



CURSO DE ENSAIOS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NÍVEL I

Capítulo 1

1.1 PRINCÍPIO DO ENSAIO

INTRODUÇÃO

O ensaio de Partículas Magnéticas é largamente utilizado em todo o mundo, por ser um método de ensaio não destrutivo simples, barato e altamente produtivo.

Ele é baseado no princípio de magnetizar uma peça ferromagnética, aplicando micro partículas magnéticas com auxílio de uma iluminação correspondente ao tipo de técnica utilizada. Ou seja, existe partículas fluorescentes que são visíveis com uma luminária especial de luz ultra-violeta em um ambiente escurecido, e partículas coloridas que serão visualizadas por contraste, utilizando luz branca ou visível em ambiente claro. As indicações detectadas deverão ser avaliadas por um profissional treinado e qualificado, o qual deverá utilizar padrões de aceitação/rejeição internacionais, nacionais ou da Empresa.

O ensaio por Partículas Magnéticas é utilizado para detectar discontinuidades durante:



Processos de produção; como trincas de usinagem, trincas de retífica, trincas de fundição, vazios, rechupes, segregações, falta de fusão , trincas de forjamento , dobras, trincas de tratamento térmico, descontinuidades laminares.

Em serviço ; como trincas de fadiga e trinca de sobrecarga.

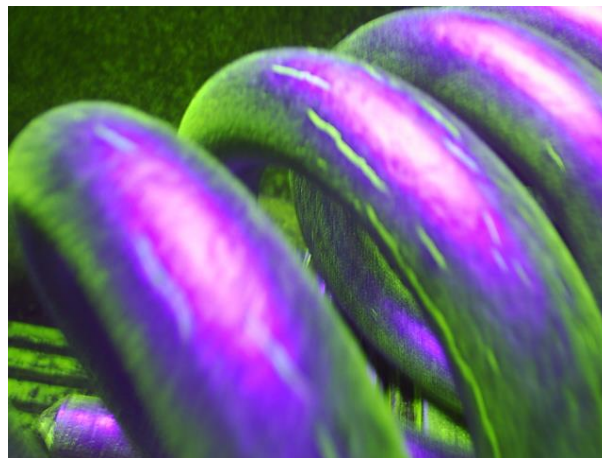


Figura 1 – Ensaio com Partículas Magnéticas Fluorescentes em molas helicoidais (Trincas Longitudinais)

1.2 HISTÓRICO

O ensaio de Partículas Magnéticas iniciou-se com Alfred Vitor de Forest em 1928.

Ele verificou que um ímã natural quando é fraturado e dividido, origina-se em 2 ímãs com características magnéticas similares



ao original antes da fratura. Quando estes imãs são aproximados com suas polaridades diferentes eles se atraem .(Norte Sul)

Em 1942, durante a 2ª guerra mundial, foi inventado as Partículas Magnéticas Fluorescentes. A partir deste invento o ensaio passou a ser utilizado em todo mundo.

Nos anos 50 durante com a revolução industrial e a industria automobilística em expansão, fez com que equipamentos de inspeção mais velozes fossem inventado.

Nos anos 60 foi inventado os primeiros equipamentos com campo magnéticos multi-direcional. Magnetização de dois campos magnéticos sendo aplicados conjuntamente, simultaneamente ou seqüencialmente.

Nos anos 90 as primeiras máquinas controladas por PLC e IHM. Elas são programáveis, armazenando programas dos ajustes das peças, podendo ser carregado no futuro. Existe equipamentos com teclado, touch screen etc...





Figura 2 - Painel de máquina com PLC e IHM . Tipo Touch Screen

1.3-APLICAÇÕES

O ensaio aplica-se a detecção de descontinuidades não vistas a olho nú superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagneticos (Ferro, Níquel, Cobalto e suas ligas).

O ensaio é aplicado no intuito de diminuir o grau de incerteza dentro da indústria. Assim sendo, sua aplicação é ampla, e utilizado principalmente para confirmar e controlar de forma total a qualidade do produto .

1.4- Vantagens (com relação a outros métodos de END)

-Ótima sensibilidade na detecção de descontinuidades superficiais.

-Métodos simples

-As indicações aparecem diretamente na superfície ensaiada

-As indicações são imediatas.

Elas aparecem logo após a atuação do campo e aplicação das Partículas Magnéticas.

-Custo operacional baixo

Depois do ensaio visual o ensaio de Partículas Magnéticas é o ensaio mais barato dos ensaios não destrutivos.



-Não há limitações quanto ao tamanho ou geometria da peça
Pode-se ensaiar peças de qualquer geometria, basta escolher o equipamento adequado para cada caso. Poderá ser utilizado em peças fundidas, forjadas, e produtos acabados.

-Peças com camadas não muito grossa, até 30 μm de tinta ou outra camada podem ser ensaiadas.

1.5 Limitações

-O ensaio não poderá ser executado em materiais não magnéticos como, alumínio, latão, plásticos, vidro, cobre, magnésio, cerâmicos, aços inoxidáveis austeníticos etc...

-O bom desempenho do método depende do fator humano, ou seja, o método é subjetivo.

Assim sendo, o operador deverá passar por um oftalmologista no mínimo 1 vez por ano para capacitação visual.

O operador deve ser treinado e qualificado para esta função de acordo com especificações normativas.

-Já que para ser detectada, a descontinuidade precisa estar preferentemente perpendicular com relação a direção do campo magnético, na maioria das vezes se torna necessário aplicar mais de um campo magnético na peça.

-Na maioria dos casos é necessário desmagnetizar a peça após o ensaio.



-Algumas técnicas de aplicação do método, podem provocar arcos elétricos e pontos de queima localizados na superfície da peça.

Estas faíscas devem ser evitadas ou reduzidas para eliminar o aparecimento de trincas durante o ensaio provocadas por estas aberturas de arco ou trincas de fadiga, as quais aparecem na peça durante solicitações cíclicas.

Capítulo 2

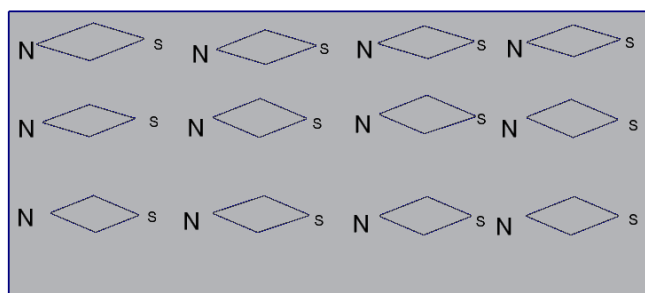
2.1 LEI DO MAGNETISMO

Quando um campo magnético externo é aplicado em um material ferromagnético, o domínio magnético alinha-se paralelamente a direção do campo magnético aplicado. Este domínio é muito pequeno, porém maior do que os átomos do material. A interação entre átomos e o alinhamento do domínio magnético, são a causa do aumento da densidade do campo magnético. Ou seja com o aumento da Força magnetizante H , o alinhamento do domínio magnético aumenta em passos volumétricos. Estes aumentos do alinhamento do domínio magnético é chamado de efeito Barkhausen.

Quando todo domínio magnético dentro do material estão alinhados é dito que o material está saturado magneticamente.



Domínio magnético alinhado

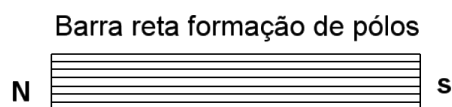


2.2 CARACTERÍSTICAS DO CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético ao redor de uma barra magnetizada tem polaridade. Por exemplo, a própria terra pode ser considerada uma barra magnetizada, porquê ela tem dois pólos. O campo magnético da terra magnetiza grande parte de objetos ferromagnéticos que estão alinhados com a direção das linhas de campo durante um determinado período de tempo.

2.3 PÓLOS MAGNÉTICOS

Pólos são as regiões de um magneto as quais as linhas de campo magnético entram ou saem. Nestas regiões a intensidade de campo magnético é maior. Nos pólos observamos uma força de atração de objetos ferromagnéticos



A figura abaixo representa os pólos norte e sul

2.4 MAGNETOS E CAMPOS MAGNÉTICOS

A teoria do campo magnético indica que uma objeto está magnetizado quando um setor da peça ou sua totalidade está com sua estrutura atômica alinhada na direção norte –sul.

O planeta terra em rotação, girando sobre o seu núcleo de ferro fundido produz campo magnético relativamente estável com direção determinada.

Desta forma podemos com auxílio de uma bússula nos direcionar no sentido e direção das linhas de campo magnético terrestre.

A terra pode ser considerada um magneto com dois pólos.

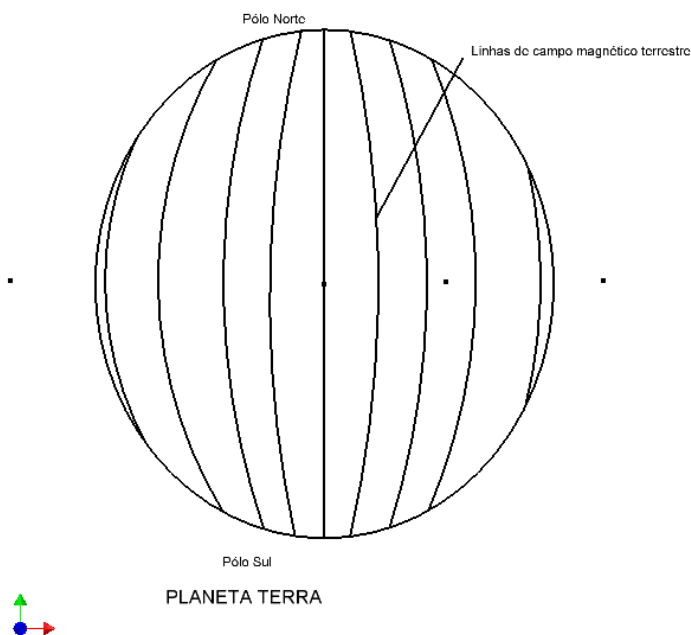


Figura das linhas de campo magnético terrestre

Em regiões onde o campo magnético terrestre é intenso poderá magnetizar grande parte de peças ferromagnéticas.

Existem locais no planeta com anomalias magnéticas, com altos níveis de atração magnética próxima da superfície terrestre. Isto acontece devido a depósitos de ferro e níquel.

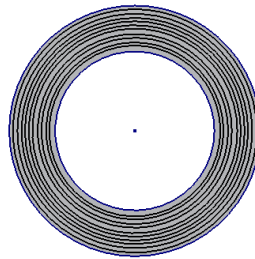
O campo magnético ou fluxo magnético é simbolizado com a letra grega (Φ).

Φ = número de linhas de campo magnético.



O campo magnético é encontrado dentro e fora de um magneto e dentro e fora de um condutor de corrente elétrica.

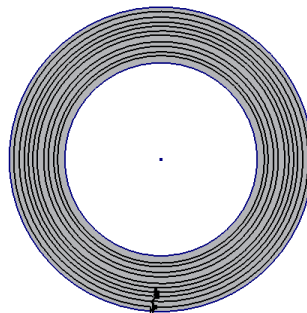
Linhas de campo magnético em circuito fechado



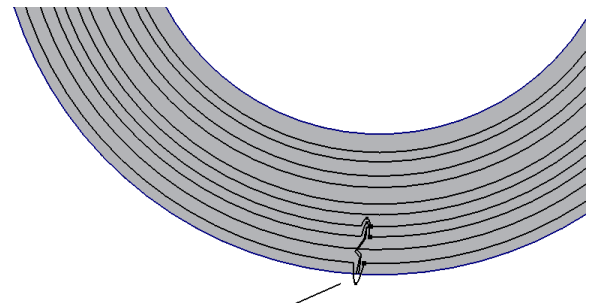
Inexistência de pólos



Formação de pólos por causa da trinca



Trinca



Trinca



Uma barra magnetizada é utilizada para visualização do conceito das linhas de força descrevendo um campo magnético .A



ilustração da foto foi feita utilizando um magneto (ímã) e partículas magnéticas secas em folha de papel.

As linhas de campo magnético nunca se cruzam . Elas percorrem preferencialmente o material de menor resistência, sendo mais densamente mais forte nos pólos. Nos pólos percebemos uma densidade de campo maior, sendo portanto nesta região, o local de maior força de atração de partes magnéticas.

As linhas de campo magnético caíam do pólo Sul para o pólo Norte dentro do magneto e do Norte para o pólo Sul por fora do mesmo.

Se uma barra magnética é entortada, fundindo pólo Norte e Sul, as linhas de campo magnético não saem da peça. Os pólos desaparecem.

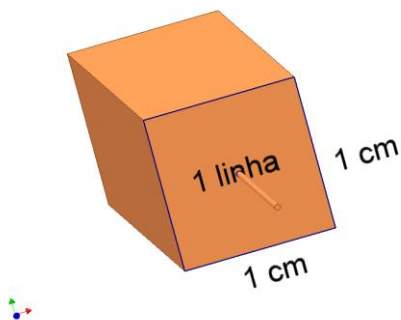
O domínio magnético formado de uma peça com um circuito magnético fechado parece estar desmagnetizada .O anel por exemplo poderá ter magnetização em outra direção que não seja a circunferencial.

2.5 Densidade de fluxo magnético (B)

Densidade de campo magnético é o número de linhas de campo magnético (Φ) dividido pela área transversal do objeto ferromagnético.

Unidade no sistema cgs: Gauss

$$1 \text{ Gauss} = \frac{1 \text{ linha de fluxo magnético}}{\text{cm}^2}$$

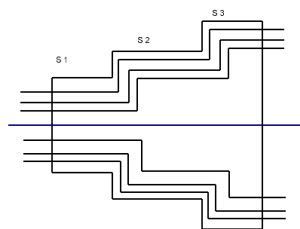


Onde : $\Phi = n.$ de linhas de fluxo magnético

$S =$ área por onde circulam as linhas de fluxo magnético

Pode-se dizer também que a densidade de fluxo magnético (B) é o grau de magnetização de uma peça.

Exemplo: Suponha que uma certa bobina gera 500 linhas de fluxo magnético numa peça. Calcule a densidade de fluxo magnético nas 3 seções da mesma



$$S_1 = 1 \text{ cm}^2$$



$$S_2 = 5 \text{ cm}^2$$

$$S_3 = 10 \text{ cm}^2$$

Portanto:

$$B_1 = \frac{500 \text{ linhas}}{1 \text{ cm}^2} = 500 \text{ Gauss}$$

$$B_2 = \frac{500 \text{ linhas}}{5 \text{ cm}^2} = 100 \text{ Gauss}$$

$$B_3 = \frac{500 \text{ linhas}}{10 \text{ cm}^2} = 50 \text{ Gauss}$$

.Unidades de medição da densidade de campo magnético

Sistemas cgs : Gauss

Sistema MKS (ou S.I): Tesla e Weber /m²

Equivalências

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Weber} = 10.000 \text{ Gauss}$$

m²

2.6 Força magnetizante (H)

È a força que gera as linhas de fluxo magnético. A força magnetizante gera linhas de campo magnético circulares com a passagem de corrente elétrica pela peça ou condutor central, e



gera também linhas de campo magnético longitudinais através da passagem de corrente elétrica nas espiras de uma bobina.

Unidades

Sistema cgs : Oersted

Sistema MKS (ou SI): A/m, apesar de ser mais usado A/cm

Equivalências

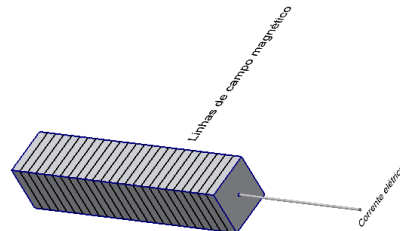
$$\frac{1 \text{ A}}{\text{cm}} = 1,25 \text{ Oersted}$$

A força magnetizante gerado por um condutor retilíneo (técnica de magnetização do contato direto)

Regra da mão direita:

O polegar: Indica o sentido e direção da corrente (I)

Os outros dedos Indicam o sentido e a direção das linhas de fluxo magnético



Conceito de H

$$H = \frac{I}{P} \text{ (A/cm)}$$

Onde: I= corrente de magnetização

P= perímetro da seção transversal por onde circula a corrente

Exemplo: se aplica uma corrente de 1000 Amperes por uma peça de seção quadrada de 50 mm de lado. calcular qual será a intensidade de campo magnético (H) na superfície da peça.

O perímetro (p) de um quadrado é igual a 4 vezes o valor de um dos lados.

$$P = 4 \times a = 4 \times 50 \text{ mm} = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$$

$$H = \frac{I}{P} = \frac{1000 \text{ A}}{20 \text{ cm}} = 50 \text{ A/cm}$$



Isto significa que por cada cm de perímetro da seção da peça circula 50 Amperes de corrente.

2.7 Permeabilidade magnética do material (μ)

É a facilidade com que um certo material é magnetizado. Quanto maior for o valor da permeabilidade magnética do material mais facilmente ele será magnetizado.



Yoke magnetizou com alumínio à esquerda e aço silicioso a direita. Verifica-se as linhas tendendo a desviarem para o material de maior permeabilidade.

Cada material apresenta o seu próprio valor de permeabilidade magnética

$$\mu_{\text{material}} = \mu_{\text{relativa}} \times \mu_{\text{v\u00e1cuo}}$$

Onde μ_r = permeabilidade magnética, relativa (com relação ao vácuo)

μ_0 = permeabilidade magnética do vácuo (valor constante) = 0,000001256 H/m



Se um certo aço apresenta um valor de permeabilidade magnética relativa (μ_r) de 100 , significa que a sua permeabilidade magnética e de 100 vezes maior do que o vácuo.

Os materiais se subdividem em três grupos dependendo do seu valor de μ_r .

Materiais ferromagnéticos são aqueles que são fortemente atraídos por um imã (ferro , níquel , cobalto e suas perspectivas ligas)

O valor de μ_r nos materiais ferromagnéticos e bem superior a permeabilidade do vácuo.

Isto e :

$$\mu \gggggggggggggggggggggg \mu_0 \quad \text{ou} \quad \mu_r \gggggggggggggggggggggg 1$$

Materiais paramagnéticos são aqueles que são fracamente atraídos por um imã (cromo , aços inoxidáveis austeníticos alumínio ,magnésio, etc)

O valor de μ_r nos materiais paramagnéticos é ligeiramente superior a permeabilidade do vácuo.

Isto é :

$$\mu_r > \mu_0 \qquad \mu_r > 1$$



Materiais diamagnéticos são aqueles que são fracamente repelidos por um ímã (cobre, chumbo , prata, ouro, água , mercúrio , etc)

O valor de μ_r nos materiais diamagnéticos e ligeiramente inferior a permeabilidade do vácuo

Isto e :

$$\mu_r < \mu_0 \quad \mu_r < 1$$

Na prática os materiais paramagnéticos e diamagnéticos são chamados de materiais

Não ferromagnéticos. Estes materiais são testados por outro ensaio, como por exemplo o líquido penetrante.

Materiais ferromagnéticos = $\mu_r \gg \gg \gg \gg \gg \gg 1$

Materiais não ferromagnéticos $\mu_r \mu_r$ aproximadamente 1

Um aço 1020 apresenta uma permeabilidade magnética maior do que um aço 1080. Por isto um aço 1020 é magnetizado com menos esforço do que um aço 1080.

2.8 Relação entre u , B e H

$$B = \mu \times H$$



Nos ensaios por P.M o importante e que a peça que está sendo ensaiada atinja uma densidade de fluxo (B) adequada.

A Densidade adequada se consegue aplicando uma intensidade de campo magnético (H) suficiente e de acordo com a permeabilidade magnética do material μ_r .

Analisando a fórmula $B = \mu \times H$, podemos concluir que:

Quanto maior e a intensidade do campo magnético (H), aplicado na peça , maior será a densidade de fluxo magnético (B)

Exemplo: Num certo aço que possui uma permeabilidade magnética (μ) de 0,5 Gauss/Oersted se aplica um campo magnético com intensidade de 100 Oersted . Calcule qual e a densidade de fluxo magnético na peça

$$B = \mu \times H = 0,5 \text{ Gauss} \times 100 \text{ Oersted}$$

$$B = 50 \text{ Gauss}$$

CAPÍTULO 3



3.1 FUNDAMENTOS DO ENSAIO

O ensaio de Partículas Magnéticas baseia-se em magnetizar a peça de teste .

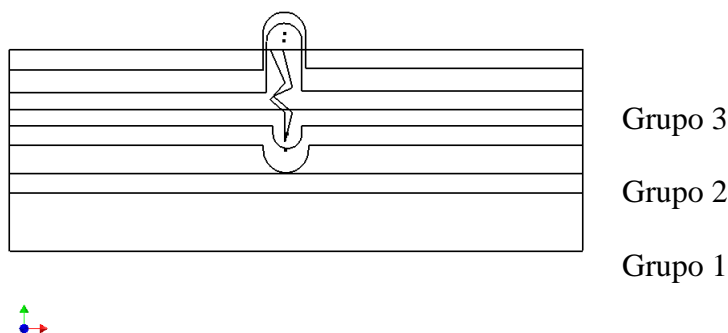
A magnetização consiste em produzir fluxo magnético no objeto de teste.

O campo magnético é invisível. No entanto sabemos que ele tem o formato de linhas.

As linhas de campo magnético não se cruzam e nem se tocam.

Elas preferem sempre o meio que oferece menor resistência a sua passagem.

Uma peça contendo uma descontinuidade, que esteja perpendicular à direção das linhas de fluxo magnético, irá atrair as partículas magnéticas, formando uma indicação a qual será detectada pelo inspetor.



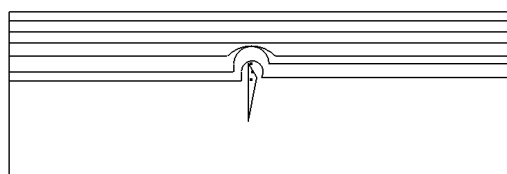
Ao pular sobre a superfície as linhas de fluxo magnético (só as do grupo 3) formam um campo magnético de fuga (chamado também de campo magnético de vazamento), que atrai as partículas magnéticas formando uma indicação.

Situação similar ocorre com uma ima permanente com formato circular.

3.2 Capacidade de detecção do Ensaio de Partículas Magnéticas

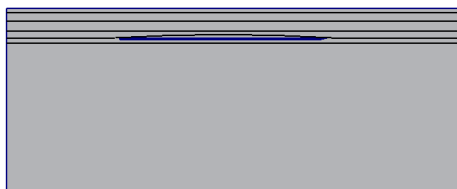
O ensaio é utilizado principalmente para detecção de descontinuidades não vistas a olho nu. O acúmulo de partículas magnéticas sobre as descontinuidades representa o comprimento, largura aproximadas. O ensaio detecta também descontinuidades abaixo a superfície, a qual chamaremos sub-superficiais.

Existe um limite para detecção de descontinuidades sub-superficiais. A detecção destas descontinuidades poderá ser realizada mediante a intensidade de corrente, tipo de corrente elétrica e técnica de ensaio adequada.



descontinuidades interna, **não será detectada.**
Somente por **ULTRA-SOM OU RADIOGRAFIA**

Descontinuidades abaixo a superfície paralela a direção das linhas de campo magnéticas não serão detectadas.



descontinuidade sub-superficial paralela à direção do campo magnético. **Não será detectada.**

ULTRA-SOM OU RADIOGRAFIA

3.3 EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO SOBRE AS DESCONTINUIDADES

DESCONTINUIDADES SUPERFICIAIS

Capacidade de detecção do Ensaio de Partículas Magnéticas

O ensaio é utilizado principalmente para detecção de descontinuidades não vistas a olho nu. O acúmulo de partículas magnéticas sobre as descontinuidades representa o comprimento, largura aproximadas. O ensaio detecta também descontinuidades abaixo da superfície, a qual chamaremos sub-superficiais.

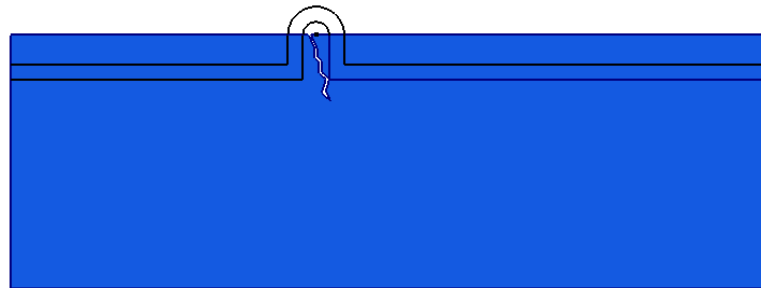
Existe um limite para detecção de descontinuidades sub-superficiais. A detecção destas descontinuidades poderá ser realizada mediante a intensidade de corrente, tipo de corrente elétrica e técnica de ensaio adequada.



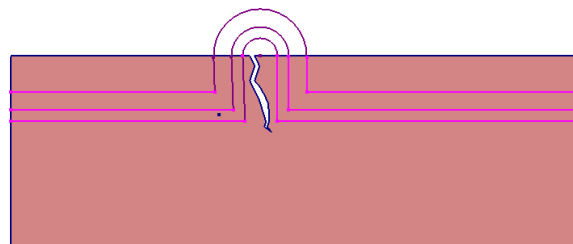
3.4 DESCONTINUIDADES SUPERFICIAIS

a-) trinca superficial com pouca profundidade

b-) trinca superficial mais profunda



c-) Trinca superficial muito profunda



O campo magnético ao redor de uma descontinuidade sub-superficial cai a medida que a descontinuidade fica mais profunda.

Algumas descontinuidades são detectadas com mais facilidade do outras, do mesmo tamanho.

Trincas superficiais são sempre finas e bem definidas. Trincas muito abertas no entanto podem não ser detectadas por Partículas Magnéticas. Isto porque as Partículas Magnéticas podem contornar a peça, não fazendo a fuga, impedindo a formação de pólos, não formando acúmulo de pó magnético na descontinuidade.

A melhor maneira de detectar descontinuidades superficiais é utilizar corrente alternada. Isto porquê este tipo de corrente propicia uma concentração de linhas de força na superfície da peça de ensaio.

A detecção de descontinuidades superficiais é geralmente realizada com partículas magnéticas via úmida fluorescente, sendo este método o mais sensível.

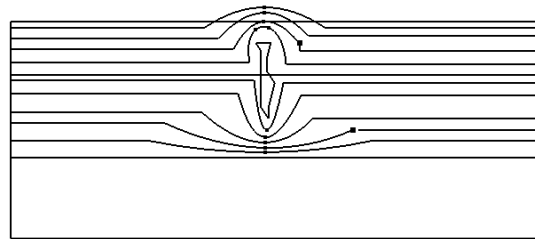
3.5 DESCONTINUIDADES SUB-SUPERFICIAIS

A descontinuidade sub-superficial típica é mostrada na figura abaixo. O plano de orientação da descontinuidade influencia a sua detecção. Adicionalmente variações de espessura da peça de teste furos cegos poderão causar indicações irrelevantes.

A utilização de corrente alternada após desmagnetização e reteste, poderá ser realizada para confirmação da descontinuidade sub-superficial.



Descontinuidade Sub-superficial



Descontinuidade subsuperficial perpendicular a direção das linhas de campo magnético

CAPÍTULO 4

4.1 TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO

4.1.1 CAMPOS MAGNÉTICOS CIRCULARES

O campo magnético circular é obtido através da passagem da corrente elétrica pelo condutor retilíneo ou peça de ensaio. A passagem de corrente elétrica origina linhas de campo magnético circulares ao redor do condutor ou da peça de ensaio.

Existem 3 técnicas de magnetização as quais obtem-se campo magnético circular, as quais são:

4.1.1.1 -TÉCNICA DO CONTATO DIRETO

Será aplicado corrente elétrica através da peça estabelecendo uma força magnetizante capaz de gerar uma densidade de campo eletromagnético na peça de ensaio.



A corrente elétrica passa através da peça de ensaio, fazendo com que linhas de campo magnético circulares apareçam na peça na direção transversal, detectando descontinuidades longitudinais. Pela regra da mão direita podemos deduzir o sentido das linhas de fluxo magnético. A regra da mão direita, o polegar é a direção e sentido da corrente elétrica e os quatro dedos a direção e sentido das linhas de campo magnético.

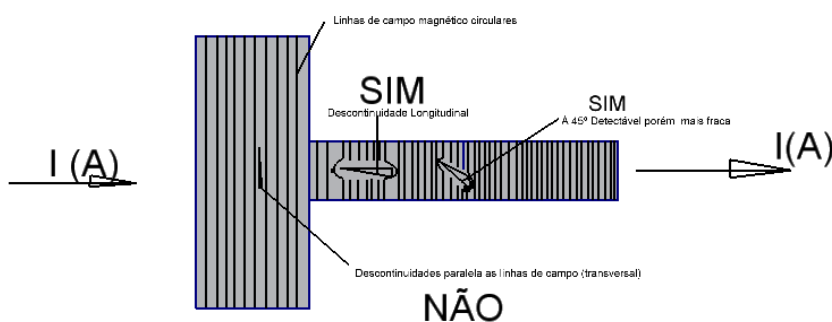


Regra da mão direita





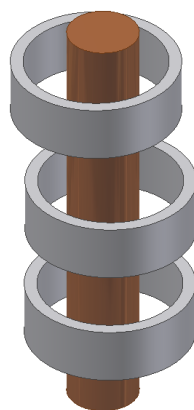
Técnica do contato direto



4.1.1.2 TÉCNICA DO CONDUTOR CENTRAL

Uma das grandes vantagens desta técnica é que não circula corrente elétrica pela peça ensaiada, mas sim pelo condutor central (barra de cobre). Isto é, não existe nenhuma probabilidade de se produzirem pontos de queima na superfície da peça.

Outra das vantagens é que podem ser ensaiadas várias peças de forma simultânea.



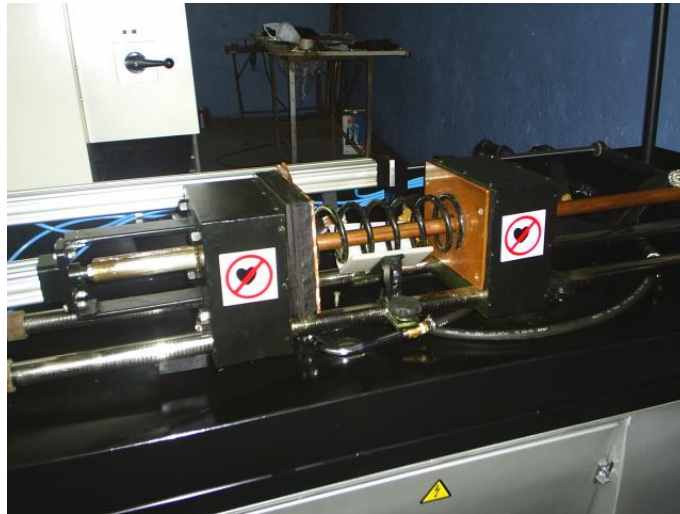
Condutor de cobre ou alumínio dentro das peças de inspeção

É importante destacar que com a técnica do condutor central, a sensibilidade é sempre maior na parede interna do que na parede externa da peça.

Esta técnica somente se aplica a peça com furos ou aberturas tais como, anéis, tubos, etc.

Para aplicar esta técnica deve-se introduzir uma barra redonda feita de material condutor, não ferromagnético (normalmente cobre ou latão) pelo orifício ou furo da peça e se aplica uma corrente de magnetização ao longo da barra.

Desta maneira cria-se um campo magnético circular o qual era detectado as descontinuidades longitudinais e radiais.

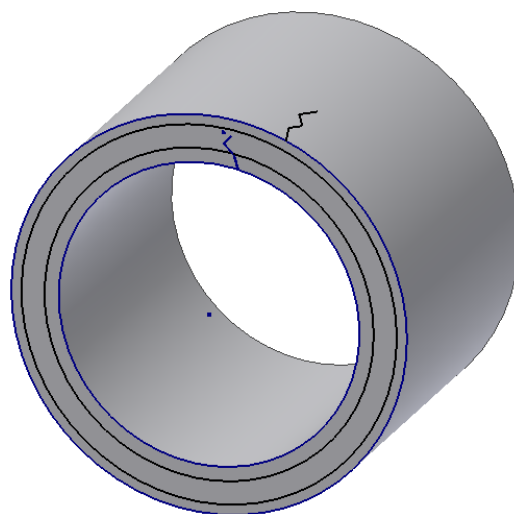


Técnica do condutor central

Uma das grandes vantagens desta técnica é que não circula corrente elétrica pela peça ensaiada, mas sim pelo condutor central (barra de cobre). Isto é, não existe nenhuma probabilidade de se produzirem pontos de queima na superfície da peça.

Outra das vantagens é que podem ser ensaiadas várias peças de forma simultânea.

É importante destacar que com a técnica do condutor central, a sensibilidade é sempre maior na parede interna do que na parede externa da peça.



Descontinuidades detectadas pela técnica do condutor central

Isto significa que as descontinuidades localizadas na parede interna aparecem mais intensas e visíveis do que na parede externa da peça

O ideal é que o condutor central fique centralizado com relação ao orifício da peça. Entretanto, como isto muitas vezes não é fácil, na prática a(s) peça(s) é (são) pendurada (s)

Do condutor central. Com isto, não se consegue uma densidade de fluxo magnético (B) uniforme principalmente no caso de peças onde o diâmetro interno da peça é consideravelmente maior do que o diâmetro do condutor central.

Por isto é que com peças que tem um diâmetro interno muito maior do que o diâmetro do condutor central as vezes é conveniente magnetizá-las por partes. Isto é, aplicando uma primeira magnetização, inspecionando a peça, girando a peça



aplicando uma segunda magnetização, etc. , ate garantir uma cobertura uniforme de todo o perímetro da peça

O numero de pulsos para a magnetização total da pela será igual ao perímetro externo da pela dividido pela distancia = $4 \times d$
Exemplo: Deseja-se ensaiar um anel de 100 mm de diâmetro externo pela técnica do condutor central, utilizando uma barra de cobre de 30 mm de diâmetro. Determinar o numero de vezes com que a pela deve ser magnetizada de modo a se conseguir uma distribuição uniforme das linhas de fluxo magnético

O perímetro externo da pela e igual a:

$$P = r \times D$$

Onde D e o diâmetro externo da peça (anel)

$$P = r \times 100 = 314 \text{ mm}$$

$$\text{A distancia} = 4 \times d = 4 \times 30 = 120 \text{ mm}$$

Portanto e necessário aplicar

$$N^\circ = \frac{314}{120} = 2,6 \quad 3 \text{ magnetizações girando a peça de } 120^\circ \text{ em } 120^\circ$$

$$120$$

A intensidade da corrente de magnetização recomendada deve ser obtida da mesma tabela da pagina 23.

Exemplo : Deseja-se detectar trincas de tratamento térmico numa capa de rolamento com diâmetro externo de 150 mm pela técnica do condutor central. Calcular a intensidade da corrente de magnetização.



Trincas de tratamento térmico são trincas superficiais, isto é, nascem na superfície da peça. Portanto devemos aplicar corrente alternada.

Da tabela da página 23, temos

$$I_1 = \frac{12 \text{ A}}{\text{mm}} \times 150 \text{ mm} = 1800 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{20 \text{ A}}{\text{mm}} \times 150 \text{ mm} = 3000 \text{ A}$$

Portanto devemos aplicar uma corrente alternada entre 1800 e 3000 A

Se o diâmetro do condutor central for muito pequeno com relação ao diâmetro interno da peça, teremos que magnetizar a peça com mais de uma magnetização

Neste caso, poderemos utilizar uma corrente menos do que 1800 a 3000 A, já que estaremos magnetizando parcialmente a peça.

4.1.1.3 Técnica dos eletrodos de contato:



Máquina de eletrodos
à peça



Eletrodos de contato utilizado p/ passagem de corrente

Consiste em aplicar uma corrente de magnetização por dois eletrodos (ou ponteiras) de contato através de uma região da peça.

Esta técnica é aplicada principalmente por máquina portáteis na inspeção de soldas de vasos de pressão ou de peças de grandes dimensões, tais como pás de turbinas hidroelétricas não se aplicando a inspeção de autopeças.

Uma das grandes limitadas desta técnica de ensaio é a grande possibilidade de provocar arcos elétricos na superfície da peça ensaiada.

O arco elétrico é conseqüência de uma elevada densidade de corrente, isto é, muita corrente por unidade de área útil de passagem desta corrente. Portanto para evitar estas faíscas tome as seguintes precauções.

- não utilize ponteiros de contato muito afiadas, isto é, com pouca área de contato.

- limpe e/ ou lixe as áreas da peça onde serão aplicadas as ponteiros de contato

Em termos de corrente de magnetização, a norma ASTM-E- 709 recomenda a aplicação dos seguintes valores :

Espessura do material	Amperes/ mm de separação entre contatos
<19 mm	3,6 a 4,4
>19 mm	4,0 a 5,0

A máxima separação entre contatos é limitada a 200 mm

Exemplo: Deseja-se ensaiar uma solda numa chapa com espessura de 25 mm . A separação entre contatos será de 200 mm. Determinar a corrente de magnetização

Da tabela acima:

$$I_1 = 4 \text{ A} \times 200 \text{ mm} = 800 \text{ A} \\ \text{Mm}$$

$$I_2 = 5 \text{ A} \times 200 \text{ mm} = 1000 \text{ A} \\ \text{Mm}$$

Portanto devese aplicar uma corrente de magnetização entre 800 a 1000 A .



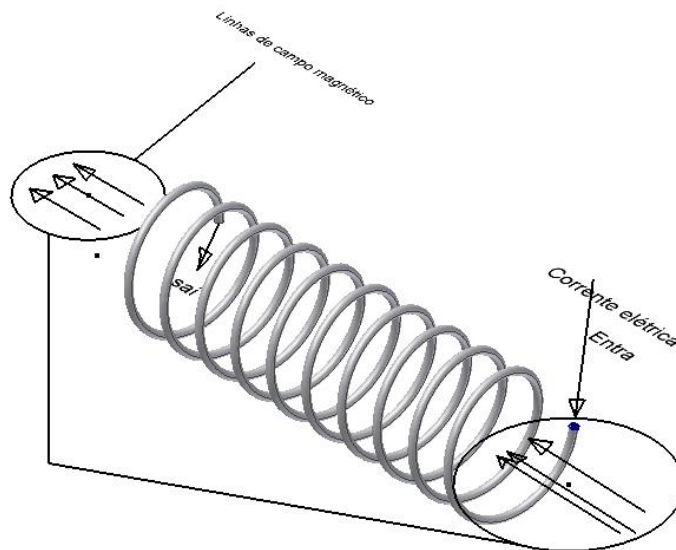
4.1.2– Campos Magnéticos Longitudinais

4.1.2.1 Técnica da bobina



Bobina envolvente em máquina estacionária

Conforme explicado anteriormente, quando uma corrente elétrica passa por um condutor retilíneo, forma-se um campo magnético circular e concêntrico ao condutor. Pela regra da mão direita podemos ainda determinar qual é o sentido de circulação das linhas de fluxo magnético.



$N = 10$ espiras

$I = 1000$ Amperes

$H = 1000 \times 10 = 10.000$ Amperes X Espiras

Se ao invés de um condutor retilíneo tivermos um condutor curvilíneo de uma espira ao aplicarmos uma corrente elétrica pelo condutor teríamos um campo magnético paralelo ao eixo da espira, isto é, um campo magnético longitudinal

Pode-se verificar que ao aplicarmos a regra da mão direita no ponto 1 da figura anterior, isto é, quando a corrente elétrica está subindo as linhas de fluxo magnético entram no plano pelo interior da espira e saem do plano pelo exterior da espira.



O mesmo acontece quando se aplica a regra da mão direita no ponto 2, isto é, quando a corrente elétrica está descendo. Podemos concluir, portanto, que se o sentido de circulação da corrente elétrica é conforme se mostra na figura anterior, todas as linhas de fluxo magnético irão entrar no plano pelo interior da espira e sair do plano pelo exterior da espira.

Vamos supor agora que se ao invés de uma espira, tivéssemos um condutor enrolado formando um número de N espiras. Neste caso, teríamos uma bobina de N espiras.

Por definição, força magnética (f) é igual ao produto do número de espiras (N) da bobina pela intensidade da corrente elétrica (I) que circula pelas espiras da mesma. A unidade da força magnetizante é Amperes x Espiras.

$$H = \text{força magnetizante} = N \times I$$

Pode-se verificar que as linhas de fluxo magnético apresentam um percurso longitudinal com relação à peça. Daí o nome de campo magnético longitudinal.

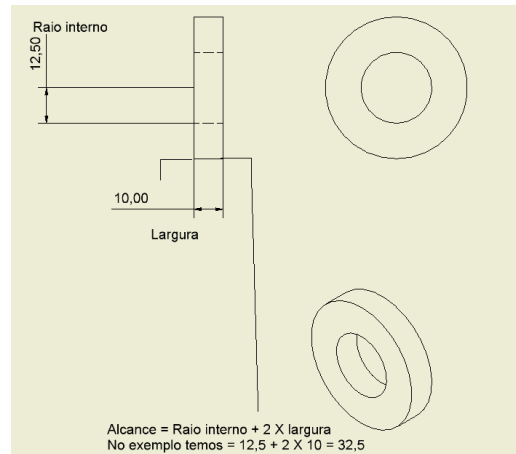
A técnica da bobina possibilita a detecção de descontinuidades transversais e as que possuem um ângulo de até 45° com relação ao eixo longitudinal da peça.



MLR Máquinas
Locação Reformas LTDA



Linhas de campo magnético longitudinais dentro da bobina



Alcance da bobina

$$E_{ef} = 2 \times R + C$$

Onde: R = raio interno da bobina

C= comprimento da bobina

Exemplo : determine o comprimento efetivo (E_{ef}) de uma bobina com 300 mm de diâmetro interno e 130 mm de comprimento.

$$D_{int} = 300 \text{ mm}$$

$$R = \frac{D_{int}}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$C = 130 \text{ mm}$$

$$E_{ef} = 2 \times R + C = 2 \times 150 + 130$$

$$E_{ef} = 430 \text{ mm}$$

O que acontece se desejamos ensaiar uma peça que tem um comprimento maior que o comprimento efetivo da bobina??



Exemplo: suponha que deve-se ensaiar uma peça com um comprimento de 1000 mm, com uma bobina que tem um comprimento efetivo (E_{ef}) de 430 mm.

Pode-se verificar da figura anterior que o numero de linhas de fluxo magnético (Φ) é maior nas proximidades do centro da peça do que em ambas extremidades. Isto significa que se uma peça apresenta um comprimento maior do que o comprimento efetivo (E_{ef}) de uma bobina , não existirá uma densidade de fluxo magnético (B) uniforme ao longo da barra. Desta maneira as indicações produzidas por descontinuidades no centro da barra serão mais intensas do que nas extremidades da mesma, sendo que , dependendo do comprimento da barra, se corre o risco de deixar de detectar por completo as descontinuidades nas extremidades.

Se a peça a ser ensaiada tiver um comprimento menor do que o comprimento efetivo (L_{ef}) da bobina , a peça deve permanecer centrada no interior da bobina durante sua magnetização.

Entretanto, se a peça tiver um comprimento maior do que o comprimento efetivo (L_{ef}) da bobina , esta última deve ser passada ao longo de toda a peça. Deve-se ainda tomar a precaução de se aplicar o banho na frente da bobina de modo a evitar a remoção das indicações já formadas

A intensidade de campo magnético (H) a ser aplicada na técnica da bobina é proporcional ao numero de espiras (N) e a intensidade de corrente elétrica (I) que circula pelas espiras da bobina.



Isto é:

$$F = N \times I = \frac{45000}{L/D} \quad (\text{Amperes} \times \text{Espiraís})$$

Onde: L = comprimento da peça

D = Diâmetro externo (equivalente) da peça

E importante destacar que quando o comprimento da peça (L) for maior do que o comprimento efetivo da bobina (l ef), este último deve entrar na fórmula anterior ao invés do primeiro.

Outro aspecto de importante na determinação da força magnetizante (f) e que a fórmula anterior somente é válida para casos em que a relação L/D é maior do que 2. Nos casos onde isto não ocorre, isto é, quando L/D é menor ou igual a 2 deve-se utilizar prolongadores magnéticos.

$$N \times I = \frac{45000}{250/50} = \frac{45000}{5} = 9000 \text{ A} \times \text{E}$$

Precisamos portanto, aplicar uma força magnetizante (f) de 9.000 Amperes x Espiraís

Exemplo: Deseja-se detectar discontinuidades transversais num eixo de 100 mm de diâmetro e com uma bobina de 300 mm de diâmetro interno e 130 mm de comprimento. Determine qual deve ser a força magnetizante adequada 600 mm de comprimento

O comprimento efetivo da bobina (L_{ef}) e:

$$I. \quad L_{ef} = 2 \times R_i + C = 2 \times 150 + 130 = 430 \text{ mm}$$

Portanto , neste caso o comprimento da peça (600 mm) é maior do que o comprimento efetivo da bobina (430 mm)
Isto significa que na formula para calcular a força magnetizante o L deve ser o comprimento efetivo da bobina.

$$N \times I = \frac{45.000}{L/D} = \frac{45.000}{430/100} = \frac{45000}{4,3} = 10465 \text{ A} \times E$$

Precisamos portanto aplicar uma força magnetizante (f) de 10.465 Amperes x Espiras

Exemplo: Deseja-se detectar descontinuidades transversais numa peça de 50 mm de diâmetro e 80 mm de comprimento .
Determinar qual deve ser a força magnetizante adequada

$$\frac{L}{D} = \frac{80}{50} = 1,6$$

Já que a relação L/D é menor que 2, teremos que aumentá-la usando prolongadores magnéticos. A idéia é colocar uma ou mais peças de aço em contato com a peça de modo que a nova relação L/D seja no mínimo superior a 2.

Peça a ser ensaiada em contato com dois prolongadores magnéticos



$$\frac{L}{D} = \frac{80}{50} = 1,6$$

$$\frac{L}{D} = \frac{50+80+50}{50} = 3,6$$

É importante destacar que ao invés de dois prolongadores magnéticos de 50 mm de comprimento (uma em cada lado da peça a ser ensaiada), pode-se utilizar somente um, desde que a nova relação L/D seja no mínimo superior a 2 (o ideal é que L/D fique entre 5 a 10)

Continuando com o nosso exemplo, vamos calcular agora a força magnética (f)

$$F = N \times I = \frac{45000}{5,2} = 8650 \text{ Amperes x Espirais}$$

a intensidade de campo magnético (H) de uma bobina é sempre maior na parede interna do que no seu centro. Portanto, quando o seu equipamento de ensaios por partículas magnéticas não tiver condições de aplicar uma força magnetizante muito elevada, coloque a peça encostada contra a parede interna da bobina.

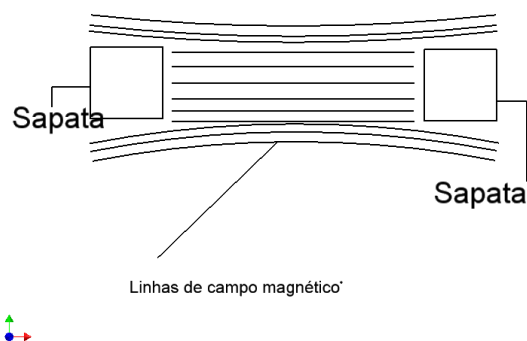
4.1.2.2 Técnica do Yoke

O yoke (ou jugo eletromagnético) é basicamente um eletroímã portátil , isto é , uma bobina enrolada sobre um núcleo de ferro laminado em forma de U e encapsulado num material resistente.



Yoke Y-6F(fluxotec) Pernas articuladas

Existem yokes pernas fixas , destinados a ensaiar superfícies planas , e yoke de pernas articuladas , destinadas a ensaiar tanto superfícies planas como curvas.



Aplicando uma corrente elétrica pelas espiras da bobina se geram linhas de fluxo magnético pelo núcleo de ferro laminado e pela região da peça colocada entre as sapatas do yoke . Pode-se verificar na figura que segue a continuação , que as linhas de



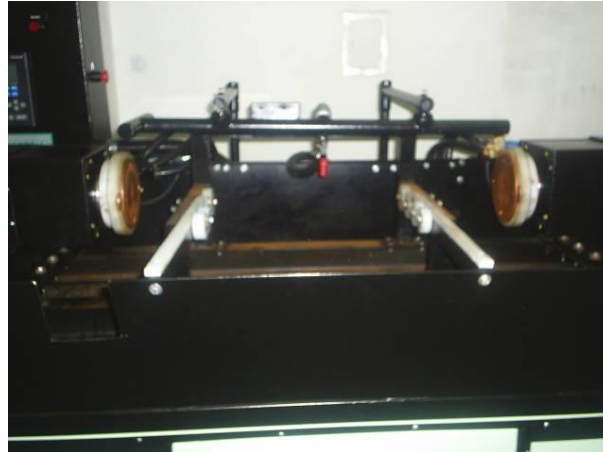
fluxo magnético são longitudinais com relação a linha que une ambas as sapatas do yoke. Isto significa que a técnica do yoke possibilita a detecção de descontinuidades preferentemente transversais com relação a linha que une ambas as sapatas. A técnica do yoke é principalmente utilizada na inspeção soldas de vasos de pressão, tubulações e estruturas, sendo raramente utilizada na inspeção de autopeças.

4.1.2.3 Técnica de eletroímãs em máquinas estacionárias

Esta técnica é basicamente a técnica do yoke em máquina estacionária



Técnica dos eletroímãs em máquina estacionária - Bobina vermelha incorporada ao cabeçote de aço da máquina vertical



Técnica dos eletroímãs em máquina estacionária – Bobinas preta incorporada aos cabeçotes de aço com contato de cobre nas pontas da máquina horizontal

As máquinas estacionárias que operam com esta técnica podem ser horizontais ou verticais.

Eletroímãs alimentados com corrente alternada apresentam maior sensibilidade para detecção de descontinuidades transversais, principalmente no caso de peças com geometria complexa. Isto se deve a que as linhas de fluxo magnéticas produzidas por corrente alternada se concentram na superfície da peça acompanhando assim todo o contorno da mesma, o que não ocorre com corrente contínua.

5 Tipos de partículas magnéticas

Classificação das partículas magnéticas

Há duas maneiras de se classificar as partículas magnéticas

Classificação conforme o meio de suspensão :

- a) P.M para ensaios por via seca
- b) P.M para ensaios por via úmida

Classificação conforme a luz de inspeção:



- c) P.M coloridas
- d) P.M fluorescente

5.1 Partículas magnéticas para ensaios por via seca

Nos ensaios por via seca, as partículas magnéticas são suspensas no ar, podendo ser aplicadas por meio de aplicadores manuais ou por ar comprimido de baixa pressão numa câmara ou tanque especial .

As partículas via seca tem granulometria entre 30 à 250 μ m. Elas são grossas e pesadas. Não necessitam de um fluido para sua utilização. Utilizadas principalmente para descontinuidades grandes.



Bulbo para aplicação manual de partículas via seca (FLUXOTEC)



Pistola de ar comprimido para aplicação das partículas via seca



Partículas magnéticas via seca

As partículas via seca são utilizadas principalmente para :

- Detecção de descontinuidades grosseiras
- inspeção a alta temperatura (maior do que 55°C até 300 °C)
- Para detecção de descontinuidades sub-superficiais

5.2 Partículas magnéticas para ensaios por via úmida

São partículas ferromagnéticas finas e utilizadas com um veículo o qual poderá ser:

- óleo especial
- água + aditivo especial (anti-espumante, tenso-ativo, anti-oxidante, anti-dispersante) .

Estas partículas são muito sensíveis para descontinuidades pequenas.

As partículas tem granulometria entre 1 à 30 μm .

Elas são utilizadas para detecção de:

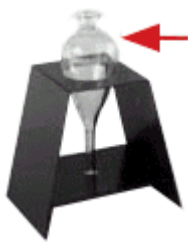
- descontinuidades finas e micro descontinuidades.
- descontinuidades superficiais.
- inspeções a temperatura ambiente.



Deve-se ter um controle do volume de veículo sobre o volume de pó magnético. Este controle é feito a cada 8 horas ou a cada mudança de turno utilizando o tubo centrífugo .

O controle é feito após a suspensão estar homogênea, é coletado 100 ml da amostra e aguarda-se 30 minutos para água e 60 minutos para o veículo óleo.

Após este tempo verifica-se o volume do material decantado o qual deverá estar entre os parâmetros especificados pela norma utilizada e o procedimento ou instrução de trabalho utilizada.



decantado.

Tubo centrífugo utilizado para controle do volume do material

6 ILUMINAÇÃO

6.1 LUMINÁRIA DE LUZ ULTRA-VIOLETA

As luminárias de luz ultra-violeta são utilizadas para gerar um espectro de luz ultra-violeta no comprimento de onda de 320 à 400 nm. Este comprimento de onda não prejudica os olhos e pele humana. Porém esta faixa de espectro é favorável a gerar a fluorescência no pigmento da partícula magnética.

O pigmento da partícula magnética capta a onda eletromagnética da luminária com 320 à 400 nm (de alta energia e invisível) e aumenta para a faixa de 500 à 600 nm (com baixa energia e visível verde

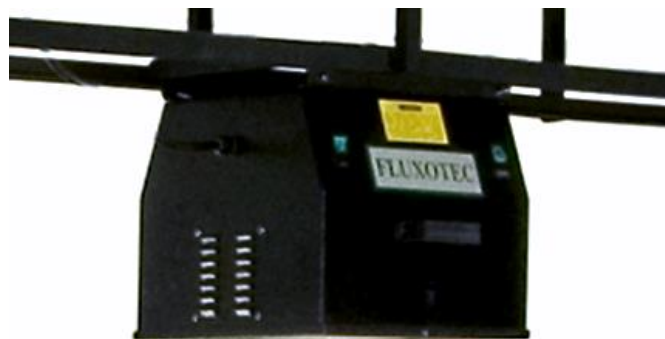


MLR Máquinas
Locação Reformas LTDA

amarelo).

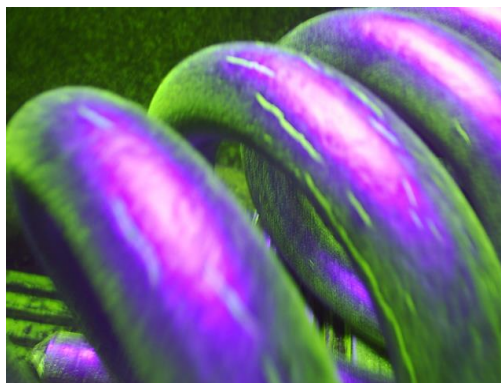


Luminária de luz ultra-violeta portátil de altíssima intensidade acima de $5000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.
LUV-100 Fluxotec



Luminária de luz ultra-violeta de altíssima intensidade para máquinas estacionárias
LUV-400 Fluxotec

Em outras palavras no ensaio por partículas magnéticas fluorescentes; estamos observando um defeito iluminado com uma luz verde amarelada.



Indicação do ensaio com partículas magnéticas fluorescentes

As luminárias acima são especiais e são utilizadas inclusive sobre claridade maior do que 40 LUX. Isto porque estas luminárias admitem um pouco de claridade. Isto veio melhorar a qualidade do ensaio, produtividade e confiabilidade.

O tempo de adaptação do operador ao grau de escurecimento também diminuiu; devido as condições de escurecimento também terem diminuído.

Evite ligar e desligar as luminárias, pois cada vez que isto é feito perde-se 3 horas de vida útil.

Limpe o filtro a cada 3 ou 6 meses. A sujeira poderá diminuir a intensidade de luz.

6.2 LUMINÁRIA DE LUZ BRANCA

O ensaio com partículas magnéticas coloridas é utilizado bico de luz branca, luminárias de luz branca ou até mesmo a luz do sol.



7 TIPOS DE EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados no ensaio de partículas magnéticas devem ser escolhidos de acordo com:

- Dimensão e geometria da peça à inspecionar
- Requisito de produção mensal.
- Tipo de descontinuidades à detectar.
- Normas utilizadas pela Empresa.

Os equipamentos são divididos em:

7.1 PORTÁTEIS

O equipamento portátil é utilizado o equipamento ou peça não pode ser colocado em uma máquina, ou existe a necessidade fazer o ensaio no local onde a peça se encontra.

O equipamento portátil mais comum é o Yoke.



7.2 EQUIPAMENTOS TRANSPORTÁVEIS



Os equipamentos transportáveis são utilizados quando se requer fazer inspeções em peças que não poderá ser levada até o equipamento e ao mesmo tempo deseja-se realizar o ensaio mais rápido do que o ensaio com equipamento portátil.

Um exemplo de equipamento transportável é a máquina de eletrodos.

Ela poderá ser levada até o local de inspeção por rodas ou por carrinho.

A bobina desmagnetizadora sobre rodas, também poderá ser utilizada .



Máquina de eletrodos



Bobina desmagnetizadora

7.3 EQUIPAMENTOS ESTACIONÁRIOS

Os equipamento estacionários devem receber as peças no local onde ele se encontra. Existem vários tipos de equipamentos estacionários.

Eles podem ser divididos como verticais e horizontais:



MLR Máquinas
Locação Reformas LTDA



Máquina vertical analógica FV2/20K FLUXOTEC

Máquinas utilizadas para inspeções de parafusos, pinos, prisioneiros e peças pequenas. Grande produtividade, sensibilidade média.



Máquina Horizontal Microprocessada FHM3/10K FLUXOTEC
Máquina universal com bobina envolvente para peças em geral.
Produtividade média, sensibilidade alta.

7.4 EQUIPAMENTOS ESPECIAIS



FVME3/20K FLUXOTEC

Máquina especial vertical para pinos bola longo.
Máquina de alta produtividade e boa sensibilidade. Alimentação e magnetização automática.

8 DESMAGNETIZAÇÃO

A desmagnetização é um tópico muito complexo. Para se obter uma desmagnetização eficiente é necessário um equipamento desmagnetizador compatível com as características do campo magnético residual da peça ao objetivo de resíduo especificado.

Isto porque não é possível reduzir o campo magnético para 0 (zero). Consegue-se através da desmagnetização um resíduo mais próximo possível do valor 0 (zero).

O objetivo da desmagnetização é reduzir o magnetismo residual abaixo do nível especificado para um dada peça.

O PRINCÍPIO DA DESMAGNETIZAÇÃO ESTÁ EM:

- Diminuir a intensidade de campo magnético de forma gradativa



- Variar o sentido das linhas do campo magnético.

Assim sendo, a técnica legendaria para desmagnetização é passar uma peça sobre uma bobina alimentada com corrente alternada.



Bobina desmagnetizadora BDF-03.022 FLUXOTEC

As peças após o ensaio deverá passar pelas operações abaixo devenser desmagnetizadas:

- a) usinagem – O resíduo deverá atrair partes ferromagnéticas minúsculas, ficando entre a ferramenta de usinagem e a peça à usinar. Isto poderá diminuir a vida útil da ferramenta ou prejudicar o acabamento superficial da peça.
- b) Pintura eletrostática – O resíduo impossibilita cobertura pela tinta de forma homogênea, podendo ficar até regiões sem tinta ou irregular.
- c) Peças que trabalham com atrito – Peças com rolamento , engrenagens, deverão ter sua vida útil prejudicada se não for removido o resíduo magnético.
- d) Peças a serem montadas em aeronaves – Devem ser desmagnetizadas para não atrapalhar os instrumentos do avião.



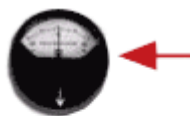
- e) Peças a serem soldadas – A solda ficará toda irregular, o soldador não conseguirá soldar reto, pois o resíduo desvia o arco voltaico.
- f) Peças de motores – Deverão sofrer diminuição da vida útil.

O valor máximo aceitável do magnetismo residual depende da respectiva aplicação da peça.

Algumas aplicações usualmente são adotados os valores abaixo:

- Peças aeronáuticas: 2 Gauss
- Rolamentos : 3 Gauss
- Componentes de injetores de combustível: 3 Gauss
- Semi-eixo da roda automobilística: 5 Gauss
- Engrenagens : 6 Gauss
- Virabrequins: 6 Gauss
- Peças as quais serão usinadas: 8 Gauss

Para controle do magnetismo residual poderão ser utilizados:



Indicadores de magnetismo residual



Medidor de campo magnético

9 CONTROLES PERIÓDICOS

9.1 Controle do Amperímetro

Executado 1 vez a cada 6 meses . è verificado o desvio o qual não deverá ultrapassar a +/- 10 % do fundo da escala. Deverá ser executado pelo fabricante da máquina ou por Empresa fabricante conhecedora deste ensaio.



Amperímetros a serem calibrados

9.2 Controle da concentração

Volume de material decantado deverá estar entre 0,1 à 0,4 ml para partículas magnéticas fluorescentes e 1,2 à 2,4 ml para partículas coloridas. Deverá ser verificado a cada 8 horas ou a cada mudança de turno.

Poderá ser utilizado o tubo centrífugo para controle dos contaminantes. **Caso exceda 30% deve-se trocar o banho.**

Isto é verificado dividindo o volume de material decantado não fluorescente sobre o volume total. Deverá ser verificado pelo menos 1 vez por dia.



Tubo centrífugo

9.3 Controle da iluminação

A intensidade de luz ultra-violeta deverá estar acima de $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Para ensaio por via úmida fluorescente, sendo verificada 1 vez por semana no mínimo.

Para ensaio por partícula magnética colorida deverá ser maior ou igual a 1000 LUX.



medidor de luz Ultra-violeta

9.4 Controle da densidade de campo magnético (B)

A densidade de campo magnético circular e longitudinal deverá estar entre 30 e 60 Gauss. (24 à 48 A/cm). Para máquinas estacionária.

No caso de inspeção com Yoke ou Eletrodos a densidade de campo deverá estar entre 17 à 65 A/cm.

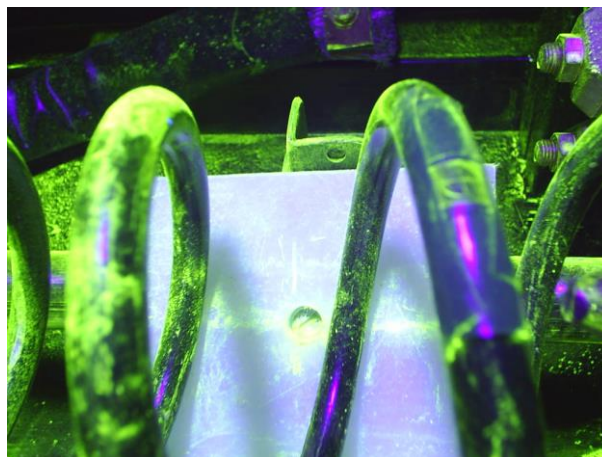


Medidor de campo magnético

9.5 Controle da eficácia do ensaio

O padrão IQQ deverá ser colocado sobre a peça e deverá ser verificado as indicações fortes e contínuas do círculo e a cruz.

Verificado no início da jornada de trabalho.



Padrão IQQ miniatura utilizado para máquinas estacionárias



Padrão octogonal utilizado para inspeções por Yoke ou eletrodos.