uma vantagem dos irradiadores gama em relação aos aparelhos de Raios-X é:
- Os irradiadores gama são mais leves e portáteis que os aparelhos de Raios-X.
 - Os irradiadores gama produzem filmes com maior qualidade que os de Raios-X.
 - Os irradiadores gama são mais seguros que os de Raios-X.
 - Os irradiadores gama permitem executar filmes pela técnica panorâmica.
- 6) No Código ASME Sec.VIII div.1, "Full radiography", isto significa que:
- todas as soldas do vaso de pressão deve ser radiografadas.
 - as radiografias do vaso devem abranger todos os soldadores que trabalharam no vaso de pressão, numa extensão no mínimo de 150 mm.
 - o vaso deve ser 100% radiografado.
 - sómente as soldas de topo ,principais do vaso devem ser examinadas
- 7) No Código ASME Sec.VIII div.1 , quando é especificado "Spot radiography" , isto significa que:
- todas as soldas do vaso de pressão deve ser radiografada.
 - as radiografias do vaso devem abranger todos os soldadores que trabalharam no vaso de pressão, numa extensão no mínimo de 150 mm.
 - o vaso deve ser 100% radiografado.
 - somente as conexões devem ser radiografadas.
- 8) Se uma junta soldada foi projetada conforme o Código ASME Sec.VIII Div.1 , com eficiência de solda igual a 1 , então quanto à extensão do ensaio radiográfico temos que:
- a junta deverá ser radiografada parcialmente , 10%
 - a junta deverá ser radiografada conforme os critérios de UW-52
 - a junta deverá ser radiografada conforme os critérios de UW-51
 - a junta não necessitará de ser radiografada
- 9) Ao se analisar um radiografia, qual o fator referente à qualidade que deverá ser verificado ?
- existência de manchas de manuseio do filme.
 - se a imagem do furo ou fio essencial do IQI, é visível.
 - se a densidade óptica está dentro da faixa permitida.
 - todas as alternativas acima são corretas.

10) Descreva em poucas linhas o que entendeu sobre o mecanismo de formação da imagem radiográfica.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

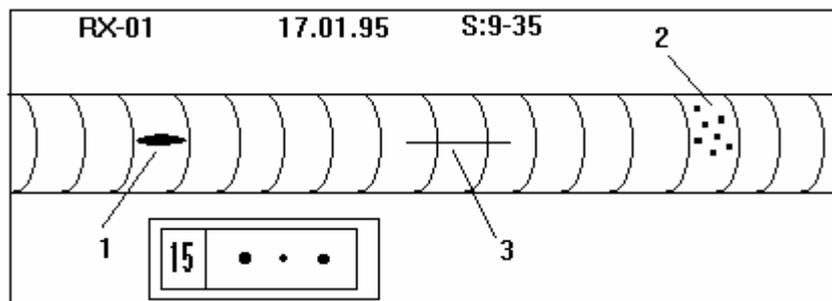
.....

.....

11) A sobreposição dos filmes radiográficos na inspeção de uma junta soldada , tem a finalidade de:

- assegurar a detecção de falta de fusão.
- assegurar a projeção da imagem dos marcadores de posição.
- assegurar o alinhamento fonte-filme.
- assegurar a total cobertura do volume de solda a inspecionar.

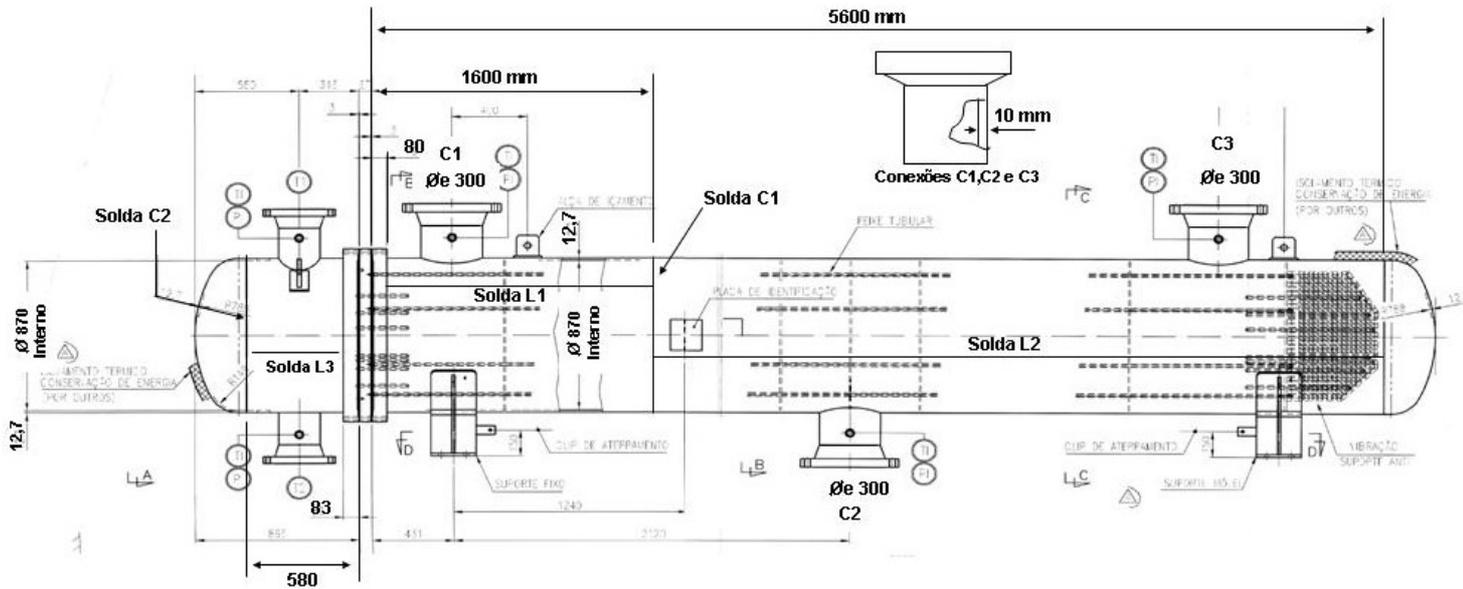
- 12) A técnica radiográfica que atravessa duas paredes do tubo, porém projeta somente uma espessura da solda, no filme denomina-se:
- PD-VD
 - PS-VD
 - VD-VS
 - PD-VS
- 13) A imagem radiográfica de uma solda, com espessura de 1/2" apresentou uma indicação de falta de fusão com comprimento de apenas 1,5 mm. De acordo com o Código ASME Sec.VIII div.1, esta descontinuidade:
- aprovada, pois é não relevante.
 - reprovada.
 - aprovada, se estiver de forma isolada.
 - aprovada, se um ensaio complementar comprovar seu comprimento.
- 14) O desenho abaixo representa a imagem de uma solda no filme radiográfico, com espessura de 25 mm, excluindo o reforço de 6 mm. Observe a descontinuidade número 3. Na sua opinião, trata-se de



- Falta de fusão
 - Falta de Penetração
 - Escória
 - Porosidade
- 15) Na figura da questão 15, a descontinuidade de número 2, trata-se de:
- Falta de fusão
 - Falta de Penetração
 - Escória
 - Porosidade
- 16) Na figura da questão 15, a descontinuidade número 1, deve ser tratada, segundo o critério de aceitação ASME-Sec.VIII div.1, UW-51, como:
- indicação alongada maior que 6,0 mm, reprovada.
 - falta de penetração, reprovada
 - indicação alongada, que excede 1/3.t, reprovada.
 - indicação alongada, que não excede 1/3.t, aprovada
- 17) A imagem radiográfica de uma solda, radiografada conforme ASME Sec.VIII div.1, UW-52, com espessura de 5 mm apresentou uma indicação de escória isolada, com comprimento de 5,8 mm.
- esta solda deverá ser reprovada, devendo ser feita duas radiografias separadas, desta mesma junta.
 - esta indicação é aceitável.
 - esta solda deverá ser totalmente reprovada e a junta soldada novamente.
 - esta indicação é aceitável, porém pelo bom senso devemos reprová-la.
- 18) A densidade radiográfica na área de interesse, de acordo com a norma ASME Sec.V, deve ser de:
- de 1,8 a 4,0 para Raios-X.
 - de 2,0 a 4,0 para Raios-gama.
 - de 2,0 a 3,5
 - as alternativas (a) e (b) são corretas.

19) Considere o equipamento abaixo para ser radiografado totalmente conforme ASME Sec. VIII Div. 1 UW-51, usando os seguintes acessórios:

- a) Radiografia total das soldas longitudinais e circulares
- b) Equipamento de gamagrafia de Ir-192, com 30 Ci de atividade
- c) Filmes radiográficos: Tipo I
- d) Sobreposição: 20 mm nas soldas longitudinais
- e) IQI tipo ASTM de furos



Preencha a tabela abaixo para efeito de planejamento do serviço:

Solda	Diâm. Ext. mm	Comprim. mm	Espessura mm	Nr de Filmes / Tamanho	Técnica	Dist. Fonte Filme	Tempo de Exp. por filme	Tempo total	Nr. IQI	Custo (1)
L1										
L2										
L3										
Solda C1										
Solda C2										
Solda C3										
Conexão C1										
Conexão C2										
Conexão C3										

(1) Considerar R\$ 60,00 por filme revelado e interpretado, e 1 diária de 8 horas por R\$ 1.200,00

CAPÍTULO 2

ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

2.1. Generalidades:

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material.

Este método, se iniciou antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.

Finalidade do ensaio

O ensaio por líquidos penetrantes presta-se a detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, etc., podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira.

É muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, benésio e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

2.2. Princípios básicos

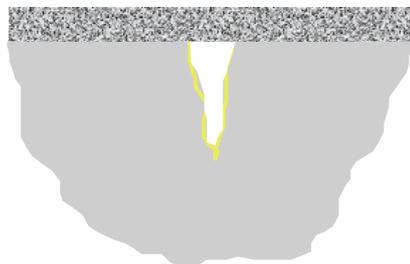
O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície.

Podemos descrever o método em seis etapas principais no ensaio, quais sejam:

a) **Preparação da superfície - Limpeza inicial:**

Antes de se iniciar o ensaio, a superfície deve ser limpa e seca. Não devem existir água, óleo ou outro contaminante.

Contaminantes ou excesso de rugosidade, ferrugem, etc, tornam o ensaio não confiável.

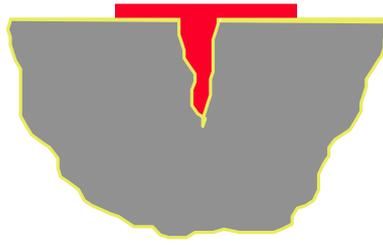


A preparação da superfície no início do ensaio é fundamental para que as demais etapas possam ser aplicadas corretamente.

Preparação e Limpeza da Superfície

b) **Aplicação do Penetrante:**

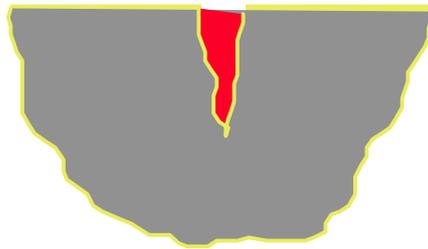
Consiste na aplicação de um líquido chamado penetrante, geralmente de cor vermelha, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que por ação do fenômeno chamado capilaridade penetre na descontinuidade. Deve ser dado um certo tempo para que a penetração se complete.



Tempo de penetração do líquido na abertura

c) **Remoção do excesso de penetrante.**

Consiste na remoção do excesso do penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo na superfície.

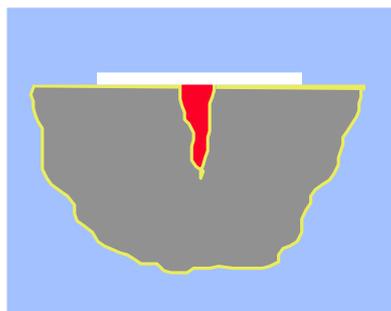


Remoção do excesso de líquido da superfície

d) **Revelação.**

Consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. O revelador é usualmente um pó fino (talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em suspensão, em algum líquido. O revelador age absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as.

Deve ser previsto pelo procedimento técnico de ensaio um certo tempo de revelação para sucesso e padronização do ensaio.



Aplicação do revelador

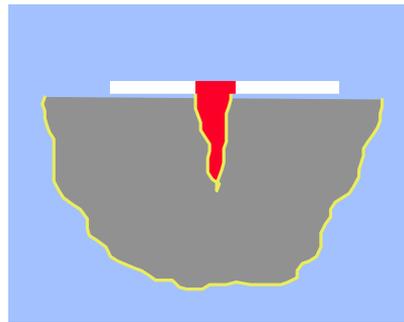
e) **Avaliação e Inspeção:**

Após a aplicação do revelador, as indicações começam a serem observadas, através da mancha causada pela absorção do penetrante contido nas aberturas, e que serão objetos de avaliação.

A inspeção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) ou sob luz negra, em área escurecida, caso o penetrante seja fluorescente.

A interpretação dos resultados deve ser baseada em algum Código de fabricação da peça ou norma aplicável ou ainda, na especificação técnica do cliente.

Nesta etapa deve ser preparado um relatório escrito que consta das condições de teste, tipo e identificação da peça ensaiada, resultado da inspeção e condição de aprovação ou rejeição da peça.



Absorção do líquido, pelo revelador, de dentro da abertura

f) **Limpeza pós ensaio.**

A última etapa, geralmente obrigatória, é a limpeza de todos os resíduos de produtos, que podem prejudicar uma etapa posterior de trabalho da peça (soldagem, usinagem, etc....).

2.3. Vantagens e limitações do ensaio , em comparação com outros métodos.

Vantagens.

Poderíamos dizer que a principal vantagem do método é a sua simplicidade. É fácil de fazer de interpretar os resultados. O aprendizado é simples, requer pouco tempo de treinamento do inspetor.

Como a indicação assemelha-se a uma fotografia do defeito, é muito fácil de avaliar os resultados. Em contrapartida o inspetor deve estar ciente dos cuidados básicos a serem tomados (limpeza, tempo de penetração, etc), pois a simplicidade pode se tornar uma faca de dois gumes.

Não há limitação para o tamanho e forma das peças a ensaiar, nem tipo de material; por outro lado, as peças devem ser susceptíveis à limpeza e sua superfície não pode ser muito rugosa e nem porosa.

O método pode revelar descontinuidades (trincas) extremamente finas (da ordem de 0,001 mm de abertura).

Limitações.

Só detecta descontinuidades abertas para a superfície, já que o penetrante tem que entrar na descontinuidade para ser posteriormente revelado. Por esta razão, a descontinuidade não deve estar preenchida com material estranho.

A superfície do material não pode ser porosa ou absorvente já que não haveria possibilidade de remover totalmente o excesso de penetrante, causando mascaramento de resultados.

A aplicação do penetrante deve ser feita numa determinada faixa de temperatura. Superfícies muito frias (abaixo de 16 °C) ou muito quentes (acima de 52 °C) não são recomendáveis ao ensaio.

Algumas aplicações das peças em inspeção fazem com que a limpeza seja efetuada da maneira mais completa possível após o ensaio (caso de maquinaria para indústria alimentícia, material a ser soldado posteriormente, etc). Este fato pode tornar-se limitativo ao exame, especialmente quando esta limpeza for difícil de fazer.

2.4. Propriedades dos Produtos e Princípios Físicos

Propriedades físicas do penetrante.

O nome “penetrante”vem da propriedade essencial que este material deve ter , isto é, sua habilidade de penetrar em aberturas finas. Um produto penetrante com boas características, deve:

- a) ter habilidade para rapidamente penetrar em aberturas finas;
- b) ter habilidade de permanecer em aberturas relativamente grandes;
- c) não evaporar ou secar rapidamente;

- d) ser facilmente limpo da superfície onde for aplicado;
- e) ter habilidade em espalhar-se nas superfícies, formando camadas finas;
- f) ter um forte brilho (cor ou fluorescente);
- g) a cor ou a fluorescência deve permanecer quando exposto ao calor, luz ou luz negra;
- h) não reagir com sua embalagem nem com o material a ser testado;
- i) não ser facilmente inflamável;
- j) ser estável quando estocado ou em uso;

Para que o penetrante tenha as qualidades acima, é necessário que certas propriedades estejam presentes. Dentre elas destacam-se:

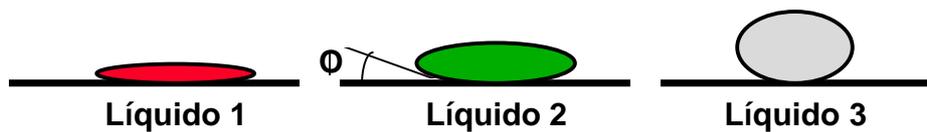
a) Viscosidade.

Esta propriedade por si só não define um bom ou mal penetrante (quando falamos em bom ou mal penetrante nos referimos a sua habilidade em penetrar nas descontinuidades).

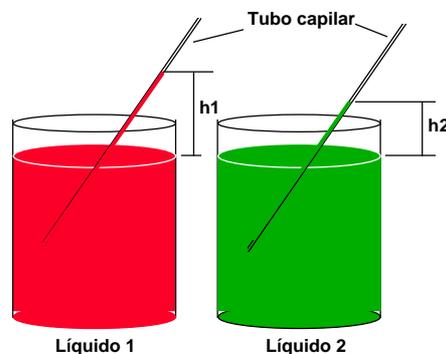
A intuição nos diz que um líquido menos viscoso seria melhor penetrante que um mais viscoso. Isto nem sempre é verdadeiro, pois a água que tem baixa viscosidade não é um bom penetrante. Todavia, a viscosidade tem efeito em alguns aspectos práticos do uso do penetrante. Ele é importante na velocidade com que o penetrante entra num defeito. Penetrantes mais viscosos demoram mais a entrar nas descontinuidades. Penetrantes pouco viscosos têm a tendência de não permanecerem muito tempo sobre a superfície da peça, o que pode ocasionar tempo insuficiente para penetração. Em adição, líquidos de alta viscosidade têm a tendência de serem retirados dos defeitos quando se executa a limpeza do excesso.

b) Tensão superficial.

A tensão superficial de um líquido é o resultado das forças de coesão entre as moléculas que formam a superfície do líquido. Observem a figura abaixo, o líquido 1 possui menor tensão superficial que os outros dois, e o líquido 3 é o que possui a mais alta tensão superficial, lembrando o mercúrio como exemplo.



Comparação entre 3 líquidos com propriedades de tensão superficial diferentes.



Comparação entre dois líquidos com propriedade de capilaridade diferentes.

A capilaridade é função da tensão superficial do líquido e de sua molhabilidade. A abertura da descontinuidade afetará a força capilar - menor a abertura (mais fina uma trinca) maior a força.

Sensibilidade do penetrante.

Sensibilidade do penetrante é sua capacidade de detectar descontinuidades. Podemos dizer que um penetrante é mais sensível que outro quando, para aquelas descontinuidades em particular, o primeiro detecta melhor os defeitos que o segundo.

Os fatores que afetam a sensibilidade são:

- a) Capacidade de penetrar na descontinuidade
- b) Capacidade de ser removido da superfície, mas não do defeito
- c) Capacidade de ser absorvido pelo revelador
- d) Capacidade de ser visualizado quando absorvido pelo revelador, mesmo em pequenas quantidades.

Algumas normas técnicas classificam os líquidos penetrantes quanto à visibilidade e tipo de remoção, conforme tabela 2.3, abaixo:

Tipos de Líquidos Penetrantes

Método quanto à visibilidade	Tipo de Remoção		
	Água	Pós-Emulsificável	Solvente
“TIPO I” (Fluorescente)	A	B D	C
“TIPO II” (Luz normal)	A	-	C

Fonte: Código ASME Sec.V SE-165

Os líquidos penetrantes devem ser analisados quanto aos teores de contaminantes, tais como enxofre, flúor e cloro quando sua aplicação for efetuada em materiais inoxidáveis austeníticos, titânio e ligas a base de níquel. O procedimento e os limites aceitáveis para estas análises, devem ser de acordo com a norma aplicável de inspeção do material ensaiado.

Propriedades do revelador.

Um revelador com boas características, deve:

- a) ter ação de absorver o penetrante da descontinuidade;
- b) servir com uma base por onde o penetrante se espalhe - granulação fina;
- c) servir para cobrir a superfície evitando confusão com a imagem do defeito formando uma camada fina e uniforme;
- d) deve ser facilmente removível;
- e) não deve conter elementos prejudiciais ao operador e ao material que esteja sendo inspecionado;

Classifica-se os reveladores conforme abaixo:

- a) pós secos.

Foram os primeiros e continuam a ser usados com penetrantes fluorescentes. Os primeiros usados compunham-se de talco ou giz. Atualmente os melhores reveladores consistem de uma combinação cuidadosamente selecionada de pós.

Os pós devem ser leves e fofos. Devem aderir em superfícies metálicas numa camada fina, se bem que não devem aderir em excesso, já que seriam de difícil remoção. Por outro lado, não podem flutuar no ar, formando uma poeira.

Os cuidados devem ser tomados para proteger o operador. A falta de confiabilidade deste tipo de revelador, torna o seu uso restrito.

b) Suspensão aquosa de pós.

Geralmente usado em inspeção pelo método fluorescente. A suspensão aumenta a velocidade de aplicação quando pelo tamanho da peça pode-se mergulha-la na suspensão. Após aplicação a peça é seca em estufa, o que diminui o tempo de secagem. É um método que pode se aplicar quando usa-se inspeção automática. A suspensão deve conter agentes dispersantes, inibidores de corrosão, agentes que facilitam a remoção posterior.

c) Solução aquosa.

A solução elimina os problemas que eventualmente possam existir com a suspensão (dispersão, etc).

Porém, materiais solúveis em água geralmente não são bons reveladores.

Deve ser adicionado à solução inibidor de corrosão e a concentração deve ser controlada, pois há evaporação.

Sua aplicação , deve ser feita através de pulverização.

d) Suspensão de pós em solvente.

É um método muito efetivo para se conseguir uma camada adequada (fina e uniforme) sobre a superfície.

Como os solventes volatilizam rapidamente, existe pouca possibilidade de escorrimento do revelador até em superfícies em posição vertical.Sua aplicação , deve ser feita através de pulverização.

Os solventes devem ser secáveis rapidamente e ajudarem a retirar o penetrante das discontinuidades dando mais mobilidade a ele. Exemplos de solventes são: álcool, solventes clorados (não inflamáveis). O pó tem normalmente as mesmas características do método de pó seco.

Os reveladores ,devem se analisados quanto aos teores de contaminantes, tais como enxofre,flúor e cloro , quando sua aplicação for efetuada em materiais inoxidáveis austeníticos,titânio e ligas a base de níquel. O procedimento e os limites aceitáveis para estas análises, devem ser de acordo com a norma aplicável de inspeção do material ensaiado.

2.5. Procedimento para Ensaio

Neste capítulo em detalhes as etapas básicas do ensaio, a influência da temperatura, as correções de deficiências de execução do ensaio e a maneira de registrar os dados do mesmo. É importante salientar , que a aplicação do método de inspeção por líquidos penetrantes deve sempre ser feita através de um procedimento previamente elaborado e aprovado, contendo todos os parâmetros essenciais do ensaio , e por um inspetor qualificado

Preparação da superfície:

A primeira etapa a ser seguida na realização do ensaio é verificação das condições superficiais da peça. Deverá estar isenta de resíduos, sujeiras, óleo,graxa e qualquer outro contaminante que possa obstruir as aberturas a serem detetadas.

Caso a superfície seja lisa ,preparação prévia será facilitada. É o caso de peças usinadas, lixadas, etc.. Este fator é inerente ao processo de fabricação.

Superfícies excessivamente rugosas requerem uma preparação prévia mais eficaz, pois as irregularidades superficiais certamente prejudicarão a perfeita aplicação do penetrante, a remoção do excesso e, portanto, o resultado final.

As irregularidades irão dificultar a remoção, principalmente no método manual. Além do mascaramento dos resultados, há a possibilidade de que partes dos produtos de limpeza fiquem aderidas à peça (fiapos de pano).

Numa operação de esmerilhamento, um cuidado adicional deve estar presente. Deve-se evitar causar, por exemplo, sulcos sobre a peça, erro muito comum na preparação de soldas.

Métodos de limpeza da superfície:

O sucesso do método depende dos defeitos estarem abertos à superfície.

A limpeza, portanto, é de fundamental importância. Todo produto de corrosão, escória, pinturas,óleo, graxa, etc... deve estar removido da superfície.

Pode-se utilizar o solvente que faz parte dos “kits” de ensaio ou solvente em galão, ou ainda outro produto qualificado.

Neste caso, deve-se dar suficiente tempo para que o solvente utilizado evapore-se das discontinuidades, pois sua presença pode prejudicar o teste. Dependendo da temperatura ambiente e do método utilizado, este tempo pode variar.

Pode-se utilizar o desengraxamento por vapor, para remoção de óleo, graxa ; ou ainda limpeza química, solução ácida ou alcalina, escovamento manual ou rotativo, removedores de pintura, ultra-som, detergentes.

Peças limpas com produtos a base de água, a secagem posterior é muito importante. Cuidados também são importantes para evitar corrosão das superfícies (aço ao carbono).

Os processos de jateamento, lixamento e aqueles que removem metal (esmerilhamento), devem ser evitados, pois tais processos podem bloquear as aberturas da superfície e impedir a penetração do produto penetrante. Entretanto, tais métodos de limpeza podem em alguns processos de fabricação do material a ensaiar, serem inevitáveis e inerentes a estes processos.

Temperatura da superfície e do líquido penetrante:

Poderíamos dizer que a temperatura ótima de aplicação do penetrante é de 20 °C e as superfícies não devem estar abaixo de 5 °C. Temperaturas ambientes mais altas (por volta de 52 °C) aumentam a evaporação dos constituintes voláteis do penetrante, tornando-o insuficiente. Acima de certo valor (> 200° C) há o risco de inflamar.

A observação e controle da temperatura é um fator de grande importância, que deve estar claramente mencionado no procedimento de ensaio.

Aplicação do penetrante.

O penetrante pode ser aplicado em “spray”, por pincelamento, com rolo de pintura ou mergulhando-se as peças em tanques. Este último processo é válido para pequenas. Neste caso as peças são colocadas em cestos. Deve-se escolher um processo de aplicação do penetrante, condizente com as dimensões das peças e com o meio ambiente em que será aplicado o ensaio. Por exemplo : peças grandes, e ambientes fechados, em que o inspetor escolha o método de aplicação do penetrante por pulverização, certamente isto será um transtorno tanto para as pessoas que trabalhem próximo ao local, assim como para o próprio inspetor.

Tempo de Penetração:

É o tempo necessário para que o penetrante entre dentro das descontinuidades. Este tempo varia em função do tipo do penetrante, material a ser ensaiado, temperatura, e deve estar de acordo com a norma aplicável de inspeção do produto a ser ensaiado.

Os tempos de penetração corretos devem ser de acordo com a norma aplicável de fabricação/inspeção do material ensaiado ou procedimento aprovado.



Aplicação do penetrante com pincel

Remoção do excesso de penetrante:

Os penetrantes não laváveis em água são quase sempre utilizados para inspeções locais e estes são melhor removidos com panos secos ou umedecidos com solvente. Papel seco ou pano seco é satisfatório para superfícies lisas. A superfície deve estar completamente livre de penetrante, senão haverá mascaramento dos resultados. Deve-se tomar o cuidado para não usar solvente em excesso, já que isto pode causar a retirada do penetrante das descontinuidades.

Geralmente uma limpeza grosseira com pano e papel levemente embebido em solvente, seguido de uma limpeza feita com pano ou papel seco ou com pouco de solvente é satisfatória. Quando as peças são inteiramente revestidas de solvente a limpeza manual é demorada e difícil. Neste caso pode-se mergulhar a peça em banho de solvente, com o inconveniente de que algum penetrante pode ser removido das descontinuidades. Este método só deve ser usado com muito cuidado e levando-se em conta esta limitação.

Pode-se também usar a limpeza por vapor. Se a operação for rápida, este pode ser um bom método. Quando se usa o tipo lavável em água, a lavagem com jato de água morna é satisfatória. O jato deve ser grosso para aumentar sua eficiência (gotas ao invés de spray fino). Após lavagem com água, a peça deve ser secada com, por exemplo, ar quente. A remoção por solvente não exige secagem forçada



Remoção do excesso de penetrante

Revelação.

A camada de revelador deve ser fina e uniforme. Pode ser aplicada com spray, no caso de inspeção manual. Peças que foram totalmente inspecionadas com penetrante são mais difíceis para se manter uma camada uniforme de revelador. O melhor método neste caso é o spray. Em qualquer caso, a aplicação do revelador deve ser isenta de escorrimentos, excessos, contaminações com produtos estranhos ao processo (água, óleo ..).



Revelação com embalagem aerosol

Secagem e inspeção.

Deve ser dado um tempo suficiente para que a peça esteja seca antes de efetuar a inspeção. Logo após o início da secagem, deve-se acompanhar a evolução das indicações no sentido de definir e caracterizar o tipo de descontinuidade e diferencia-las entre linear ou arredondadas.

O tempo de revelação é variável de acordo com o tipo da peça, tipo de defeito a ser detectado e temperatura ambiente. As descontinuidades finas e rasas, demoram mais tempo para serem observadas, ao contrário daquelas maiores e que rapidamente mancham o revelador.

O tamanho da indicação a ser avaliada, é o tamanho da mancha observada no revelador, após o tempo máximo de avaliação permitida pelo procedimento .

Tempos mínimos de penetração , apenas para referência

ASME Sec. V Art. 6 - Tabela 672 e ASTM E-165

Material	Forma	Tipo de Descontinuidade	Tempo de Espera ^A min.	
			Penetrante	Revelador
Alumínio, Magnésio, aço, bronze, titanium, altas ligas	Fundidos e Soldas	porosidade, trincas, (todas as formas) falta de fusão, gota fria	5	10
Plásticos	todas as formas	trincas	5	10
Vidros	todas as formas	trincas	5	10
Cerâmicas	todas as formas	trincas, porosidade	5	10

A - Para temperaturas de 10 a 52 °C Para temperaturas de 5 °C a 10 °C o tempo de penetração deve ser o dobro do indicado acima.

Iluminação:

Como todos os exames dependem da avaliação visual do operador, o grau de iluminação utilizada é extremamente importante. Iluminação errada pode induzir a erro na interpretação. Além disso, uma iluminação adequada diminui a fadiga do inspetor.

a) Iluminação com luz natural (branca):

A luz branca utilizada é a convencional. Sua fonte pode ser: luz do sol, lâmpada de filamento, lâmpada fluorescente ou lâmpada a vapor.

O operador deve evitar dirigir a luz para partes que derem reflexos (sup. metálica por exemplo). Dirigindo a luz para a área de inspeção com o eixo da lâmpada formando aproximadamente 90° em relação a ela é a melhor alternativa. O fundo branco da camada de revelador faz com que a indicação se torne escurecida. A intensidade da luz deve ser adequada ao tipo de indicação que se quer ver, sendo em geral acima de 1000 Lux (conforme ASME Sec. V Art. 6).

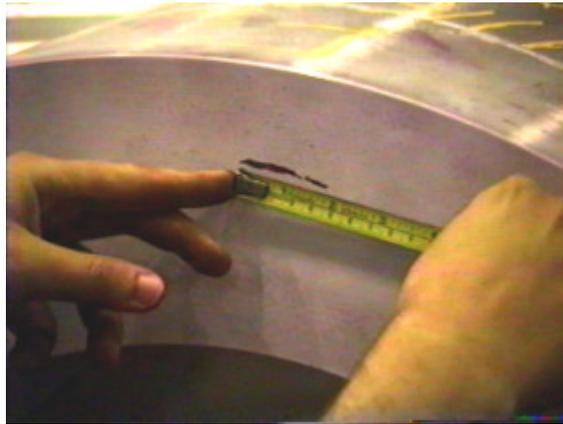
b) Iluminação com Luz ultravioleta (“negra”):

Podemos definir a luz “negra” como aquela que tem comprimento de onda menor do que o menor comprimento de onda da luz visível.

Ela tem a propriedade de causar em certas substâncias o fenômeno da fluorescência. Esta radiação não é visível. É produzida por arco elétrico que passa através de vapor de mercúrio.

O material fluorescente contido no penetrante tem a propriedade de em absorvendo a luz “negra” emitir energia em comprimentos de onda maiores, na região de luz visível.

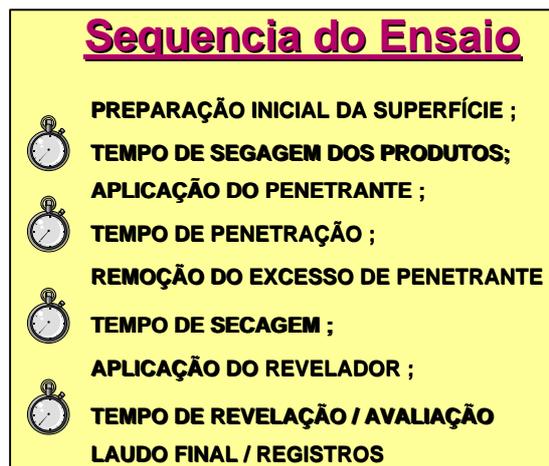
São usados filtros que eliminam os comprimentos de onda desfavoráveis (luz visível e luz ultravioleta) permitindo somente aqueles de comprimento de onda de 3500 a 4000 Å . A intensidade mínima recomendada da luz ultravioleta sobre a superfície é de 1000 μW/cm², verificada a cada 8 horas de trabalho ou a cada mudança de local de trabalho.



Registro dos resultados

Limpeza final.

Após completado o exame, é necessário na maioria dos casos executar-se uma limpeza final na peça, já que os resíduos de teste podem prejudicar o desempenho das peças. Uma limpeza final com solvente geralmente é satisfatória. Para peças pequenas o mergulhamento das peças em banho de detergente geralmente é satisfatório.



Resumo explicativo das fases sequenciais de aplicação do ensaio por Líquidos Penetrantes

2.6. Critério de Aceitação das Indicações:

O critério de aceitação que segue abaixo, é uma tradução livre do Código ASME Sec. VIII Div.1 e 2, é aplicável para peças inspecionadas por líquidos penetrantes, nesta norma.

Avaliação das indicações:

Uma indicação é uma evidência de uma imperfeição mecânica. Somente indicações com dimensões maiores que 1/16 pol. (1,5 mm) deve ser considerada como relevante.

(a) Uma indicação linear é aquela tendo um comprimento maior que três vezes a largura.

(b) Uma indicação arredondada é aquela na forma circular ou elíptica com comprimento igual ou menor que três vezes a largura.

- (c) Qualquer indicação questionável ou duvidosa , deve ser reinspecionada para determinar se indicações relevantes estão ou não presentes.

Critério de Aceitação:

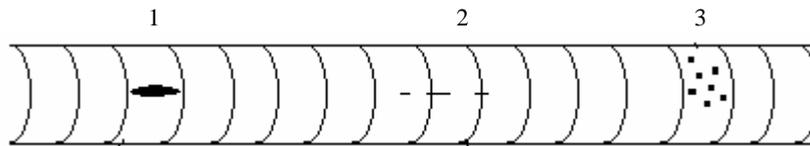
Toda as superfícies devem estar livres de :

- (a) indicações relevantes lineares ;
- (b) indicações relevantes arredondadas maiores que 3/16 pol. (5,0 mm) ;
- (c) quatro ou mais indicações relevantes arredondadas em linha separadas por 1/16 pol. (1,5 mm) ou menos (de borda a borda) ;
- (d) uma indicação de uma imperfeição pode ser maior que a imperfeição , entretanto , o tamanho da indicação é a base para a avaliação da aceitação .

Exercícios para Estudo :

- 1) Qual dos materiais abaixo não pode ser ensaiado por Líquidos Penetrantes ?
 - a) superfície usinada de aço inoxidável austenítico
 - b) peça de aço fundido.
 - c) borracha
 - d) uma peça forjada.
- 2) O método de inspeção por Líquidos Penetrantes, está baseado nas propriedades de :
 - a) dilatação térmica do líquidos e viscosidade.
 - b) ponto de fulgor e viscosidade.
 - c) capilaridade e tensão superficial.
 - d) tamanho das partículas do líquido , e ponto de fulgor.
- 3) Qual das seguintes discontinuidades ,não pode ser detectada pelo ensaio por líquidos penetrantes ?
 - a) uma trinca sub-superficial.
 - b) uma inclusão interna numa solda.
 - c) uma falta de fusão entre passes numa solda.
 - d) todas as alternativas são verdadeiras.
- 4) Qual o método mais recomendável para preparação da superfície antes do ensaio por líquidos penetrantes ?
 - a) jateamento com areia fina.
 - b) esmerilhamento.
 - c) escovamento manual ou rotativo.
 - d) limagem.
- 5) A primeira etapa para a inspeção por líquidos penetrantes , numa superfície que se encontra pintada é:
 - a) aplicar o penetrante com relativo cuidado na superfície.
 - b) lavar minuciosamente a superfície com detergente.
 - c) remover completamente a pintura.
 - d) escovar a superfície até reduzir a camada de tinta à metade.
- 6) Os tipos de líquidos penetrantes disponíveis são:
 - a) laváveis com óleo e os viscosos.
 - b) removíveis com solvente e laváveis com água.
 - c) removíveis com vapor e os laváveis com solvente.
 - d) secagem natural

- 7) O tempo ao qual a superfície da peça fica coberta com o líquido penetrante ,denomina-se :
- tempo de espera.
 - tempo de avaliação
 - tempo de penetração.
 - tempo de impregnação.
- 8) Uma junta soldada que foi inspecionada por líquidos penetrantes e após, foi esmerilhada, podemos afirmar que:
- é um procedimento comum
 - o ensaio realizado foi invalidado
 - provavelmente se trata de um processo de reparo
 - os resultados do ensaio ainda continuam válidos
- 9) Qual das técnicas abaixo podem ser utilizadas para a aplicação do líquido penetrante?
- mergulhando a peça em banho no penetrante.
 - pulverizando o penetrante sobre a peça.
 - através de rolo de pintura.
 - todas as técnicas acima podem ser utilizadas.
- 10) Qual das técnicas abaixo podem ser utilizadas para a aplicação do revelador ?
- com pincel macio.
 - com rolo de pintura.
 - por pulverização.
 - todas as técnicas podem ser utilizadas.
- 11) O objetivo do revelador no ensaio por Líquidos penetrantes é :
- promover a melhor penetração do penetrante.
 - absorver o penetrante de dentro das descontinuidades.
 - produzir um fundo contrastante branco,para facilitar a observação das descontinuidades.
 - as alternativas (b) e (c) são corretas.
- 12) A remoção do excesso de penetrante removível com solvente ,da superfície , deve ser feita:
- com pano limpo , sem fiapos , umidecido com solvente.
 - com pano limpo , e seco.
 - através da pulverização do solvente sobre a superfície, e após remoção com pano limpo, sem fiapos.
 - banhando a peça com solvente apropriado, do mesmo fabricante do penetrante.
- 13)Uma vantagem do ensaio por líquidos penetrantes , em relação aos demais E.N.D , é:
- o método pode ser aplicado em todos os materiais.
 - o método não necessita de preparação da superfície.
 - o ensaio pode detectar qualquer descontinuidade.
 - o método é mais simples , e de fácil interpretação dos resultados.
- 14)Os tipos de reveladores que dispomos para a inspeção por L.P ,são:
- pós secos.
 - não aquosos
 - aquosos
 - todas as alternativas são corretas.
- 15)O croquis abaixo ,representa o resultado da inspeção por líquidos penetrante de uma solda acabada. De acordo com o ASME Sec.VIII Div.1 , Ap.8 :



- a) as indicações lineares são reprovadas.
 - b) as indicações (1) e (2) são aceitáveis.
 - c) somente a indicação (3) é aceitável.
 - d) todas as indicações são reprovadas
- 16) Os teores de cloro, enxofre e flúor, devem ser controlados quando o ensaio por L.P ocorrer:
- a) em materiais porosos.
 - b) em aços carbono
 - c) em aços inoxidáveis austeníticos e ligas de níquel.
 - d) em materiais plásticos.
- 17) Peças rugosas, como fundidos brutos, que devam ser inspecionadas por líquidos penetrantes, recomenda-se a utilização de produtos:
- a) removíveis com solvente.
 - b) fluorescentes.
 - c) com certificados de cloro, enxofre e flúor.
 - d) laváveis com água.
- 18) A avaliação dos resultados do ensaio por líquidos penetrantes, deve ser feita:
- a) após um período de 7 minutos, observando o tamanho real das descontinuidades.
 - b) após um período de 15 minutos, observando o tamanho da mancha do líquido penetrante difundido no revelador.
 - c) imediatamente após a aplicação do revelador, aplicando o critério de aceitação estabelecido.
 - d) após o tempo de revelação, descrito no procedimento aprovado, observando o tamanho da mancha difundido no revelador, e comparando com os critérios de aceitação aplicáveis.
- 19) O problema do reensaio de uma peça que já foi inspecionada por líquidos penetrantes, é:
- a) o penetrante pode perder o brilho de sua cor.
 - b) o resíduo do penetrante seco deixado no interior das descontinuidades, pode não dissolver e o restante pode apresentar resultados pouco confiáveis, ou perda de indicações.
 - c) a limpeza prévia das superfícies geralmente é mais difícil.
 - d) não existe problema no reensaio de uma peça já inspecionada por LP
- 20) A temperatura da superfície, na inspeção por líquidos penetrantes:
- a) não tem qualquer interferência.
 - b) deve estar acima de 5 graus.
 - c) deve estar abaixo de 52 graus
 - d) deve estar dentro da faixa permitida pelo procedimento de ensaio.
- 21) O tipo de penetrante classificado como "Tipo II - C" de acordo com ASME SEC.V trata-se de:
- a) penetrante fluorescente, lavável com água.
 - b) penetrante visível com luz natural, lavável com água.
 - c) penetrante visível com luz natural, removível com solvente.
 - d) penetrante fluorescente, removível com solvente.
- 22) O tipo de penetrante classificado como "Tipo I - A" de acordo com ASME SEC.V trata-se de:
- a) penetrante fluorescente, lavável com água.
 - b) penetrante visível com luz natural, lavável com água.
 - c) penetrante visível com luz natural, removível com solvente.
 - d) penetrante fluorescente, removível com solvente.

- 23) Quanto à iluminação ambiente para a inspeção por líquidos penetrantes visível com luz natural :
- a) não há nenhum requisito importante.
 - b) deve ser de no mínimo 2000 lux.
 - c) deve atender no mínimo de 1000 lux , sobre a superfície.
 - d) a luz deve ser apenas branca.
- 24) A borda de um chanfro preparado para soldagem , foi cortado com o processo de oxi-corte. Neste caso na preparação da superfície para o ensaio por líquidos penetrantes pode ser feita:
- a) usando-se apenas escova.
 - b) por jateamento
 - c) por limpeza com solvente e pano limpo.
 - d) por esmerilhamento
- 25) Ao se adquirir um lote de penetrante , devemos:
- a) verificar se o produto está qualificado pelo procedimento aprovado
 - b) efetuar teste de sensibilidade numa amostra do lote, usando padrão conhecido.
 - c) verificar a data de validade do lote.
 - d) todas as alternativas são aplicáveis.
- 26) Uma junta soldada foi inspecionada por líquidos penetrantes. Após o ensaio o reforço da solda foi eliminado. Nesse caso:
- a) o inspetor deve anotar no relatório do ensaio sobre o ocorrido
 - b) o ensaio deve ser considerado inválido
 - c) nada deve ser feito, pois o procedimento é normal
 - d) o inspetor pode reaplicar o revelador, após o esmerilhamento do reforço, para verificar se existe alguma indicação

CAPÍTULO 3

ENSAIO POR ULTRA-SOM

3.1. Princípios Básicos do Método

Introdução:

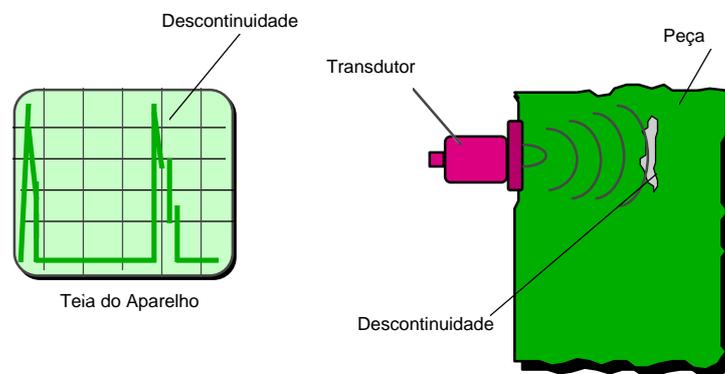
Sons extremamente graves ou agudos, podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência do mesmo, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infra-som) ou com frequências muito altas acima de 20 kHz (ultra-som), ambas inaudíveis.

Como sabemos, os sons produzidos em um ambiente qualquer, refletem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes.

Fenômenos como este apesar de simples e serem frequentes em nossa vida cotidiana, constituem os fundamentos do ensaio ultrassônico de materiais.

No passado, testes de eixos ferroviários, ou mesmos sinos, eram executados através de testes com martelo, em que o som produzido pela peça, denunciava a presença de rachaduras ou trincas grosseiras pelo som característico.

Assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultra-sônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultra-sônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.



Princípio Básico da Inspeção de Materiais por Ultra-Som

Finalidade do Ensaio

O ensaio por ultra-som, caracteriza-se num método não destrutivo que **tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas**, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos.

Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a ser examinada como por exemplo: bolhas de gás fundidos, dupla laminação em laminados, micro-trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros.

Portanto, o exame ultra-sônico, assim como todo exame não destrutivo, visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades.



Inspeção por Ultra-Som em virabrequim

Campo de Aplicação

Em 1929 o cientista Sokolov, fazia as primeiras aplicações da energia sônica para atravessar materiais metálicos, enquanto que 1942 Firestone, utilizara o princípio da ecosonda ou ecobatímetro, para exames de materiais. Somente em 1945 o ensaio ultra-sônico iniciou sua caminhada em escala industrial, impulsionado pelas necessidades e responsabilidades cada vez maiores.

Hoje, na moderna indústria, principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas, o exame ultra-sônico, constitui uma ferramenta indispensável para garantia da qualidade de peças de grandes espessuras, geometria complexa de juntas soldadas, chapas. Na maioria dos casos, **os ensaios são aplicados em aços-carbonos, em menor porcentagem em aços inoxidáveis**. Materiais não ferrosos são difíceis de serem examinados, e requerem procedimentos especiais.

Limitações em Comparação com outros Ensaios:

Assim como todo ensaio não-destrutivo, o ensaio ultra-sônico, possui vantagens e limitações nas aplicações, como segue:

- Vantagens em relação a outros ensaios:

O método ultra-sônico possui alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas, por exemplo:

Trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gamagrafia).

Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.

No caso de radiografia ou gamagrafia, existe a necessidade do processo de revelação do filme, que via de regra demanda tempo do informe de resultados.

Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultra-sônico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.

A localização, avaliação do tamanho e interpretação das descontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultra-sônico, enquanto que outros exames não definem tais fatores. Por exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho mas não sua profundidade e em muitos casos este é um fator importante para proceder um reparo.

- Limitações em relação a outros ensaios.

- Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor.

- O registro permanente do teste não é facilmente obtido.

- Faixas de espessuras muito finas, constituem uma dificuldade para aplicação do método.

- Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda, que demanda tempo de fábrica.

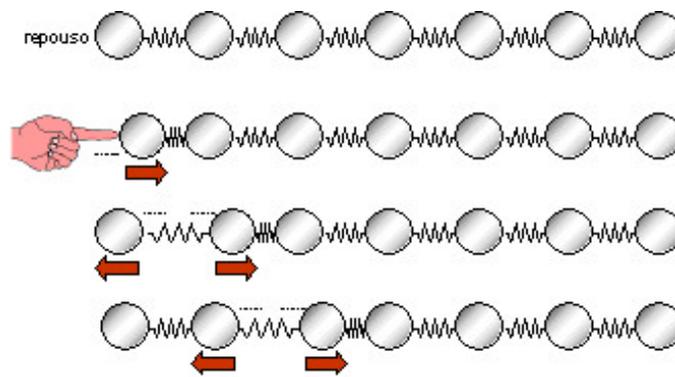
3.2. Vibrações Mecânicas

Tipos de Ondas:

Como já vimos, o teste ultra-sônico de materiais é feito com o uso de ondas mecânicas ou acústicas colocadas no meio em inspeção, ao contrário da técnica radiográfica, que usa ondas eletromagnéticas. Qualquer onda mecânica é composta de oscilações de partículas discretas no meio em que se propaga. A passagem de energia acústica no meio faz com que as partículas que compõem o mesmo, execute o movimento de oscilação em torno na posição de equilíbrio, cuja amplitude do movimento será diminuído com o tempo em posição de equilíbrio, cuja amplitude do movimento será diminuído com o tempo em decorrência da perda de energia adquirida pela onda. Se assumirmos que o meio em estudo é elástico, ou seja que as partículas que o compõem rigidamente ligadas, mas que podem oscilar em qualquer direção, então podemos classificar as ondas acústicas em quatro tipos:

Ondas longitudinais (Ondas de compressão):

São ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases.



Onda longitudinal

No desenho acima nota-se que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas, e passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda (longitudinal), e aparecerá “zonas de compressão” e “zonas diluídas”. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda (λ).

Em decorrência do processo de propagação, este tipo de onda possui uma alta velocidade de propagação, característica do meio.

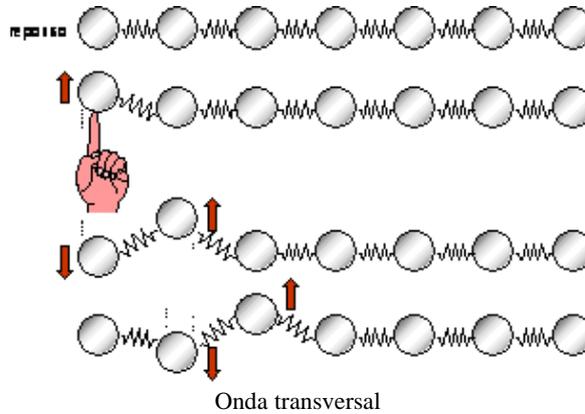
Tabela 3.1

Velocidades de Propagação das Ondas Longitudinais

Material	Velocidade m/s
Ar	330
Aluminio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo(SAE30)	1700
Água	1480
Prata	3600
Titânio	6100
Níquel	5600
Tungstênio	5200

Ondas transversais (ou ondas de cisalhamento):

Uma onda transversal é definida, quando as partículas do meio vibram na direção perpendicular ao de propagação. Neste caso, observamos que os planos de partículas, mantem-se na mesma distância um do outro, movendo-se apenas verticalmente.



As partículas oscilam na direção transversal a direção de propagação, podendo ser transmitidas somente a sólidos. As ondas transversais são praticamente incapazes de se propagarem nos líquidos e gases, pela características das ligações entre partículas, destes meios. O comprimento de onda é a distância entre dois “vales” ou dois “picos”.

Tabela 3.2

Velocidades de Propagação das Ondas Transversais

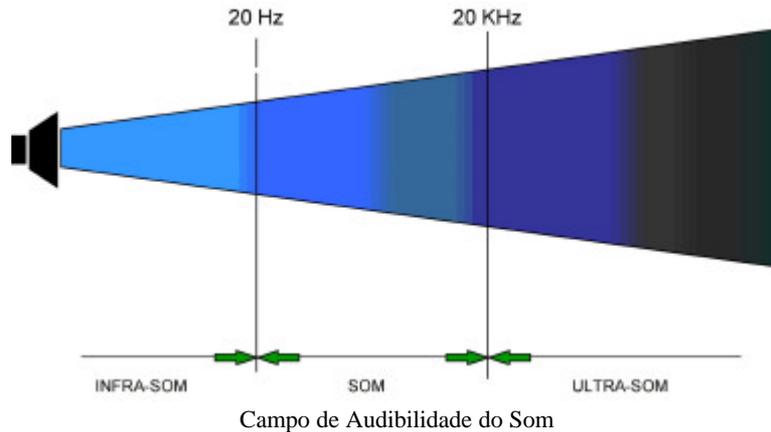
Material	Velocidade m/s
Ar	-
Aluminio	3100
Cobre	2300
Ouro	1200
Aço	3200
Nylon	1100
Óleo(SAE30)	-
Água	-
Prata	1600
Titânio	3100
Níquel	3000

3.3. Frequência , Velocidade e Comprimento de Onda :

Frequência:

As ondas acústicas ou som propriamente dito, são classificados de acordo com suas frequências e medidos em ciclos por segundo, ou seja **o número de ondas que passam por segundo pelo nossos ouvidos**. A unidade “ciclos por segundos” é normalmente conhecido por “Hertz”, abreviatura “Hz”.

Assim sendo se tivermos um som com 280 Hz, significa que por segundo passam 280 ciclos ou ondas por nossos ouvidos. Note que frequências acima de 20.000 Hz são inaudíveis denominadas frequência ultra-sônica.



Considera-se 20 kHz o limite superior audível, denominando-se a partir desta, frequência ultra-sônica.

Velocidade de propagação.

Existem várias maneiras de uma onda sônica se propagar, e cada uma com características particulares de vibrações diferentes. Definimos “Velocidade de propagação” como sendo a distância percorrida pela onda sônica por unidade de tempo. É importante lembrar que **a velocidade de propagação é uma característica do meio, sendo uma constante, independente da frequência.**

Comprimento de onda.

Quando atiramos uma pedra num lago de águas calmas, imediatamente criamos uma perturbação no ponto atingido e formando assim, ondas superficiais circulares que se propagam sobre a água. Neste simples exemplo, podemos imaginar o que definimos anteriormente de frequência como sendo o número de ondas que passam por um observador fixo, também podemos imaginar a velocidade de propagação pela simples observação e ainda podemos estabelecer o comprimento entre dois picos de ondas consecutivos. A esta medida denominamos comprimento de onda, e representaremos pela letra grega Lambda “ λ ”.

Relações entre velocidade, comprimento de onda e frequência.

Considerando uma onda sônica se propagando num determinado material com velocidade “V”, frequência “f”, e comprimento de onda “ λ ”, podemos relacionar estes três parâmetros como segue:

$$V = \lambda \cdot f$$

A relação acima, permite calcular o comprimento de onda pois a velocidade é em geral conhecida e depende somente do modo de vibração e o material, por outro lado a frequência depende somente da fonte emissora, que também é conhecida.

Exemplo de aplicação:

Uma onda longitudinal ultra-sônica, com frequência 2 MHz é utilizada para examinar uma peça de aço. Qual o comprimento de onda gerado no material ?

Solução:

Como vimos anteriormente, a faixa de frequência normal utilizada para aplicações industriais, compreende entre 1 MHz até 5 MHz. No exemplo acima a frequência de 2 MHz corresponde a 2 milhões de ciclos por segundos ou seja 2×10^6 Hz.

Teremos:

$$V = \lambda \cdot f \text{ ou } \lambda = \frac{V}{f}$$

sendo $V = 5900$ m/s vem que:

$$\lambda = \frac{5900}{2 \times 10^6} \text{ metros}$$

$$\lambda = 2950 \times 10^6 \text{ m} \quad \text{ou} \quad \lambda = 2,95 \text{ mm}$$

O conhecimento do comprimento de onda é de significativa importância, pois relaciona-se diretamente com o tamanho do defeito a ser detectado. Em geral, o menor diâmetro de uma descontinuidade a ser detectada no material deve ser da ordem de $\lambda/2$. Assim se inspecionarmos um material de velocidade de propagação de 5900 m/s com uma frequência de 1 MHz, a mínima descontinuidade que poderemos detectar será de aproximadamente 2,95 mm de diâmetro.

3.4. Definições de Bell e Decibell, Ganho

Nível de Intensidade Sonora:

O "Bell" abreviado "B" é uma grandeza que define o nível de intensidade sonora (NIS) que compara as intensidades de dois sons quaisquer, como segue:

$$\text{N.I.S.} = \log \frac{I}{I_0} \text{ B}$$

Onde I e I_0 são duas intensidades sonoras medidas em Watts por centímetros quadrados (W/cm^2).

Por outro lado, o decibell equivale a 1/10 do Bell e em geral é normalmente utilizado para medidas de N.I.S., e portanto a equação será:

$$\text{N.I.S.} = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

Entretanto, a teoria dos movimentos harmônicos na propagação ondulatória nos ensina que a intensidade de vibração é proporcional ao quadrado da amplitude sonora, $I = (A)^2$, e portanto devemos reescrever na forma de N.A.S (nível de amplitude sonora):

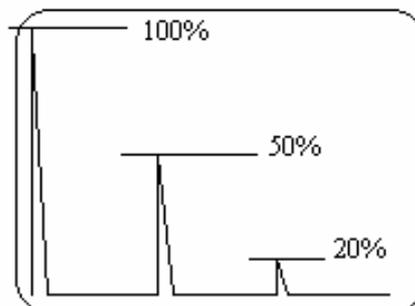
$$\text{N.A.S.} = 10 \log \frac{(A)^2}{(A_0)^2} \text{ dB} \quad (\text{Nível de amplitude sonora}).$$

$$\text{N.A.S.} = 20 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

Esta relação pode ser entendida como sendo a comparação efetuada por um sistema eletrônico de duas amplitudes de sinais, emitida e recebida pelo transdutor ultra-sônico, ou simplesmente conhecido por "Ganho".

Exemplo de aplicação:

Quais são os ganhos correspondentes a uma queda de 50% e 20% nas amplitudes de dois sinais na tela do aparelho de ultra-som, como mostrado na figura abaixo?



- a) para variação de 50% $G = 20 \log 0,50 \text{ dB}$
 $G = - 6 \text{ dB}$
- b) para variação de 20 % $G = 20 \log 0,20 \text{ dB}$
 $G = -14 \text{ dB}$

A partir do exemplo acima, podemos verificar a calibração vertical do aparelho de ultra-som, executando no controle de ganho as variações acima descritas, e verificando na tela do aparelho, as amplitudes dos ecos correspondentes. Algumas normas e especificações descrevem este procedimento com maiores detalhes. Caso a amplitude dos ecos não corresponderem ao esperado, calculado matematicamente, deve-se concluir que o aparelho necessita de manutenção, e deve ser enviado à assistência técnica especializada.

3.5. Propagação das Ondas Acústicas no Material

Atenuação Sônica:

A onda sônica ao percorrer um material qualquer sofre, em sua trajetória efeitos de dispersão e absorção, resultando na redução da sua energia ao percorrer um material qualquer.

A dispersão deve-se ao fato da matéria não ser totalmente homogênea, contendo interfaces naturais de sua própria estrutura ou processo de fabricação. Por exemplo fundidos, que apresentam grãos de grafite e ferrita com propriedades elásticas distintas. Para esta mudança das características elásticas de ponto num mesmo material denominamos anisotropia, que é mais significativo quando o tamanho de grão for 1/10 do comprimento de onda.

O fenômeno da absorção ocorre sempre que uma vibração acústica percorre um meio elástico. É a energia cedida pela onda para que cada partícula do meio execute um movimento de oscilação, transmitindo a vibração às outras partículas do próprio meio.

Portanto, o resultado dos efeitos de dispersão e absorção quando somados resultam na atenuação sônica. Na prática, este fenômeno poderá ser visualizado, quando observamos na tela do aparelho de ultra-som, vários ecos de reflexão de fundo provenientes de uma peça com superfícies paralelas. As alturas dos ecos diminuem com a distância percorrida pela onda.

O fenômeno da atenuação é importante quando inspecionamos peças em que este fator pode inviabilizar o ensaio. É o caso de soldas em aços inoxidáveis austeníticos, peças forjadas em aços inoxidáveis, que são exemplos clássicos desta dificuldade. O controle e avaliação da atenuação nestes casos é razão para justificar procedimentos de ensaio especiais.

A tabela abaixo, apresenta alguns valores de atenuação.

Tabela 3.3

Material aço Cr-Ni	Atenuação Sônica em (dB/mm)
Forjados	0,009 a 0,010
Laminados	0,018
Fundidos	0,040 a 0,080

3.6. Geração das Ondas Ultra-Sônicas

Efeito Piezelétrico:

As ondas ultra-sônicas são geradas ou introduzidas no material através de um elemento emissor com uma determinada dimensão e que vibra com uma certa frequência. Este emissor pode se apresentar com determinadas formas (circular, retangular). Tanto o elemento emissor e receptor, são denominados transdutores, também designados por cabeçotes.

Diversos materiais (cristais) apresentam o efeito piezelétrico. Se tomarmos uma lâmina de certo formato (placa) e aplicarmos uma pressão sobre o mesmo, surgem em sua superfície cargas elétricas. O efeito inverso também é verdadeiro: se aplicarmos dois eletrodos

sobre as faces opostas de uma placa de cristal piezolétrico, de maneira que possamos carregar as faces eléticamente, a placa comporta-se como se estivesse sobre pressão e diminui de espessura.

O cristal piezolétrico pode transformar a energia elétrica alternada em oscilação mecânica e transformar a energia mecânica em elétrica .



Figura mostrando a contração e expansão do cristal quando submetido a uma alta tensão alternada na mesma frequência ultra-sônica emitida pelo cristal. É um processo de transformação da energia elétrica em energia mecânica

Tal fenômeno é obtido aplicando-se eletrodos no cristal piezolétrico com tensão elétrica alternada (da ordem de 1000 V), de maneira que o mesmo se contrai e se estende ciclicamente. Se tentarmos impedir esse movimento a placa transmite esforços de compressão as zonas adjacentes, emitindo uma onda longitudinal, cuja forma depende da frequência de excitação e das dimensões do cristal.

Tipos de Cristais:

Materiais piezolétricos são: o quartzo, o sulfato de lítio, o titanato de bário, o metaniobato de chumbo.

Quartzo é um material piezolétrico mais antigo, translúcido e duro como o vidro sendo cortado a partir de cristais originários no Brasil. Sulfato de Lítio é um cristal sensível a temperatura e pouco resistente. Titanato de Bário e metaniobato de chumbo são materiais cerâmicos que recebem o efeito piezolétrico através de polarização. Esses dois cristais são os melhores emissores, produzindo impulsos ou ondas de grande energia, se comparadas com aquelas produzidas por cristais de quartzo. Para a inspeção ultra-sônica, interessa não só a potência de emissão, mas também a sensibilidade da recepção (resolução). A frequência ultra-sônica gerada pelo cristal dependerá da sua espessura, cerca de 1 mm para 4 MHz e 2 mm para 2 MHz.

Os cristais acima mencionados são montados sobre uma base de suporte (bloco amortecedor) e junto com os eletrodos e a carcaça externa constituem o transdutor ou cabeçote propriamente dito. Existem três tipos usuais de transdutores: Reto ou Normal, o angular e o duplo - cristal.

Transdutores Normais ou Retos:

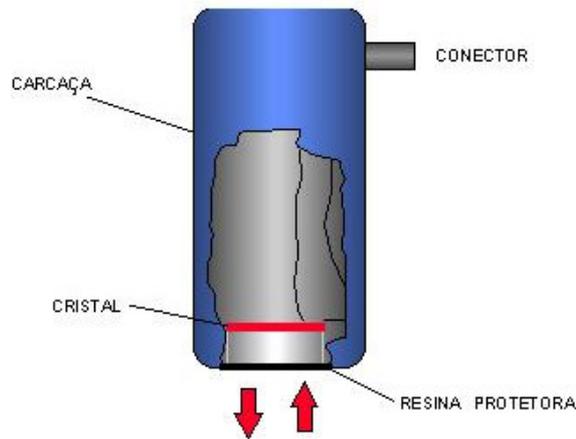
São assim chamados os cabeçotes monocristal geradores de ondas longitudinais normal a superfície de acoplamento.

Os transdutores normais são construídos a partir de um cristal piezolétrico colado num bloco rígido denominado de amortecedor e sua parte livre protegida ou uma membrana de borracha ou uma resina especial. O bloco amortecedor tem função de servir de apoio para o cristal e absorver as ondas emitidas pela face colada a ele.

O transdutor emite um impulso ultra-sônico que atravessa o material a inspecionar e reflete nas interfaces, originando o que chamamos ecos. Estes ecos retornam ao transdutor e gera, no mesmo, o sinal elétrico correspondente.

A face de contato do transdutor com a peça deve ser protegida contra desgastes mecânico podendo utilizar membranas de borracha finas e resistentes ou camadas fixas de epoxi enriquecido com óxido de alumínio.

Em geral os transdutores normais são circulares, com diâmetro de 5 a 24 mm, com frequência de 0,5 ; 1 ; 2 ; 2,5 ; 4 ; 5 ; 6 MHz. Outros diâmetros e frequências existem, porém para aplicações especiais.



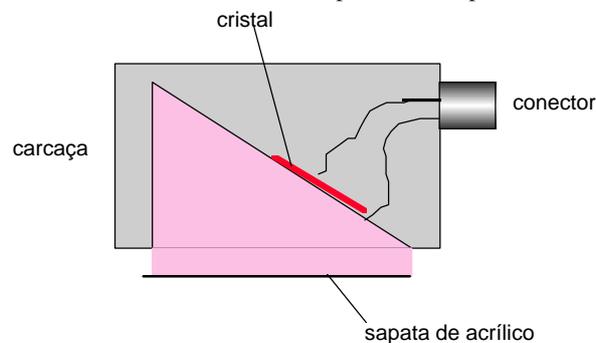
Transdutor Normal ou Reto

Transdutores Angulares:

A rigor, diferem dos transdutores retos ou normais pelo fato do cristal formar um determinado ângulo com a superfície do material. O ângulo é obtido, inserindo uma cunha de plástico entre o cristal piezoelectrico e a superfície. A cunha pode ser fixa, sendo então englobada pela carcaça ou intercambiável. Neste último caso temos um transdutor normal que é preso com parafusos que fixam a cunha à carcaça. Como na prática operamos normalmente com diversos ângulos (35, 45, 60, 70 e 80 graus) esta solução é mais econômica já que um único transdutor com várias cunhas é de custo inferior, porém necessitam de maiores cuidados no manuseio.

O ângulo nominal, sob o qual o feixe ultra-sônico penetra no material vale somente para inspeção de peças em aço; se o material for outro, deve-se calcular o ângulo real de penetração utilizando a Lei de Snell. A mudança do ângulo deve-se à mudança de velocidade no meio.

O cristal piezoelectrico somente recebe ondas ou impulsos ultra-sônicos que penetram na cunha em uma direção paralela à de emissão, em sentido contrário. A cunha de plástico funciona como amortecedor para o cristal piezoelectrico, após a emissão dos impulsos.



Transdutor angular

Transdutores Duplo-Cristal ou SE

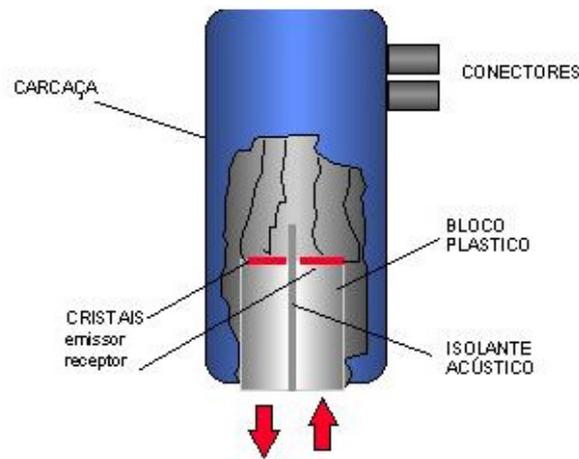
Existem problemas de inspeção que não podem ser resolvidos nem com transdutores retos nem com angulares.

Quando se trata de inspecionar ou medir materiais de reduzida espessura, ou quando se deseja detectar discontinuidades logo abaixo da superfície do material, a "zona morta" existente na tela do aparelho impede uma resposta clara. O cristal piezoelectrico recebe uma "resposta" num espaço de tempo curto após a emissão, não tendo suas vibrações sido amortecidas suficientemente.

Neste caso, somente um transdutor que separa a emissão da recepção pode ajudar. Para tanto, desenvolveu-se o transdutor de duplo-cristal, no qual dois cristais são incorporados na mesma carcaça, separados por um material acústico isolante e levemente inclinados em relação à superfície de contato. Cada um deles funciona somente como emissor ou somente como receptor, sendo indiferente qual deles exerce qual função. São conectados ao aparelho de ultra-som por um cabo duplo; o aparelho deve ser ajustado para trabalhar agora com 2 cristais.

Os cristais são montados sobre blocos de plástico especial de baixa atenuação. Devido a esta inclinação, os transdutores duplos não podem ser usados para qualquer distância (profundidade). Possuem sempre uma faixa de inspeção ótima, que deve ser observada. Fora desta zona a sensibilidade se reduz. Em certos casos estes transdutores duplos são utilizados com “focalização”, isto é, feixe é concentrado em uma determinada zona do material para a qual se deseja máxima sensibilidade.

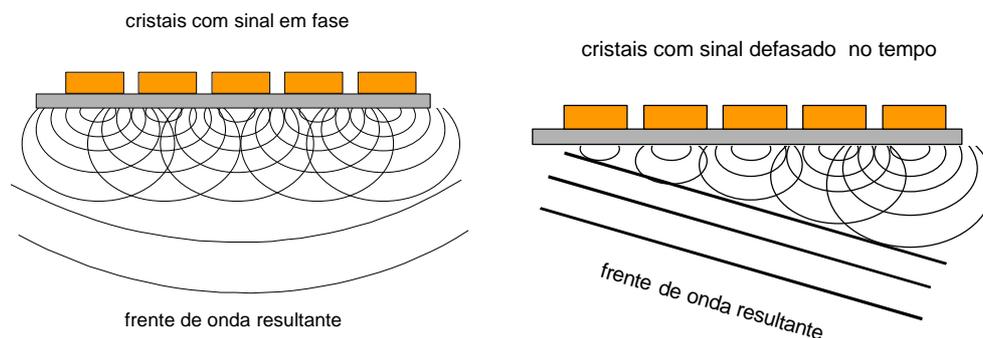
O transdutor duplo-cristal é o mais indicado e largamente utilizado nos procedimentos de medição de espessura por ultra-som.



Transdutor Duplo-Cristal ou SE

O TRANSDUTOR "PHASED ARRAY"

Os transdutores convencionais descritos acima, dispõem de um único cristal ou no máximo dois, em que o tempo de excitação do cristal é determinado pelo aparelho de ultra-som, sempre realizado de uma mesma forma. Com o avanço da tecnologia dos computadores, com processadores e circuitos mais rápidos, e principalmente de materiais piezocompostos para fabricação de novos cristais, desde os anos 90 foi possível o desenvolvimento de uma tecnologia especial em que num mesmo transdutor operam dezenas (de 10 a 256 elementos) de pequenos cristais, cada um ligado à circuitos independentes capazes de controlar o tempo de excitação independentemente um dos outros cristais. O resultado é a modificação do comportamento do feixe sonico emitido pelo conjunto de cristais ou pelo transdutor. Veja a figura abaixo do lado esquerdo, o conjunto de cristais estão operando em fase, isto é, o aparelho de ultra-som executa a excitação dos cristais todos no mesmo tempo, e o resultado é um onda perpendicular ao plano da superfície. A figura do lado direito, mostra que o aparelho de ultra-som executa a excitação dos cristais de forma defasada, isto é, o tempo em que cada cristal é excitado é retardado no tempo, e o resultado é uma frente de onda angular à superfície.



Devido às particularidades dos transdutores phased-array, é possível numa única varredura deste inspecionar o material com vários ângulos de refração diferentes de uma só vez, já que a mudança do ângulo é feita eletronicamente. Isso significa uma maior velocidade de inspeção, principalmente em soldas, onde no mínimo é recomendado dois ângulos diferentes.

As vantagens principais dos transdutores Phased Array são:

- Variedade de pontos focais para um mesmo transdutor
- Variedade de ângulos de incidência para um mesmo transdutor
- Varredura do material de forma eletrônica do feixe sônico

- Variedade dos modos de inspeção
- Maior flexibilidade para inspeção de juntas complexas

3.7 Acoplantes

Ao acoplarmos o transdutor sobre a peça a ser inspecionada, imediatamente estabelece uma camada de ar entre a sapata do transdutor e a superfície da peça. Esta camada de ar impede que as vibrações mecânicas produzidas pelo transdutor se propague para a peça em razão das características acústicas (impedância acústica) muito diferente do material a inspecionar.

Por esta razão, deve-se usar um líquido que estabeleça uma redução desta diferença, e permita a passagem das vibrações para a peça. Tais líquidos, denominados líquido acoplante, são escolhidos em função do acabamento superficial da peça, condições técnicas, tipo da peça. A tabela 3.4 abaixo descreve alguns acoplantes mais utilizados.

Tabela 3.4 - Alguns líquidos acoplantes

Acoplante	Densidade (g/cm ³)	Velocidade da onda long. (m/s)
Óleo diesel	0,8	1250
Água	1,0	1483
Glicerina	1,26	1920
Óleo SAE 20 ou 30	0,87	1740
Carbox Metil Celulose (15g/l)	1,20	2300

A impedância acústica é definida como sendo o produto da densidade do meio pela velocidade de propagação neste meio, e representa a quantidade de energia acústica que se reflete e transmite para o meio. Como exemplo podemos citar que a interface água e aço, apenas transmite 12% e reflete 88% da energia ultra-sônica.

3.8 Aparelhagem

Descrição dos Aparelhos Medidores de Espessura por Ultra-Som

Os medidores de espessura por ultra-som podem se apresentar com circuitos digitais ou analógicos, e são aparelhos simples que medem o tempo do percurso sônico no interior do material, através da espessura, registrando no display o espaço percorrido ou seja a própria espessura. Operam com transdutores duplo-cristal, e possuem exatidão de décimos ou até centésimos dependendo do modelo.



Medidor de Espessura Digital Ultra-sônico

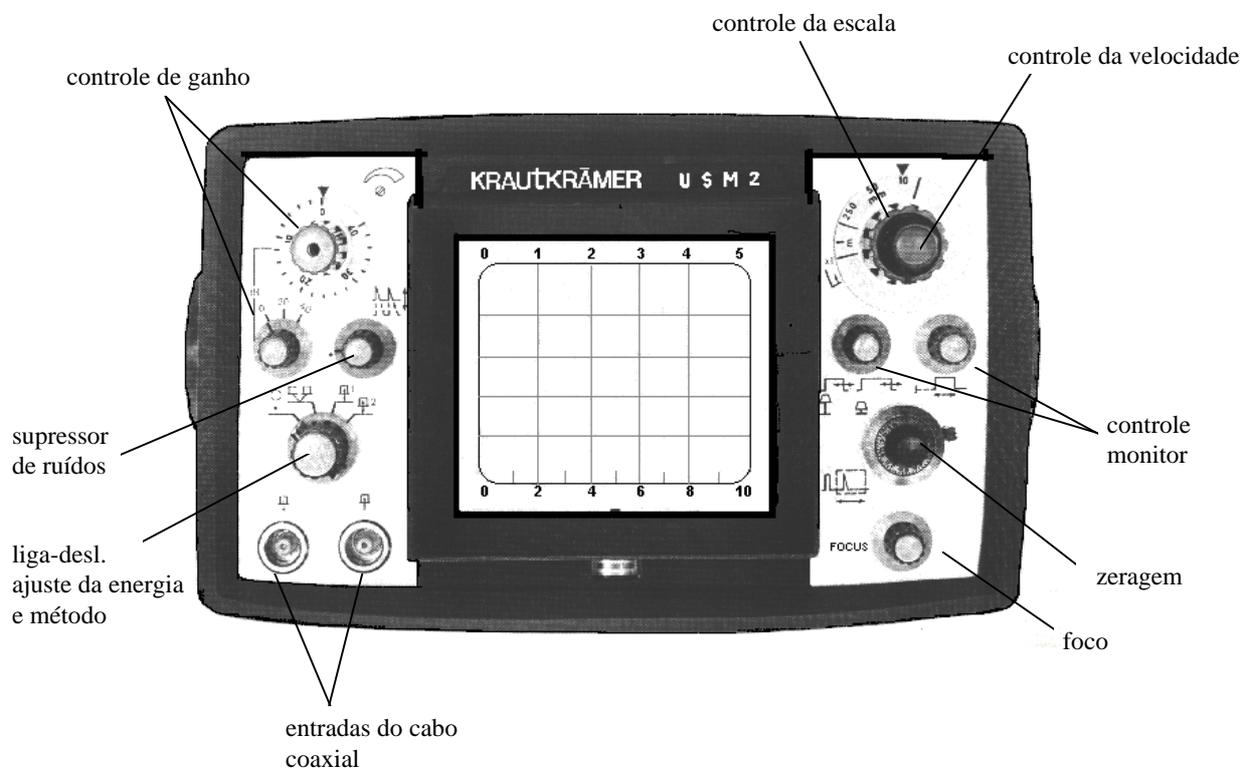
São aparelhos bastante úteis para medição de espessuras de chapas, tubos, taxas de corrosão em equipamentos industriais, porém para a obtenção de bons resultados, é necessário sua calibração antes do uso, usando blocos com espessuras calibradas e de mesmo material a ser medido, com o ajuste correto da velocidade de propagação do som do aparelho.

Os aparelhos medidores modernos de espessura digitais, são dotados de circuitos de memória que podem armazenar centenas de dados referente a espessuras medidas e após, conectando na impressora, pode-se obter um relatório completo das medidas efetuadas e as condições usadas.

Descrição do Aparelho Básico de Ultra-Som:

Basicamente, o aparelho de ultra-som contém circuitos eletrônicos especiais, que permitem transmitir ao cristal piezelétrico, através do cabo coaxial, uma série de pulsos elétricos controlados, transformados pelo mesmo em ondas ultra-sônicas. Da mesma forma, sinais captados no cristal são mostrados na tela do tubo de raios catódicos em forma de pulsos luminosos denominados “ecos”, que podem ser regulados tanto na amplitude, como posição na tela graduada e se constituem no registro das descontinuidades encontradas no interior do material

Em geral, os fabricantes oferecem vários modelos de aparelhos com maiores ou menores recursos técnicos, entretanto, alguns controles e funções básicas devem ter para ser possível sua utilização, que veremos a seguir.



Aparelho Básico de Ultra-Som

Controles Básicos:

- Escolha da função:

Todo aparelho possui entradas de conectores dos tipos BNC (aparelhos de procedência norte-americana) ou Lemo (aparelhos de procedência alemã), para permitir de transdutores monocristale de duplo-cristal.

- Potência de emissão:

Está diretamente relacionado com a amplitude de oscilação do cristal ou tamanho do sinal transmitido. Em geral os aparelhos apresentam níveis de potência através de uma chave seletora em número de 2 até 5 posições.

- Ganho:

Está relacionado com a amplitude do sinal na tela ou amplificação do sinal recebido pelo cristal. Os aparelhos apresentam um ajuste fino e grosseiro, calibrado em “dB”, num mesmo controle ou separados.

- Escala:

As graduações na tela do aparelho podem ser modificadas conforme a necessidade, para tanto a chave vem calibrada em faixas fixas (ex: 10, 50, 250 ou 1000mm).

- Velocidade de propagação:

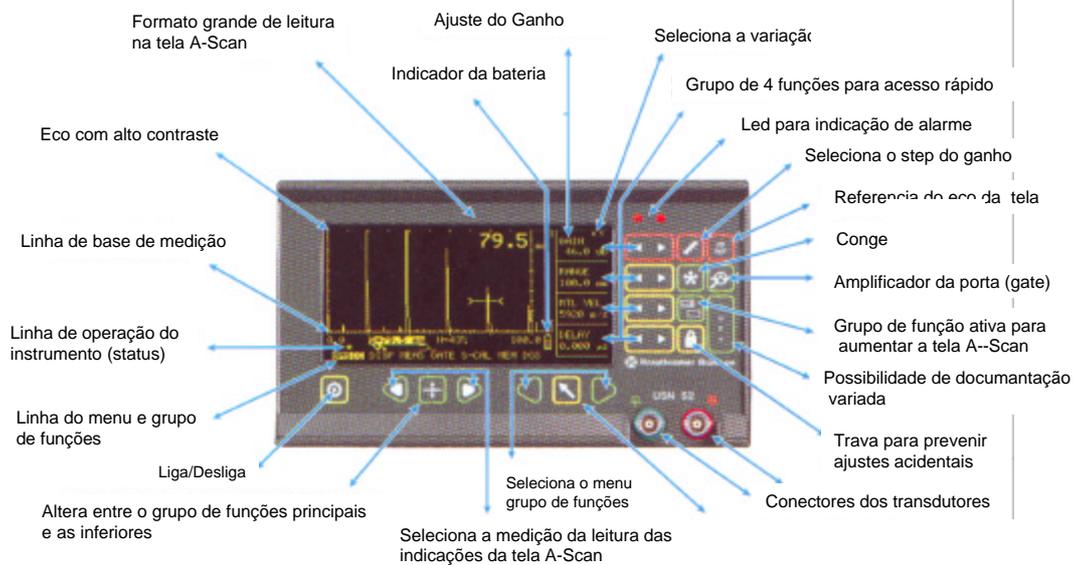
A velocidade de propagação ao ser alterada no aparelho nota-se claramente que o eco de reflexão produzido por uma interface, muda de posição na tela do osciloscópio, permanecendo o eco original em sua posição inicial.

O aparelho de Ultra-Som é basicamente ajustado para medir o tempo de percurso do som na peça ensaiada através da relação: $S = v \times t$ onde o espaço percorrido (S) é proporcional do tempo (t) e a velocidade de propagação (v), no material, ajusta-se a leitura para unidade de medida (cm, m, etc.).

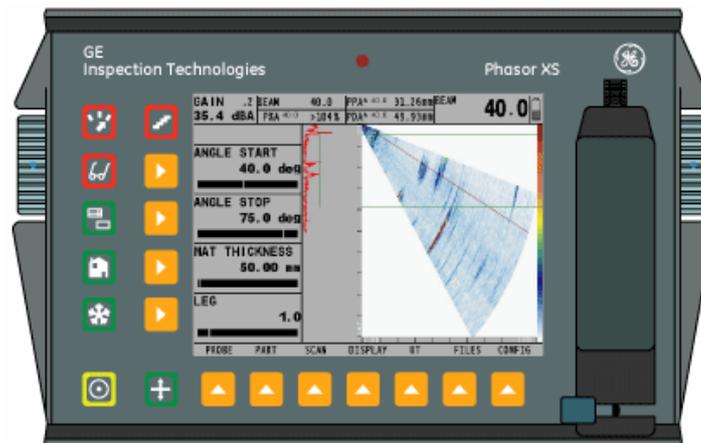
Nos aparelhos analógicos, dependendo do modelo e fabricante, poderá existir um controle da velocidade ou simplesmente um controle que trabalha junto com o da escala do aparelho. No primeiro caso, existe uma graduação de velocidade (m/s) em relação aos diferentes materiais de ensaio ultra-sônico.



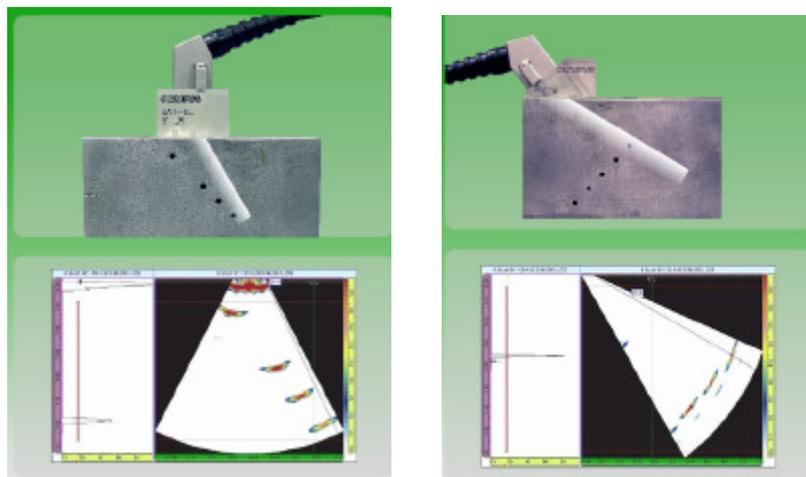
Aparelho de ultra-som digital marca Krautkramer , mod. USN-52.



Aparelho Digital marca Krautkramer Mod. USN-50/52



Aparelho típico Phased Array da GE - Phasor XS



Varredura angular usando um transdutor phased array, também conhecido por S-Scan. A varredura é efetuada sem movimento do transdutor. O feixe sonico é produzido angularmente pelo transdutor mostrando na tela a posição das indicações a partir do centro do transdutor.

Cuidados Referentes à Calibração:

No capítulo a seguir será discutido em detalhes, o significado e importância da calibração do aparelho de ultra-som. No entanto, o operador deverá proceder uma recalibração dos instrumentos e acessórios sempre que:

- Houver trocas de transdutores no decorrer de inspeção
- O aparelho for desligado
- Transcorrer 90 minutos com o aparelho ligado
- Houver troca de operadores

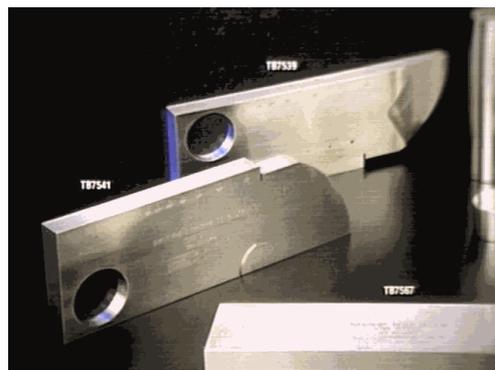
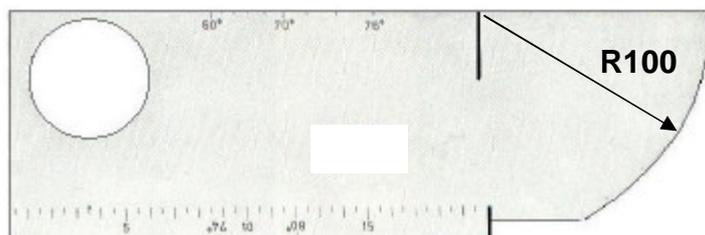
Os aparelhos de ultra-som devem ter o ganho e escala calibrados conforme a norma BSI 4331 Part.1 ou ASME Sec.V.

Calibração e Blocos Padrão:

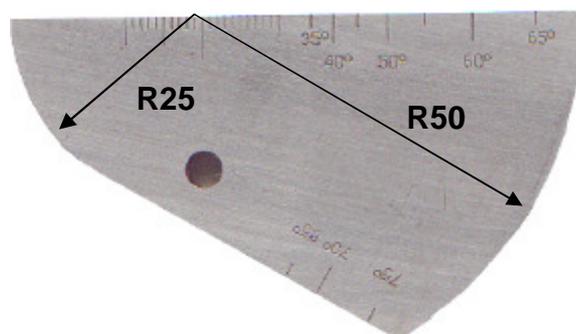
O termo calibração deve ser analisado no seu sentido mais amplo entendendo o leitor como sendo o perfeito ajuste de todos os controles do aparelho de ultra-som, para uma inspeção específica segundo um procedimento escrito e aprovado pelo cliente / fabricante.

Os ajustes do ganho, energia, supressor de ruídos, normalmente são efetuados baseado em procedimentos específicos, entretanto a calibração da escala pode ser feita, previamente independente de outros fatores. Calibrar a escala, significa mediante a utilização de blocos especiais denominados Blocos Padrões, onde todas as dimensões e formas são conhecidas e calibradas, permitindo ajustar os controles de velocidade e zeragem, concomitantemente até que os ecos de reflexão permaneçam em posições definidas na tela do aparelho, correspondentes ao caminho do som no bloco padrão.

Tais blocos são construídos de materiais que permitem o exame ultra-sônico em aço carbono não ligado ou de baixa liga, com velocidade sônica de 5920 +/- 30 m/s para ondas longitudinais e 3255 +/- 15 m/s para ondas transversais.



Bloco de calibração IIW Tipo 1



Bloco de calibração IIW Tipo 2

Procedimentos Específicos de Inspeção

Procedimento para Inspeção de Soldas:

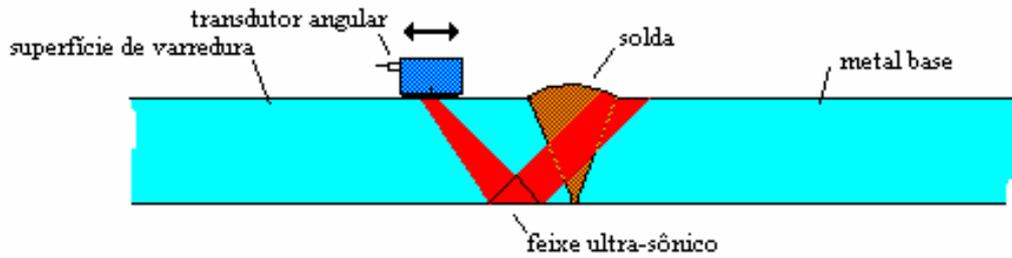
A inspeção de soldas por ultra-som, consiste em um método que se reveste de grande importância na inspeção industrial de materiais sendo uma ferramenta indispensável para o controle da qualidade do produto final acabado, principalmente em juntas soldadas em que a radiografia industrial não consegue boa sensibilidade de imagem, como por exemplo juntas de conexões, ou mesmo juntas de topo com grandes espessuras.

Os procedimentos para inspeção de soldas descritos pelas Normas ou Códigos de fabricação variam em função dos ajustes de sensibilidade do ensaio, dimensionamento das indicações, critérios de aceitação das descontinuidades encontradas, e outras particularidades técnicas. Portanto, descrevemos a seguir a técnica básica para inspeção de soldas por ultra-som, entretanto o inspetor deve consultar o procedimento aprovado de sua empresa para o ensaio específico, ou ainda na falta deste, elaborá-lo segundo a norma aplicável ao produto a ser ensaiado.

Preparação das Superfícies de Varredura:

A inspeção da solda se processará através da superfície do metal base adjacente à solda, numa área que se estenderá paralelamente ao cordão de solda, que denominamos área ou superfície de varredura.

O resultado do ensaio por ultra-som é dependente da preparação das superfícies, assim devemos remover carepas, tintas, óxidos, pó, graxa e tudo que possa mascarar, ou impedir a penetração do feixe sônico na peça a ensaiar. Limitação de temperatura da peça deve ser levado em conta e está associado ao modelo e tipo do transdutor, pois altas temperaturas (acima de 60 °C) podem danificar os transdutores.



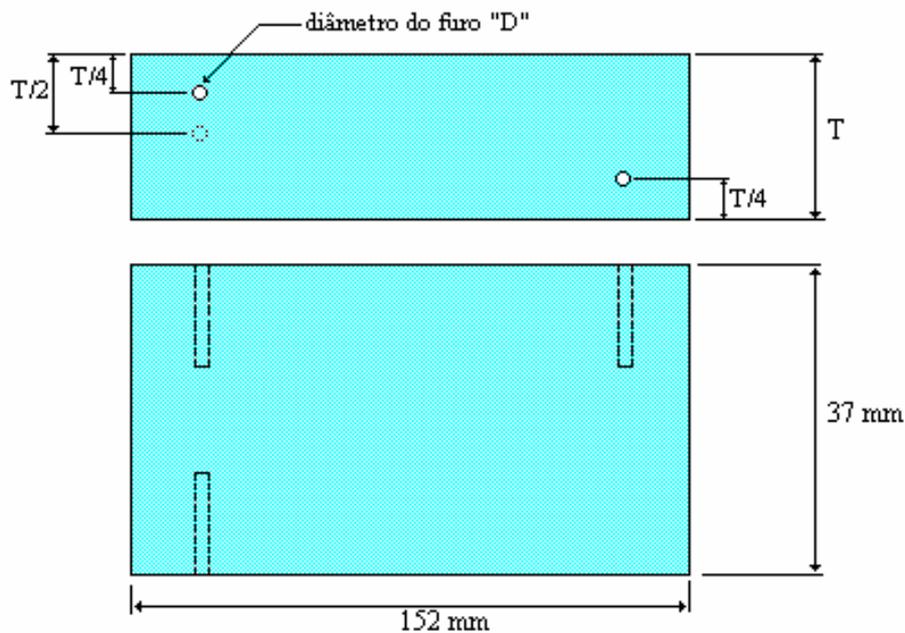
Técnica geral para inspeção de soldas de topo , por ultra-som

Calibração do Aparelho

A escala do aparelho deve ser calibrada através dos blocos padrões calibrados mencionados.

A sensibilidade do aparelho deve ser calibrada através de um bloco com espessuras e furos de referência calibrados e de material acusticamente similar à peça ser ensaiada. Caso a calibração do aparelho seja feita em bloco e peça de materiais dissimilares, isto afetará a precisão das medidas efetuadas.

A figura abaixo descreve o bloco de calibração recomendado pela norma ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec.V Artigo 4* usado para estabelecer a sensibilidade do ensaio pelo ajuste do controle de ganho do aparelho , que deve ser fabricado com mesmo acabamento superficial da área de varredura.



Bloco Básico de Calibração da Sensibilidade do Ensaio de Soldas

Tabela 3.5- Seleção do Bloco ASME

Espessura da solda "t" (mm)	Espessura "T" do bloco (mm) *	Diâmetro "D" do furo de referência (mm)
até 25	19 ou t	2,5
acima de 25 até 50	38 ou t	3,0
de 50 até 100	75 ou t	5,0

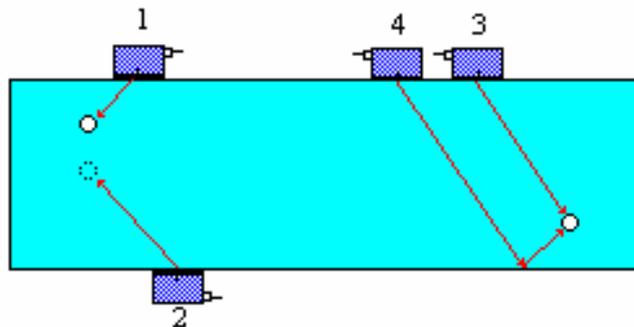
Fonte: Código ASME Sec.V Art. 4

* Bloco de calibração válido para superfícies planas ou com curvaturas maiores que 20 polegadas de diâmetro.

A frequência e ângulo do transdutor selecionado pode ser significativo, dependendo da estrutura metalúrgica do material ensaiado e espessura. Em geral utiliza-se 4 MHz de frequência e ângulos de 60 e 70 graus para espessuras do metal base até 15 mm ; 45 e 60 graus para espessuras de metal base acima de 15 mm

A curva de sensibilidade é estabelecida de acordo com o procedimento descrito , através do posicionamento do transdutor angular (pos.1,2 ,3 e 4) de modo a detectar o furo de referência do bloco nas quatro posições indicadas. O controle de ganho do aparelho deve ser ajustado a partir da pos.1 da figura abaixo, onde o controle é ajustado até que o eco correspondente à reflexão do furo tenha uma altura de 80% da tela do aparelho.

A partir deste procedimento deve ser registrado o ganho do aparelho , que deverá ser mantido até o final da inspeção , porem verificado periodicamente ou quando houver troca de operadores. Caso haja uma diferença de acabamento superficial acentuada entre o bloco e a peça a ser inspecionada , procedimento de transferência de ganho do bloco para a peça deverá ser aplicado, para restabelecer o nível de sensibilidade original.



Estabelecimento da Curva de Sensibilidade do Ensaio

Realização da Inspeção

Para garantir a passagem do feixe sônico para a peça é necessário usar um líquido acoplante que se adapte à situação. Em geral, óleo, água, ou soluções de metil-celulose, podem ser utilizadas para esta finalidade. É recomendado efetuar algumas medidas no mesmo local , pois variações de acabamento superficial, pressão do transdutor sobre a superfície e outros, podem variar os resultados.

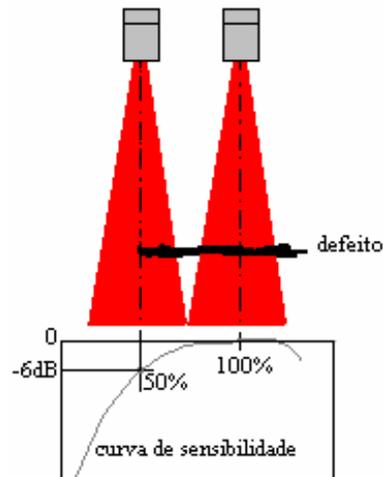
O transdutor deve ser deslizado sobre a superfície de varredura com o feixe ultra-sônico voltado perpendicularmente à solda , de modo que as ondas atravessem totalmente o volume da solda . Caso houver alguma descontinuidade no volume de solda , haverá reflexão nesta interface , retornando ao transdutor parte da energia ultra-sônica , e conseqüentemente a indicação na tela do aparelho em forma de eco ou pulso.

Através da análise da posição do eco na tela do aparelho , o inspetor poderá localizar a descontinuidade no volume de solda , assim como avaliar sua dimensão e comparar com os critérios de aceitação aplicáveis.

Delimitação da descontinuidade:

A delimitação da extensão da descontinuidade pode ser feita utilizando a técnica da queda do eco em 6 dB , ou seja o transdutor deve ser posicionado no centro geométrico da descontinuidade , de forma a maximizar a altura do eco de reflexão. Após , o transdutor é deslocado para a esquerda e para a direita até que se observe a altura do eco na tela do aparelho reduzir pela metade (- 6dB). Sobre a superfície da peça , deve ser marcado estes pontos, e o tamanho da descontinuidade será a linha que uni os dois pontos (para a esquerda e para a direita)

Outros métodos , podem ser utilizados para pequenas indicações (menores que 10 mm) , ou mesmo a técnica da queda do eco em 20dB , que se assemelha à técnica descrita acima.



Delimitação da extensão do defeito pelo método da queda de 6 dB



Delimitação de defeito na solda circular de emenda de um tubo

Avaliação e Critérios de Aceitação:

O julgamento da descontinuidade encontrada deve ser feita de acordo com o procedimento escrito, norma aplicável, especificação do cliente, ou por outro documento da Qualidade aplicável.

Em geral, as descontinuidades são julgadas pelo seu comprimento, e amplitude do eco de reflexão, que são quantidades mensuráveis pelo inspetor de ultra-som. Entretanto, algumas normas, estabelecem que o tipo da descontinuidade encontrada também deve ser avaliada e decisiva na aceitação ou rejeição da junta soldada. Por exemplo: se o inspetor interpretou uma indicação como trinca, falta de fusão ou falta de penetração, a junta soldada deve ser rejeitada, independente do seu comprimento ou amplitude de eco na tela do aparelho, de acordo com o Código ASME Sec.VIII Div.1 UW-53. Mas nem sempre a identificação do tipo da descontinuidade é fácil ou possível de ser avaliada, pois isto dependerá da complexidade da junta, experiência e conhecimento do inspetor.

Critério de Aceitação de Juntas Soldadas, conforme Código ASME Sec. VIII Div.1 Ap.12.

(Tradução livre)

Imperfeições as quais produzirem uma resposta maior que 20% do nível de referência deve ser investigada a extensão para que o operador possa determinar a forma, identificar, e localizar tais indicações e avaliar as mesmas em termos do padrão de aceitação dado em (a) e (b) abaixo.

- (a) Indicações caracterizadas como trincas , falta de fusão ou penetração incompleta são inaceitáveis independente do comprimento ;
- (b) Outras imperfeições são inaceitáveis se indicações excedem o em amplitude o nível de referência e tenha um comprimento que exceda:
1. $\frac{1}{4}$ pol. (6 mm) para t até $\frac{3}{4}$ pol. (19 mm) ;
 2. $\frac{1}{3}t$ para t de $\frac{3}{4}$ (19 mm) até 2.1/4 (57 mm) ;
 3. $\frac{3}{4}$ pol.(19 mm) para t acima de 2.1/4 pol. (57 mm)

onde t é a espessura da solda excluindo qualquer reforço permitido. Para juntas soldadas de topo onde dois membros tendo diferentes espessuras de solda , t é a mais fina dessas duas espessuras. Se uma solda de penetração total inclui uma solda de filete , a espessura da garganta do filete deve ser incluída em t .

Exercícios para Estudo:

1. Uma onda mecânica produzida por um transdutor ultra-sonico com frequência de 12 kHz , se propagando no ar ($v=330\text{m/s}$) , terá um comprimento de onda de:
 - a) 2,27 mm
 - b) 27,5 mm
 - c) 27,5 m
 - d) 36,3 mm
2. Defini-se frequência de uma onda sonora como sendo:
 - a) o número de ondas acústicas que passam por segundo por um ponto de referência.
 - b) a amplitude máxima que uma onda acústica atinge um ponto de referência.
 - c) a potência com que uma onda acústica é emitida.
 - d) o comprimento entre dois pontos de mesma fase.
3. A faixa de frequência considerada infra-som é:
 - a) acima de 20 kHz
 - b) abaixo de 45 Hz
 - c) abaixo de 20000 Hz
 - d) Abaixo de 20 Hz
4. Se um som de grande intensidade for produzido na frequência de 23 kHz , então:
 - a) uma pessoa poderá ficar surda, caso estiver próxima da fonte sonora.
 - b) o som produzido não será ouvido por ninguém, pois a frequência é ultra-sonica.
 - c) o som produzido será muito agudo, comparável a um apito.
 - d) qualquer pessoa ouvirá normalmente este som.
5. Qual dos materiais abaixo possui maior velocidade de propagação do som:
 - a) aço
 - b) água
 - c) alumínio
 - d) chumbo
6. Para permitir o acoplamento acústico do transdutor ultra-sonico , na peça sob ensaio devemos:
 - a) usinar a superfície de ensaio
 - b) pressionar o transdutor sobre a peça ,para completo acoplamento.
 - c) utilizar o líquido acoplante.
 - d) preparar adequadamente a superfície de ensaio.
7. O tipo de onda longitudinal é gerado por transdutores:
 - a) angulares
 - b) normais
 - c) bi-focais
 - d) de banda larga

8. O cristal responsável pela geração e recepção das ondas ultra-sônicas ,possui a propriedade:
- magnética
 - magnetoestricção
 - piezoeletricidade
 - supercondutora
9. A velocidade das ondas acústicas longitudinais no aço é aproximadamente:
- o dobro das transversais.
 - 5900 m/s
 - 1500 m/s
 - as alternativas (a) e (b) são corretas
10. O fenômeno da perda de energia na propagação ondulatória , pelos efeitos de espalhamento, e vibração das partículas que formam o meio de propagação , é denominado:
- atenuação sônica
 - perda por transferência.
 - interferência ondulatória
 - divergência
11. Na inspeção ultra-sônica , a superfície limite , entre o metal base e uma descontinuidade,forma:
- uma interface
 - um eco espúrio
 - um eco de reflexão
 - as alternativas (a) e (c) são possíveis.
12. Na inspeção de fundidos por ultra-som , é recomendado o uso de transdutores:
- com maior diâmetro possível
 - com maior frequência possível
 - com menor diâmetro
 - com menor frequência
13. O transdutor ultra-sônico que possui dois cristais , um que emite as ondas ultra-sonicas e outro que as recebe , denomina-se comumente:
- normal
 - transversal
 - emissor-receptor
 - duplo-cristal
14. Um eco com amplitude de 100% da tela do aparelho de ultra-som , reduz para 50% de altura. A variação do ganho do aparelho em "dB"será de:
- 6
 - 12
 - 14
 - 20
15. Teóricamente ,do ponto de vista das propriedades acústicas, qual dos acoplantes abaixo seria melhor, para inspeção de aços laminados:
- óleo diesel
 - glicerina
 - metil celulose
 - água
- 16.O comprimento de onda de uma vibração mecânica ,pode ser calculado:
- pelo produto da frequência e a velocidade de propagação
 - pela razão entre a frequência e a velocidade de propagação.
 - pela razão entre a velocidade de propagação e a frequência.
 - pelo produto da densidade e a velocidade de propagação.

17. O uso de jateamento ou esmerilhamento para a operação de preparação das superfícies ,para ensaio ultra-sônico :
- não é recomendável
 - pode ser aplicado,dependendo do acabamento superficial do material.
 - pode ser aplicado desde que seja feita uma pré-usinagem
 - não é recomendável apenas quando for utilizado transdutores com alta frequência.
18. Se medirmos a intensidade sonora ao longo do eixo central do transdutor ultra-sônico , verificamos que a mesma diminui conforme nos afastamos do cristal. Isto se deve a:
- atenuação sônica
 - anisotropia do material
 - interferência ondulatória
 - n.d.a
19. Os transdutores ultra-sônicos angulares , geram ondas ultra-sônicas com ângulos:
- iguais ao valor gravado no transdutor.
 - iguais ao valor gravado no transdutor , válidos para o aço.
 - menores que 90 graus , para qualquer material.
 - as alternativas (a) e (c) são corretas.
- 20.Qual o diâmetro do furo de referencia para calibração da sensibilidade do ensaio de uma solda com 38 mm de espessura ?
- 2,5 mm
 - 3,0 mm.
 - 4,0 mm
 - 10% da espessura
21. Quais dos seguintes fatores , poderão produzir falsas indicações ,no ensaio por ultra-som em soldas ?
- alta atenuação sônica.
 - espalhamento
 - alta perda por transferência.
 - mudança do modo de conversão.
22. A dificuldade na obtenção e interpretação de registros no ensaio ultra-sônico , representa uma
- desvantagem na aplicação deste método em relação ao outros métodos de END.
 - inverdade , que não se aplica ao ensaio ultra-sônico.
 - característica sómente aplicável em obras de campo.
 - nenhuma das alternativas anteriores

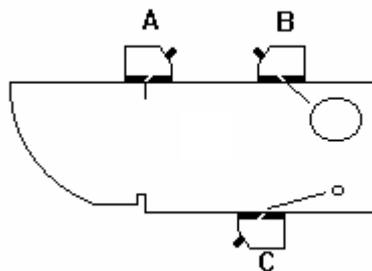


Fig.1 – Bloco Tipo 1

23. Observe a fig.1 , ao acoplarmos o transdutor na posição "A" , obteremos na tela do aparelho de ultra-som :
- ecos múltiplos referente a 200 mm
 - um eco de reflexão correspondente a 100 mm , se a escala estiver ajustada para 100 mm.
 - dois ecos de reflexão , na posição 100 e 200 mm,se a escala estiver ajustada para 200 mm
 - as alternativas (b) e (c) estão corretas.
24. A espessura do bloco Tipo 1 mostrado na fig.1 é de:
- 50 mm
 - 25 mm
 - 15 mm
 - 20 mm

25.O bloco de calibração Tipo 2 é usado para :

- a) verificar a qualidade do transdutor
- b) calibrar a escala do aparelho com transdutores angulares
- c) calibrar a escala do aparelho com transdutores normais
- d) verificar a sensibilidade do ensaio em soldas

26.O critério de aceitação do ensaio por ultra-som de uma peça , deve estar:

- a) baseado no furo padrão de referência ,em que o aparelho foi calibrado.
- b) baseado no bom senso do inspetor ,ao analisar as indicações produzidas na tela do aparelho.
- c) baseado no procedimento de ensaio ,norma ou projeto de construção da peça ensaiada.
- d) as alternativas (b) e (c) são corretas.

27.A inspeção por ultra-som de soldas em materiais inoxidáveis austeníticos ,

- a) deve ser evitada ,pois a grande atenuação sônica neste material é fator de não confiabilidade.
- b) pode ser feita da mesma forma que em aço carbono.
- c) pode ser feita da mesma forma que aço carbono , porém acrescentando um ganho de 6 dB como fator de segurança
- d) deve ser evitada,pois a impedância acústica neste material é muito alta,dificultando o ensaio.

29.Qual é a principal função do cristal piezoelétrico do transdutor ?

- a) converter energia elétrica em mecânica e vice versa
- b) converter energia mecânica em elétrica
- c) converter energia elétrica em mecânica
- d) converter energia cinética em energia elétrica

30.De acordo com o Código ASME Sec. VIII Div. 1 UW-11, em que condição é possível substituir o ensaio radiográfico por ultra-som ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CAPÍTULO 4

ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

4.1 Generalidades

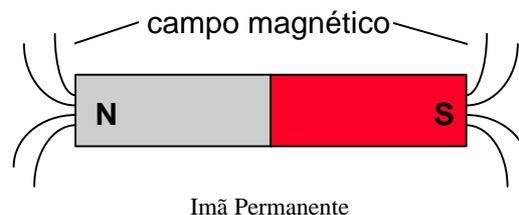
Descrição e Aplicabilidade do Método:

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado na localização de discontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais **ferromagnéticos**. Pode ser aplicado tanto em peças acabadas quanto semi-acabadas e durante as etapas de fabricação.

O processo consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um campo magnético. Na região magnetizada da peça, as discontinuidades existentes, ou seja a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético. Com a aplicação das partículas ferromagnéticas, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de pólos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da descontinuidade.

Magnetismo:

Todos nós conhecemos os ímãs e dizemos que um material ferromagnético nas proximidades de um ímã é por este atraído. O magnetismo é um fenômeno de atração que existe entre esses materiais. Nota-se que por vezes o fenômeno pode ser de repulsão ou de atração. Os ímãs podem ser naturais, conhecidos como “pedras-ímãs” e os artificiais, fabricados a partir de aços com propriedades magnéticas específicas para esse fim.



Polos Magnéticos:

Quando estudamos uma barra imantada, verificamos que as características magnéticas da barra não são iguais ao longo da mesma, porém verificamos que ocorre uma concentração da força magnética de atração ou repulsão nas extremidades. A estes pontos onde se manifestam a atração com maior intensidade damos o nome de polos magnéticos.

Se dispusermos de duas barras imantadas e colocarmos uma próxima da outra, deixando uma fixa e a outra livre, verificaremos que ocorrerá uma força de atração entre as barras de modo a fazer com que se unam. No entanto, se separarmos as barras e girarmos a barra móvel de 180° e novamente aproximarmos, verificaremos que ao invés de ocorrer a atração, ocorrerá a força de repulsão, o que nos leva a concluir que temos duas espécies de pólos. Uma que promove a atração e o outro que promove a repulsão. Isto é, numa mesma barra os pólos não são iguais. É por isso que se diz que pólos iguais se repelem e pólos diferentes se atraem.

Permeabilidade Magnética:

A permeabilidade magnética é definida como sendo a facilidade com que um material pode ser magnetizado, e é representado pela letra “ μ ”. É um número adimensional, isto é, não possui unidade, pois é uma relação entre duas grandezas. A permeabilidade magnética de um material é a relação entre a condutividade magnética do material e a condutividade magnética do ar, ou ainda, a relação entre o magnetismo adquirido pelo material pela presença de um magnetismo externo e a força de magnetização externa.

É importante salientar que a permeabilidade magnética de um material não é constante e depende da força externa de magnetização. Porém, o material tornar-se-á saturado, quando a magnetização externa for intensa.

Classificação Magnética dos Materiais:

De acordo com a permeabilidade magnética podemos classificar os materiais em três grandes grupos:

a) Ferromagnéticos: $\mu > 1$.

São assim definidos os materiais que são fortemente atraídos por um ímã exemplo: ferro, cobalto e quase todos os tipos de aço. São ideais para inspeção por partículas magnéticas.

b) Paramagnéticos: $\mu = 1$.

São os materiais que são levemente atraídos por um ímã. Exemplo: platina, alumínio, cromo, estanho, potássio. Não são recomendados para inspeção por partículas magnéticas.

c) Diamagnéticos: $\mu < 1$.

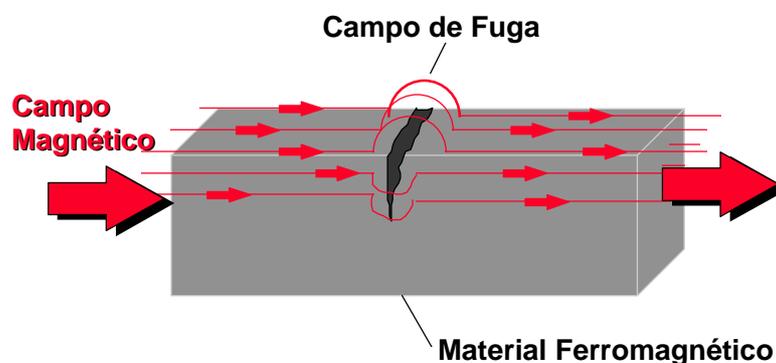
São os materiais que são levemente repelidos por um ímã. Exemplo: prata, chumbo, cobre, mercúrio. O ensaio por partículas magnéticas não é aplicável a estes materiais.

O Campo Magnético:

É definido como sendo a região do espaço na qual magneto ou material ferromagnético experimenta uma força. Assim quando aproximarmos uma barra imantada de uma pilha de alfinetes, nestes agem uma força de atração. O campo magnético é representado por um conjunto de linhas de fluxo, também denominamos de linhas de força, cujo número e forma dependem de fonte geradora.

Campo de Fuga:

A interrupção das linhas de força dá origem a novos pólos, provocando a dispersão das linhas de fluxo magnético que dão origem ao "Campo de Fuga". A figura demonstra como as linhas de força são perturbadas pela presença de uma descontinuidade dando origem ao campo de fuga.



Peça contendo uma trinca superficial, dando origem ao campo de fuga

No ensaio por partículas magnéticas, ao aplicarmos um pó ferromagnético, constituído de partículas finamente divididas, as quais denominadas de pó magnético, no local onde surgir um campo de fuga, devido à formação de um dipolo magnético, provocará o agrupamento das partículas, ou seja, as partículas se acumulam em todo contorno de um campo de fuga. Desta forma, poderíamos dizer que o ensaio por partículas magnéticas é um "detector" de campos de fuga, que são "revelados" pela presença de acúmulos de partículas.

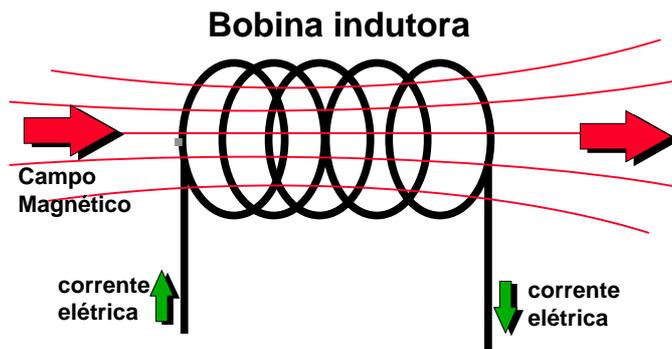
Verificamos na prática que, para ocorrer um campo de fuga adequado na região das descontinuidades, a intensidade de campo, deve atingir valores adequados e as linhas de força devem ser o mais perpendicular possível ao plano da descontinuidade, caso contrário não será possível o acúmulo das partículas de forma nítida

Enfatizamos que é necessário que haja, na região inspecionada, intensidade de campo suficiente e que as linhas de força do campo magnéticos estejam o mais perpendicular possível em relação ao plano formado pelos contornos da descontinuidade para que ocorra a detecção. Caso contrário, isso não será possível.

4.2 Métodos e Técnicas de Magnetização

• Magnetização Longitudinal:

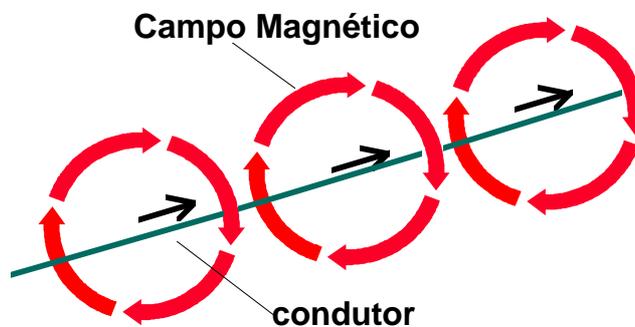
É assim denominado o método de magnetização que produz um campo magnético longitudinal da peça e fechando o circuito através do ar. Portanto, recomendamos para a detecção de descontinuidades transversais na peça. A magnetização longitudinal é obtida por indução de campo por bobinas ou eletroímãs.



Método para magnetização longitudinal, por bobina indutora

• Magnetização Circular:

Neste método, que pode ser tanto por indução quanto por passagem de corrente elétrica através da peça, as linhas de força que formam o campo magnético circulam através da peça em circuito fechado, não fazendo uma “ponte” através do ar. É usada para a detecção de descontinuidades longitudinais.



Método de magnetização circular, por passagem de corrente elétrica.

• Magnetização Multidirecional:

Também conhecida como combinada ou vetorial, é um método em que simultaneamente são aplicados na peça dois campos magnéticos: um pelo método longitudinal e o outro pelo método circular. É portanto a combinação de duas técnicas que produzem um vetor rotativo, que permite observar, de uma só vez, as descontinuidades com diversas orientações.

As vantagens dessa técnica são:

- Na inspeção de componentes seriados onde se reduz substancialmente o tempo de inspeção;
- Economia de partículas magnéticas;
- Cada peça ou componente é manuseado apenas uma vez;
- Menor possibilidade de erros por parte do inspetor, uma vez que, observa-se ao mesmo tempo, tanto as descontinuidades longitudinais quanto as transversais.

As desvantagens, entre outras, são:

- Seu emprego é um tanto quanto restrito a peças de geometria simples;
- A detectabilidade de defeitos é menor do que quando os campos são aplicados sequencialmente;
- Não é fácil fazer o equilíbrio magnético entre os campos longitudinal e circular;
- Não é possível utilizar corrente contínua para dois campos;
- Não é possível efetuar a inspeção pelo método residual.

Podemos concluir que a magnetização simultânea possibilita menor tempo de execução trazendo como benefício maior produção. Contudo, é limitada pelo ajuste da intensidade dos campos magnéticos que é necessário para obtenção de uma resultante capaz de detectar adequadamente as descontinuidades nas duas direções da peça em ensaio, descontinuidades longitudinais e transversais. Na prática este ajuste é conseguido realizando testes com peças ou corpos de prova contendo defeitos conhecidos. No entanto, ressaltamos que a magnetização simultânea apresenta resultados mais confiáveis na detecção de descontinuidades de diferentes direções. A sua desvantagem é que aumenta mais uma etapa no ensaio.

Tabela 4.1 - Resumo dos Métodos e Técnicas de Magnetização

MÉTODO	TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO	
Longitudinal	Indução de Campo	Bobina (solenóide)
		Yoke Imã permanente
Circular	Passagens de Corrente elétrica	Eletrodos (pontas) Contato Direto (placas)
	Indução de Campo	Condutor central <ul style="list-style-type: none"> • Barra • Cabo Enrolado
Multidirecional	Indução e/ou passagem de Corrente elétrica	Combinação das Técnicas de campo Longitudinal com o Circular

4.2 Técnicas de Magnetização:

Mencionamos que podemos obter campos magnéticos por diversas técnicas, contudo, o processo de magnetização só é obtido através de indução de campo magnético ou por indução de corrente elétrica. Dizemos que há indução de campo quando o campo magnético gerado na peça é induzido externamente. Já no processo de magnetização por passagem de corrente, a peça em inspeção faz parte do circuito elétrico do equipamento de magnetização, isto é, a corrente de magnetização, circula pela própria peça. É por esta razão que recomenda-se bastante cuidado na utilização da técnica de magnetização por passagem de corrente, pois poderá ocorrer a abertura de um arco elétrico nos pontos de entrada e saída de corrente, queimando a peça nesta região, o que, em se tratando de peça acabada, pode ser inaceitável, ou mesmo poderá representar risco de explosão ou incêndio se no ambiente houver gases ou vapores inflamáveis.

Tipos de Corrente Elétrica Utilizada:

As correntes elétricas utilizadas na magnetização para inspeção por partículas magnéticas poderão ser das mais variadas fontes existentes, como segue:

- corrente contínua (CC): somente obtida através de baterias, e que na prática não é aplicável em processos industriais ;
- corrente alternada (AC): usada para detecção de descontinuidades superficiais. A corrente alternada, devido ao ciclo alternado da corrente, promove maior mobilidade às partículas, tem pouca penetração, as linhas de força são mais concentradas na superfície e portanto é mais recomendada para a detecção de descontinuidades superficiais;
- corrente alternada retificada (meia onda ou onda completa) (CA): usada para detecção de descontinuidades sub-superficiais, o que na prática representa até 4 mm de profundidade.

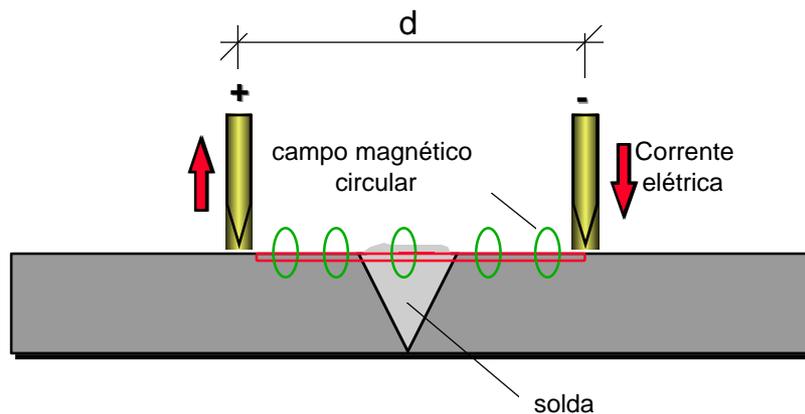
As correntes elétricas alternadas, acima mencionadas, poderão ser ainda obtida na forma monofásica ou trifásica o que representa diferenças no rendimento do sistema de inspeção.

- **Magnetização por Passagem de Corrente Elétrica pela Peça:**

É a técnica de magnetização, em que a corrente circula pela peça, onde temos as técnicas de eletrodos e de contato direto.

Técnica dos Eletrodos

É a técnica de magnetização pela utilização de eletrodos, também conhecidas como pontas que quando apoiadas na superfície da peça, permitem a passagem de corrente elétrica pela peça. O campo magnético criado é circular. Esta técnica é geralmente aplicada em peças brutas fundidas, em soldas, nas indústrias de siderurgia, caldearia e outros.



Técnica de inspeção por Eletrodos

A técnica dos eletrodos induz um campo magnético que é dependente da distância entre os eletrodos e a corrente elétrica que circula por eles. Em geral estes valores são tabelados e disponíveis nas normas técnicas de inspeção aplicáveis ao produto ensaiado.

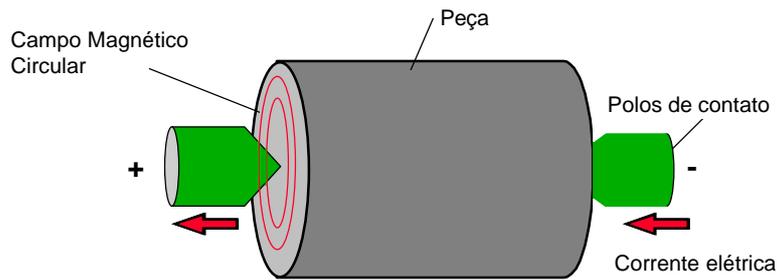


Aparelho típico para magnetização por passagem de corrente elétrica denominada técnica de eletrodos. Estes equipamentos são portáteis, permitindo atingir até 1500 Ampéres utilizando corrente contínua ou alternada. Cuidados devem ser tomados quanto ao meio ambiente de operação destes equipamentos pois estes produzem faíscas elétricas que podem causar explosões na presença de gases ou produtos inflamáveis.

Técnica de Contato Direto:

Também conhecida como magnetização por placas ou cabeçotes de contato. Devido sua aplicação maior ser através de máquinas estacionárias é definida como sendo a técnica de magnetização pela passagem de corrente elétrica de extremidade a extremidade da peça. O campo magnético formado é circular.

Esta técnica se difere da técnica por eletrodos descrita ,pois é aplicável em sistemas de inspeção automáticos ou semi-automáticos, para inspecionar barras, eixos, principalmente nas indústrias automobilísticas ou em fabricas de produtor seriados de pequeno porte.

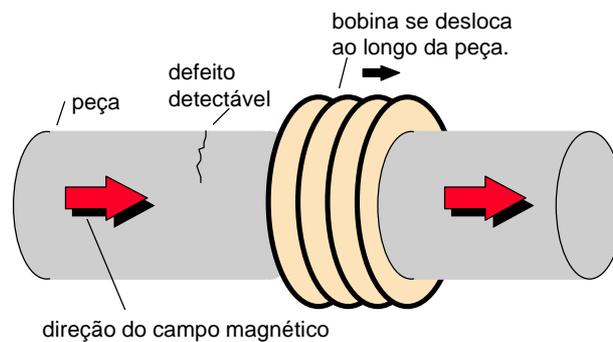


Técnica de inspeção por Contato Direto

- **Técnicas de Magnetização por Indução de Campo Magnético:**

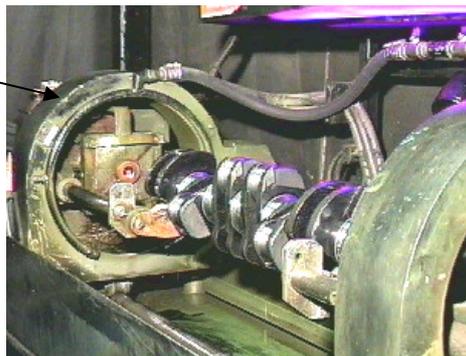
Técnica da Bobina:

Nessa técnica a peça é colocada no interior de uma bobina ou solenóide. Pode ocorrer também que a bobina é gerado, por indução magnética, um campo longitudinal na peça.



Técnica de inspeção por Bobina ou Solenóide

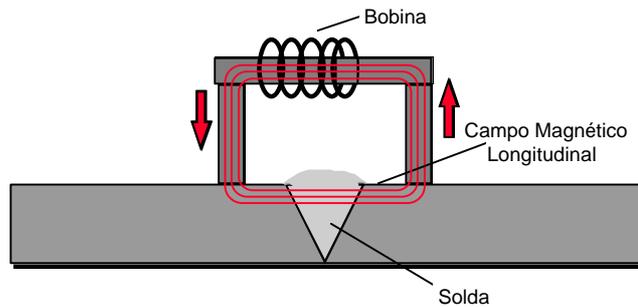
Conjunto da Bobina e sistema de spray de água contendo pó magnético.



Ensaio de um virabrequim pela técnica da bobina

Técnica do Ioque ou Ioke

É a técnica de magnetização pela indução em campo magnético, gerado por um eletroimã, em forma de U invertido, que é apoiado na peça a ser examinado. Pelo eletroimã circula a corrente elétrica alternada ou contínua. É gerada na peça um campo magnético paralelo a linha imaginária que une as duas pernas do Yoke .



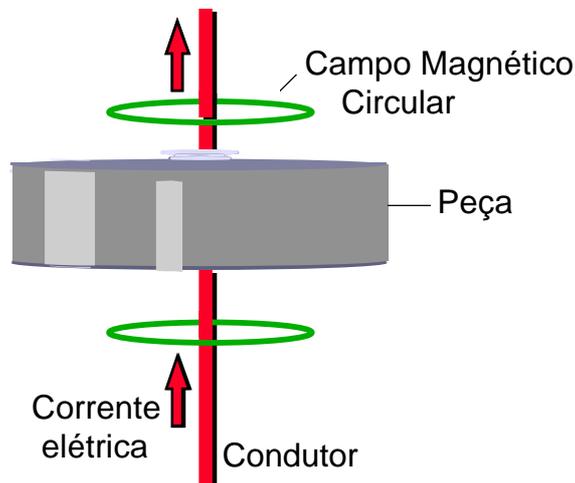
Técnica de inspeção por Yoke eletromagnético.

Os ioques produzem campo magnético longitudinal, podendo ser de pernas fixas ou os de pernas articuláveis, conhecidos como Ioques de pernas articuladas. Os de pernas articuláveis são mais eficientes por permitirem uma série de posições de trabalho com garantia de um bom acoplamento dos pólos magnéticos. A sua vantagem está em não aquecer os pontos de contato, já que a técnica usa corrente elétrica magnetizante que flui pelo enrolamento da bobina do Ioque, e não pela peça.

A recomendação básica de algumas normas para calibração deste equipamento é que o campo magnético formado na região de interesse definida como área útil, esteja entre os valores de 17 a 65 A/cm. Para simplificar e permitir a comprovação periódica da intensidade do campo magnético durante os trabalhos de campo é estabelecido nas normas, que a verificação da força de magnetização do Ioque pode ser comprovada através de sua capacidade mínima de levantamento de massa equivalente a 4,5 kg de aço, no máximo espaçamento entre os pólos a ser utilizado em corrente alternada e de 18,1 kg em corrente elétrica contínua.

- **Técnica do Condutor Central:**

A técnica do condutor central é caracterizada pela passagem de um fio condutor ou conjunto de cabos condutores pelo centro da peça a inspecionar. A passagem da corrente elétrica através do condutor, permitirá induzir um campo magnético circular na superfície interna da peça. Assim sendo, a peça a ser inspecionada por este processo, deve ter geometria circular, tais como: flanges, anéis, porcas, e outras.



Técnica de inspeção por Condutor Central

4.3 Desmagnetização:

Verificamos que alguns materiais, devido as suas propriedades magnéticas, são capazes de reter parte do magnetismo após a interrupção da força magnetizante. Conforme a aplicação subsequente destes materiais, o magnetismo residual ou remanente poderá criar problemas, sendo necessário a desmagnetização da peça.

Podemos resumir as razões para desmagnetização de uma peça como a seguir.

Interferência nos processos de Usinagem:

Uma peça com magnetismo residual poderá interferir nos processos futuros de usinagem, pois o magnetismo da peça induzirá a magnetização das ferramentas de corte afetando o acabamento da peça.

A retenção de limalhas e partículas contribuirá para a perda do fio de corte da ferramenta.

Interferência nos processos de Soldagem:

A interferência em operação de soldagem se faz sentir com a deflexão do arco elétrico, desviando-o da região de soldagem, interferência conhecida como sopro magnético, que prejudicará em muito o rendimento e a qualidade da solda.

Interferência com Instrumentos de Medição:

O mecanismo residual interfere com instrumentos sensíveis de medição ou navegação, colocando em risco a operação dos equipamentos uma vez que, as leituras obtidas não correspondem à realidade. Há registros de acidentes aéreos por interferências de campos magnéticos detrens de pouso nos instrumentos de navegação da aeronave.

A desmagnetização é dispensável quando:

- a) Os materiais possuem baixa retentividade;
- b) As peças forem submetidas a tratamento térmico. As peças de aço que estiverem magnetizadas, ao atingir a temperatura de 750° C, chamado ponte Curie, perdem a magnetização;
- c) As peças forem novamente magnetizadas.

Técnicas de Desmagnetização:

São várias as técnicas de desmagnetização sendo que todas são baseadas no princípio de que, submetendo a peça a um campo magnético que é continuamente invertido e gradualmente reduzindo a zero, após um determinado período e um número de ciclos, a peça será desmagnetizada.

4.4 Métodos de Ensaio e Tipos de Partículas

Métodos de Ensaio:

As partículas magnéticas podem ser fornecidas na forma de pó, em pasta ou dispersas em líquido. Em todos os casos, as partículas se constituem de um pó ferromagnético de dimensões, forma, densidades e cor adequados ao exame.

Denominamos de via ou veículo, o meio no qual a partícula está sendo aplicada:

Via Seca:

Dizemos que as partículas são para via seca, como o próprio nome indica, quando aplicadas a seco. Neste caso é comum dizer que o veículo que sustenta a partícula até a sua acomodação é o ar.

Na aplicação por via seca usamos aplicadores de pó manuais ou bombas aspersoras que pulverizam as partículas na região do ensaio, na forma de jato de pó.

As partículas para via seca devem ser guardadas em lugares secos e ventilados para não se aglomerarem. É muito importante que sejam de granulometria adequada para serem aplicadas uniformemente sobre a região a ser inspecionada.

Comparando com o método por via úmida, as partículas por via seca são mais sensíveis na detecção de descontinuidades próximas a superfície, mas não são mais sensíveis para pequenas descontinuidades superficiais. Também, para uma mesma área ou região examinada, o consumo é maior. Por outro lado, é possível a reutilização das partículas, caso o local de trabalho permitir e que seja isenta de contaminação.

Via Úmida:

É método de ensaio pela qual as partículas encontram-se em dispersão em um líquido, denominado de veículo. Este líquido pode ser a água, querosene ou óleo leve.

No método por via úmida as partículas possuem granulometria muito fina, sendo possível detectar descontinuidades muito pequenas, como trincas de fadiga.

Devemos ressaltar que neste método de ensaio, as partículas que estão em dispersão, mesmo na presença do campo magnético, tem maior mobilidade do que na via seca, e podem percorrer maiores distâncias enquanto se acomodam ou até serem aprisionadas por um campo de fuga. Da mesma forma, nas superfícies inclinadas ou verticais requerem menor esforço para remoção do excesso.

Os aplicadores por via úmida são na forma de chuveiros de baixa pressão no caso de máquinas estacionárias ou manuais, tipo borrifadores, que produzem uma névoa sobre a região em exame. Contudo, nada impede que na aplicação manual, a suspensão seja derramada sobre a peça. A escolha do aplicador tipo borriço tem finalidades econômicas e de execução do ensaio, visto que a quantidade aplicada é menor, e para o inspetor a visualização imediata das indicações, enquanto ocorre a acomodação das partículas e pouco excesso para remoção.

Embora já exista no mercado suspensões em forma de spray, a aplicação mais usual é a que é preparada pelo próprio inspetor. O método por via úmida exige uma constante agitação da suspensão para garantir a homogeneidade das partículas na região de exame. Essa agitação é automática nas máquinas estacionárias. Na aplicação manual, o próprio inspetor deverá fazê-la, agitando o aplicador antes de cada etapa de aplicação.

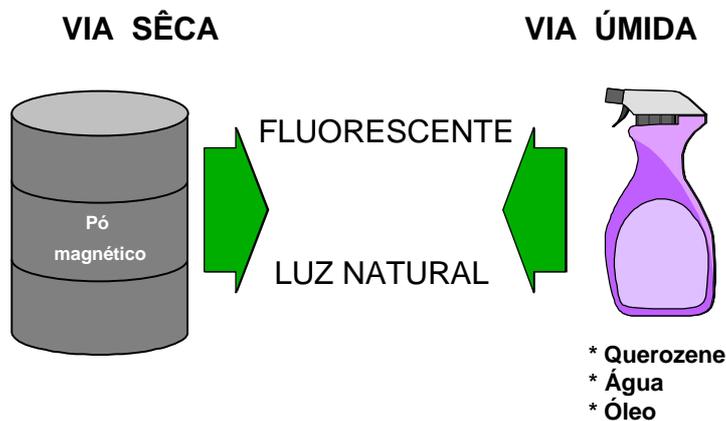
- **Preparação das Partículas Via Úmida:**

As partículas para serem aplicadas pelo método por via seca não requerem preparação e são retiradas diretamente das embalagens para os aplicadores de pó. Já as partículas para via úmida requerem a preparação da suspensão ou banho. Estas partículas podem estar na forma de pó ou pasta.

A preparação da suspensão por via úmida é muito importante para garantia da homogeneização do banho e dispersão das partículas na região em ensaio, após aplicação. Os fabricantes indicam nas próprias embalagens os valores de concentração adequada para a suspensão. Algumas partículas são utilizadas tanto em querosene quanto em água, fazendo com que o banho tenha uma composição homogênea, evitar a formação de espuma e a oxidação da superfície da peça logo após o ensaio.

Deve-se salientar que no preparo da suspensão a partícula, que é um pó muito fino, tem dificuldade de se misturar no líquido caso seja adicionada a este de um única vez. Na prática, o que faz é o inverso: o veículo da suspensão é adicionado aos poucos a um copo contendo o pó e no início em pouquíssima quantidade, com objetivo de permitir que seja bem misturadas todas as partículas. Só depois que o inspetor conseguir “quebrar” bem a aglomeração das partículas, formando um “mingau”, é que se adiciona aos poucos o restante do veículo até completar um litro, sem deixar de mexer ou agitar toda suspensão.

A verificação da concentração é realizada usando-se um tubo decantador padronizado graduado, que tem a forma de pêra. Como ele, são retirados da suspensão pronta 100 ml, e aguarda-se 30 minutos. Após esse tempo, verifica-se na base do tubo, a quantidade também em ml de partículas decantadas, que se estiverem dentro da faixa recomendada pelas normas, indicam que a suspensão está pronta para uso. Os valores recomendados são de 1,2 a 2,4 ml para a inspeção por via úmida de partículas observadas sob luz branca ou natural, e de 0,1 a 0,7 ml para as partículas fluorescentes, que são observadas sob luz ultravioleta (ou luz negra).



Tipos de Partículas ferromagnéticas

Escolha do Tipo das Partículas Magnéticas

A escolha da cor das partículas fica associada ou definida em função da cor de fundo, cor da superfície da peça em exame. E procuramos usar uma partícula cuja cor produza com a superfície o melhor contraste possível, garantido-se dessa forma maior sensibilidade visual.

A cor da partícula é uma pigmentação que tem também a finalidade de promover um balanceamento das condições de densidade da mesma. No caso das partículas para aplicação pelo método de via úmida é importante que a pigmentação ou recobrimento da partícula acumulada nas indicações sem cor que produza contraste suficiente com a superfície em exame.

No mercado podemos encontrar partículas a serem aplicadas por via seca nas cores: branca, cinza, amarela, vermelha e preta, conhecidas como partículas para observação sob luz negra ou ultravioleta. Também sob as mesmas condições de luz, as partículas por via úmida nas cores, preto, vermelho e fluorescente. As fluorescentes podem, de acordo com o fabricante, apresentaram-se nas cores amarelo-esverdeado ou alaranjado.

Com a finalidade de promover melhor visualização das partículas, foram desenvolvidos mais recentemente os líquidos de contraste, que é uma tinta branca em embalagem spray que é aplicada de forma uniforme sobre a superfície de teste, garantindo um fundo uniforme que vai contrastar com a cor da partícula, aumentando-se a sensibilidade da visualização. A tinta de contraste é aplicada de maneira a criar um fundo branco sem no entanto interferir na mobilidade das partículas ou mesmo na intensidade dos campos de fuga. A espessura do filme de tinta após seco é da ordem de 15 μm .

4.5 Procedimento para Ensaio

Sequência Básica para Aplicação do Ensaio:

- **Preparação da Superfície:**

De acordo com a sequência de execução do ensaio, o ensaio por Partículas Magnéticas, começa pela limpeza e/ou preparação da superfície.

O método de preparação da superfície depende do tipo de peça, tamanho e quantidade. São métodos de limpeza:

- Jato de areia ou granalha,
- Escova de aço,
- Solvente e panos umedecidos em solventes ou secos;
- Limpeza química ;
- Vapor desengraxante;
- Esmerilhamento.

O objetivo desses métodos de limpeza é de retirar da superfície em exame toda a sujeira, oxidação, carepas, respingos ou inclusões superficiais que prejudiquem o ensaio com a formação de campos de fuga falsos, ou que, contaminem a suspensão, caso o ensaio seja executado com via úmida, ou ainda que dificultem a mobilidade das partículas sobre a superfície.

O jato de areia ou granalha é comumente utilizados na preparação de peças automotivas ou componentes de máquinas, que, são colocados em cabines para jateamento ou por tamboreamento.

Escovas de aço que tanto podem ser rotativas, ou manuais são mais utilizadas na preparação de peças soldadas.

O solvente é empregado como uma complementação aos métodos de limpeza anteriores, com o objetivo de promover na região a ser inspecionada uma superfície isenta de graxas, óleo ou outro tipo de contaminante que impeça ou prejudique o ensaio, mascarando os resultados.

É necessário garantir uma boa mobilidade das partículas. Caso as partículas sejam aplicadas dispersas em água, a superfície deve estar isenta de óleo ou graxa, caso contrário a peça não ficará “molhada”

- **Seleção do Equipamento para Magnetização e das Partículas Magnéticas:**

Como vimos, a escolha do equipamento para magnetização e do tipo de partículas magnéticas, dependerá da forma da peça a ser ensaiada, do local para execução do ensaio, do acabamento superficial da peça, e da especificação técnica para inspeção. O ensaio por partículas magnéticas deve ser sempre executado com base a um procedimento qualificado e aprovado, com finalidade de estabelecer e fixar as variáveis essenciais do ensaio. Assim, a técnica de magnetização, o método de ensaio, e outros, não necessitam serem determinadas pelo inspetor responsável, no momento do ensaio.

A recomendação básica de todo sistema de garantia da qualidade, é que todos os instrumentos de ensaio precisam estar calibrados. Para os equipamentos que incorporam miliamperímetros, estes devem estar calibrados; por outro lado os Yokes devem ser calibrados com o teste de elevação de carga.



Inspeção por Partículas Magnéticas pela Técnica do Yoke , de uma abertura de reparo preparada para soldagem ,em uma Pá tipo “Francis” fundida em aço carbono,para usina hidroelétrica.

- **Planejamento do Ensaio e Magnetização da Peça:**

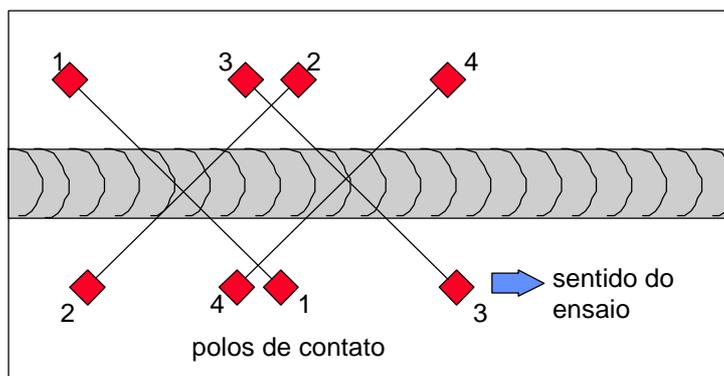
Escolhida a técnica de magnetização a ser empregada ou disponível para o ensaio, é importante que o Inspetor procure visualizar ou esquematizar a peça, como será o campo magnético formado, se longitudinal ou circular. Essa visualização é importante pois como não conhecemos a orientação das descontinuidades vamos começar a fazer o ensaio por um ponto e, para garantirmos que a inspeção foi adequada, capaz de detectar qualquer descontinuidade em qualquer orientação, é preciso que, de acordo com a técnica de magnetização utilizada, uma outra varredura, defasada de mais ou menos 90° do eixo da anterior, seja realizada na mesma região.

A técnica de varredura descrita anteriormente é empregada na inspeção de peças utilizando-se de um Ioque ou através da técnica de eletrodos, onde recomenda-se, para garantir uma varredura perfeita e com sobreposição adequada entre uma e outra varredura, que o inspetor trace com giz de cera na peça os pontos onde serão apoiadas as pernas do Ioque ou eletrodos, obtendo-se assim, uma varredura sequencial e com garantia de inspeção em 100% da região de interesse, a posição dos polos de contato 1-1 e 4-4 ou 2-2 e 3-3.

Já nas máquinas estacionárias, onde as peças a serem inspecionadas, como por exemplo: pinos, bielas, engrenagens, disco, virabrequins, são submetidas, na maioria das vezes, a dois campos magnéticos aplicados simultaneamente, sendo um por corrente alternada - CA e outro, por corrente alternada retificada, ou ambos por correntes alternadas defasadas, é necessário garantir a varredura de toda a peça ou de uma região de interesse.

Nesse caso, é importante verificar se a intensidade do campo é adequada para se fazer a inspeção de toda a peça de uma vez só. Caso isso não seja possível, é necessário inspecionar peça em partes, ou seções. Portanto, de acordo com o equipamento disponível, em função de seus recursos e capacidade, fazemos os ajustes nos campos de modo a obter um balanceamento ótimo. Notar descontinuidade que podemos e devemos trabalhar ora com um campo ora com outro para perfeita detecção e descontinuidade transversais ou longitudinais.

A varredura insuficiente ou inadequada torna o ensaio sem confiabilidade.



Esquema sequencial de ensaio de soldas, pela técnica de Eletrodos e Yoke.

- **Aplicação das Partículas e Observação das Indicações:**

A aplicação das partículas ferromagnéticas deve ser feita de forma que seja coberta toda a área de interesse, quer seja por via seca ou úmida. A remoção do excesso de partículas sobre a superfície deve ser feita de modo a não eliminar as indicações que se formam. Se as partículas forem por via seca, um leve sopro deve ser aplicado. Se as partículas forem via úmida, o próprio veículo promove o arrasto do excesso das partículas.

A observação das indicações se dará pela visualização dos pontos de acúmulo do pó ferromagnético. Esta fase não é tão fácil, pois o inspetor pode confundir um acúmulo de pó devido a uma ranhura ou mordedura, com uma descontinuidade, levando a erros no julgamento dos resultados.

- **Avaliação e Registro dos Resultados:**

Como um ensaio por partículas magnéticas é um tanto quanto subjetivo, torna-se necessário que, mesmo seguidos os critérios e requisitos recomendados para o ensaio com base nas normas aplicáveis, os resultados obtidos no ensaio na mesma peça sob as mesmas condições. Para tal, além de ser seguido um procedimento específico para cada tipo de trabalho que se fez, torna-se necessário implementar uma correlação entre o mapa de registro dos resultados e os relatórios emitidos, bem como a localização física da peça ou equipamento submetido ao ensaio. Como orientação, sugerimos que seja elaborado um relatório detalhando todas as características e parâmetros do ensaio, tais como:

- Peça ensaiada, desenho, posição, etc.. ;
- Área de interesse ;
- Norma de aceitação;
- Aparelho de magnetização;
- Tipo e intensidade da corrente elétrica utilizada ;
- Tipo de pó magnético usado;
- Veículo, se aplicável
- Concentração das partículas, se aplicável;
- Croquis da peça e das indicações observadas;
- Assinatura e identificação do inspetor responsável.

Uma das formas adequadas de registro das descontinuidades no caso de soldas, é a de desenhá-las em fita crepe ou, se dispuser de maiores recursos utilizar-se de fotografias.

Conforme já mencionado, desde que todos os requisitos do ensaio, forem cumpridos, torna-se fácil a avaliação das indicações. O inspetor deverá, naturalmente, estar familiarizado com os requisitos ou critérios de aceitação recomendados pela norma aplicável.

A observação e avaliação das indicações é processada imediatamente após a aplicação da suspensão ou do pó e durante a remoção do excesso, uma vez que o comportamento da mobilidade das partículas, distribuição, contraste, etc., indicará a necessidade ou não de reinspeção da área. Notar que muitas vezes poderão surgir indicações falsas ou não relevantes, sendo recomendado ao inspetor muito cuidado na perfeita avaliação dos resultados obtidos. As condições de iluminação são essenciais para êxito desta etapa.

4.6. Critério de Aceitação das Indicações:

O critério de aceitação que segue abaixo, é uma tradução do Código ASME Sec. VIII Div.1 Apêndice 6, é aplicável para soldas inspecionadas por partículas magnéticas

Avaliação das indicações:

Uma indicação é uma evidência de uma imperfeição mecânica. Somente indicações com dimensões maiores que 1/16 pol. (1,5 mm) deve ser considerada como relevante.

- (a) Uma indicação linear é aquela tendo um comprimento maior que três vezes a largura.
- (b) Uma indicação arredondada é aquela na forma circular ou elíptica com comprimento igual ou menor que três vezes a largura.
- (c) Qualquer indicação questionável ou duvidosa, deve ser reinspecionada para determinar se indicações relevantes estão ou não presentes.

Critério de Aceitação:

Toda as superfícies devem estar livres de :

- (a) indicações relevantes lineares ;
- (b) indicações relevantes arredondadas maiores que 3/16 pol. (5,0 mm) ;
- (c) quatro ou mais indicações relevantes arredondadas em linha separadas por 1/16 pol. (1,5 mm) ou menos (de borda a borda) ;
- (d) uma indicação de uma imperfeição pode ser maior que a imperfeição , entretanto , o tamanho da indicação é a base para a avaliação da aceitação .

Exercícios de Revisão

- 1) A inspeção por partículas magnéticas é aplicável em materiais:
 - a) paramagnéticos
 - b) diamagnéticos
 - c) inoxidáveis austeníticos
 - d) ferromagnéticos
- 2) Os tipos de pós magnéticos utilizados no ensaio por PM são:
 - a) pós aplicados por via seca
 - b) pós aplicados por via úmida
 - c) pós fluorescentes
 - d) todas as alternativas são corretas.
- 3) As indicações observadas no ensaio por PM , são causadas quando as partícula ferromagnéticas se aglomeram , no seguinte caso:
 - a) na existência de um desvio das linhas de campo magnético,na região da descontinuidade superficial ou sub-superficial.
 - b) na existência de uma descontinuidade interna
 - c) na existência de descontinuidades abertas para a superfície.
 - d) todas as alternativas são corretas
- 4) Dos materiais abaixo,quais os que não podem ser inspecionados por PM ?
 - a) aços inoxidáveis austeníticos
 - b) aços carbono
 - c) aços fundidos
 - d) as alternativas (b) e (c) são corretas
- 5) Um aparelho muito utilizado para magnetização que é baseado num eletroimã , denomina-se :
 - a) eletrodos
 - b) Yoke
 - c) bobina
 - d) magnetrômetro
- 6) Os campos de magnetização utilizados para a inspeção por PM são:
 - a) campo longitudinal e transversal
 - b) campo circular e transversal
 - c) campo longitudinal e circular
 - d) campo alternado e residual
- 7) Os aparelhos que operam injetando corrente elétrica na peça,produzem um campo do tipo:
 - a) longitudinal
 - b) circular
 - c) transversal
 - d) residual

- 8) Após a inspeção por partículas magnéticas, há necessidade de _____ a peça principalmente se operações subsequentes de soldagem ou usinagem forem previstas.
- desmagnetizar
 - esmerilhar
 - reinspecionar com líquidos penetrantes
 - lavar com ácido
- 9) A condição superficial de uma peça ser ensaiada por PM, é importante pois:
- a mobilidade das partículas sobre a superfície pode ser dificultada
 - a presença de carepas ou sujeira pode mascarar os resultados.
 - a presença de graxa ou óleo pode impedir a mobilidade das partículas magnéticas.
 - todas as alternativas são corretas.
- 10) Uma vantagem do ensaio por partículas magnéticas sobre os líquidos penetrantes é que:
- O líquido penetrante só detecta descontinuidades abertas para as superfícies e as partículas magnéticas detecta aquelas subsuperficiais.
 - O ensaio por PM não necessita de preparação de superfície.
 - O ensaio por PM pode detectar descontinuidades internas em geral.
 - O ensaio por PM não requer limpeza pós ensaio.
- 11) As etapas no processo de inspeção contínua por PM via seca são:
- aplicação do pó magnético; magnetização; remoção do excesso de pó; observação das indicações.
 - preparação da superfície; aplicação do pó magnético; magnetização; remoção do excesso de pó; observação das indicações.
 - preparação da superfície; magnetização; observação das indicações
 - preparação da superfície; magnetização; aplicação do pó magnético; remoção do excesso de pó magnético; observação das indicações.
- 12) Os sistemas existentes para magnetização da peça para o ensaio por PM são:
- bobina; eletrodos
 - eletrodos; bobina e Yoke
 - eletrodos; bobina; condutor central e Yoke
 - eletrodos; bobina; condutor central; placas paralelas; Yoke; ponteiras.
- 13) Qual das alternativas é verdadeira?
- o ensaio por partículas magnéticas pode ser aplicada em altas temperaturas até 300 C.
 - o ensaio por partículas magnéticas é de aplicação mais rápida que por líquidos penetrantes.
 - o ensaio por partículas magnéticas é de fácil automatização.
 - todas as alternativas são verdadeiras.
- 14) Qual dos métodos abaixo corresponde ao de maior sensibilidade para a detecção de descontinuidades por partículas magnéticas?
- via seca, com pó magnético visível com luz natural.
 - via úmida, com pó magnético visível com luz negra.
 - via úmida, com pó magnético visível com luz natural.
 - via seca, com pó magnético visível com luz negra.
- 15) Os veículos que podem ser usados para a aplicação dos pós magnéticos são
- água
 - querosene
 - óleo
 - todas as alternativas são corretas
- 16) Os tipos de pós magnéticos encontrados no mercado são:
- fluorescentes
 - via seca
 - via úmida
 - todas as alternativas são corretas

- 17)O aparelho de magnetização Yoke , deve ser aferido através da elevação de carga com peso de:
- 4,5 kg com C.A
 - 18 kg com C.C
 - 4,5 kg com C.C
 - as alternativas (a) e (b) são corretas.
- 18)Um dos problemas em se magnetizar uma peça através do uso dos eletrodos é que:
- existe uma dificuldade em se aplicar o pó magnético
 - os pontos de contato podem danificar a superfície da peça
 - é difícil a preparação da superfície nesta técnica
 - o campo magnético produzido é insuficiente
- 19)A magnetização longitudinal pode ser obtida através:
- injetando corrente elétrica na peça.
 - do uso dos Yokes
 - do uso de espreiras envolventes na peça
 - as alternativas (b) e (c) são corretas
- 20)Num reparo com solda numa chapa de aço carbono, onde o material depositado não é magnético a inspeção por partículas magnéticas neste local irá:
- causar uma magnetização com alta retentividade na região de solda.
 - causar falsas indicações na região de transição entre metal base e metal depositado.
 - provavelmente detectar fissuras na região de transição.
 - todas as alternativas podem ocorrer
- 21)Na prática,um dos problemas da aplicação da inspeção por partículas magnéticas em comparação com líquidos penetrantes é que:
- a partícula magnética é um método menos sensível que o penetrante.
 - a visualização das indicações produzidas por partículas magnéticas é mais difícil de serem visualizadas que por líquidos penetrantes.
 - o método por partículas magnéticas necessita de maior cuidado na preparação das superfícies.
 - o método por partículas magnéticas é mais perigoso que o penetrante.

OBRAS CONSULTADAS

- American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code , Section V ,
- Leite, Paulo G.P , “Curso de Ensaio Não Destrutivos” , 8a. edição , Associação Brasileira de Metais-ABM, 1966 ;
- Krautkramer , “Ultrasonic Testing of Materials” second edition ;
- Andreucci,Ricardo “Ensaio Não Destrutivo - Ultra-Som” , Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos- ABENDE , Set./2006
- Eastman Kodak Company , “Radiography in Modern Industry” , 4ª Edition , 1980
- Agfa Gevaert , “Radiografia Industrial” , NV 1989
- American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code , Section VIII Div.1