

Ricardo
Andreucci

Ensaio por Partículas Magnéticas



abende

Prefácio

“Este trabalho representa um guia básico para programas de estudos e treinamento de pessoal em Ensaio por Partículas Magnéticas, contendo assuntos voltados para as aplicações mais comuns e importantes deste método de Ensaio Não Destrutivo. Trata-se portanto de um material didático de interesse e consulta, para os profissionais e estudantes que se iniciam ou estejam envolvidos com a inspeção de materiais pelo método de ensaio superficial.”

O Autor

Copyright ©

ANDREUCCI, Assessoria e Serviços Técnicos Ltda
e-mail: r.andreucci@plugnet.com.br
Website: www.infosolda.com.br/andreucci

2ª Edição

Jul./ 2002

**Ricardo
Andreucci**

- Professor da Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC/ SP, nas disciplinas de Controle da Qualidade do Curso de Soldagem.
 - Qualificado e Certificado pelo IBQN como Nível III nos métodos de ensaio radiográfico, partículas magnéticas ultra-som e líquidos penetrantes, conforme norma CNEN-NN 1.17
 - Membro da Comissão de Segurança e Radioproteção da Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos - ABENDE.
 - Diretor Técnico da ANDREUCCI Ass. e Serv. Técnicos Ltda.
 - Consultor Técnico como Nível III de END para importantes empresas brasileiras e do exterior
 - Participante como Autor do livro "Soldagem" editado pelo SENAI / SP
 - Autor do Livro "Curso Básico de Proteção Radiológica" - ABENDE / SP
 - Autor do livro "Radiologia industrial"- ABENDE / SP - Jul./02
-

Sumário

Assunto	Pág.
Generalidades	04
Descrição aplicabilidade do Ensaio	04
Magnetismo	04
Polos Magnéticos	04
O campo magnético	05
Unidades e Grandezas utilizadas no Magnetismo	06
Fluxo Magnético	07
Permeabilidade Magnética	08
Classificação dos Materiais	08
Campo de Fuga	10
Métodos e Técnicas de Magnetização	13
Tipos de correntes elétricas utilizadas	15
A técnica dos eletrodos	18
A técnicas por Contato direto	20
A técnica da bobina	22
A técnica do Yoke	23
A técnica do condutor central	25
Desmagnetização	28
Métodos de Ensaio e Tipos de Partículas	30
Via seca	30
Via úmida	30
Escolha do tipo de partículas	32
Procedimento para Ensaio	34
Crítérios de Aceitação das Indicações	41
ASME Sec. VIII Div. 1 Ap.6	41
AWS D1.1	42
Registro das Indicações	44
Segurança no Ensaio	46
Questões para Estudo	47

Generalidades

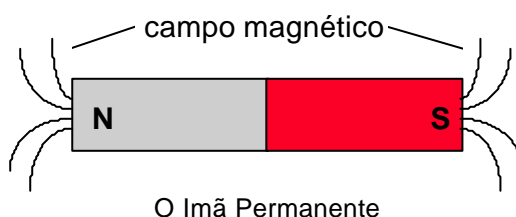
Descrição e Aplicabilidade do Método:

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. A palavra “magnetismo” vem de Magnésia na Turquia onde séculos atrás observou-se o minério magnetita que é um ímã natural.



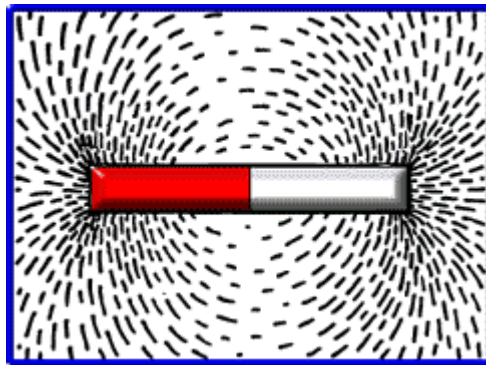
Pólos Magnéticos:

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 pólos 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.

O Campo magnético

Uma região do espaço que foi modificada pela presença de um imã, recebe a denominação de **campo magnético**. O campo magnético pode ser visualizado quando limalha de material ferromagnético é pulverizado sobre um imã. Tais partículas se comportam como minúsculos imãs e se alinham na direção do campo magnético, formando o que chamamos de **linhas de indução** ou **linhas de fluxo**. As linhas de indução são sempre contínuas e mostram claramente a forma do campo magnético.



Forma do campo magnético produzido por uma barra imantada e visualizada por limalha de ferro



Unidades e Grandezas utilizadas no Magnetismo

Vetor Indução Magnética

Para caracterizar a ação de um ímã em cada ponto do campo magnético, associa-se a esse ponto um vetor, denominado **vetor indução magnética** simbolizado por “ **B** ”.

A unidade de medida do módulo do vetor indução no sistema internacional (MKSA) denomina-se **Tesla (T)** ou **Gauss¹ (G)** que é simplesmente a medida da concentração das linhas de indução numa pequena região espacial que contém o ponto considerado. Quando as linhas de indução são paralelas entre si, o vetor indução naquela região é constante em qualquer ponto.

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$$

O Sistema Internacional de Unidades - SI defini Tesla (T) como sendo a indução magnética uniforme que produz uma força constante de $1 \text{ N} / \text{m}^2$ de um condutor retilíneo situado no vácuo e percorrido por uma corrente elétrica invariável de 1 A, sendo perpendiculares entre si as direções da indução magnética, da força e da corrente.

A produção de campos magnéticos não se prende somente à presença de ímãs. Em 1820 o físico Hans Christian Oersted² descobriu que a passagem de corrente elétrica por um fio condutor também produzia um campo magnético com a forma circular ao redor do condutor, com intensidade proporcional ao valor da corrente elétrica aplicada.



¹Johann Carl Friedrich Gauss nasceu em 30 de abril de 1777 na cidade de Brunswick, hoje Alemanha. Trabalhou em diversos campos da matemática e da física dentre eles a teoria dos números, geometria diferencial, magnetismo, astronomia e ótica. Em 1832, Gauss e Weber começaram a investigar a teoria de magnetismo terrestre depois de Alexander von Humboldt ter tentado obter ajuda de Gauss para fazer um grid de pontos de observação magnética ao redor da Terra. Gauss estava entusiasmado por este projeto e, antes de 1840, já tinha escrito três importantes documentos sobre o assunto: *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata* (1832), *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* (1839) e *Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte* (1840). Estes documentos que tratavam das teorias atuais sobre o magnetismo terrestre, incluindo as idéias de Poisson, medida absoluta das forças magnéticas e uma definição empírica de magnetismo terrestre. A saúde dele deteriorou lentamente, e Gauss morreu na manhã cedo de 23 fevereiro, 1855.

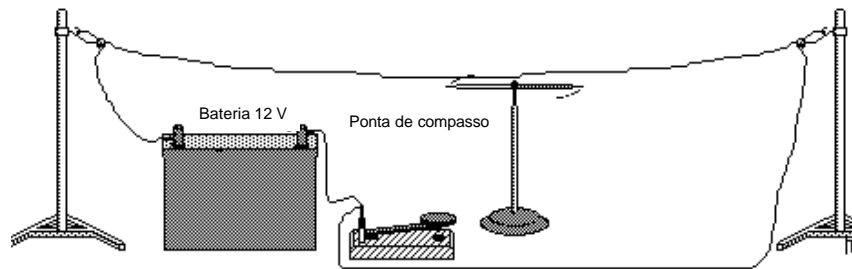


Diagrama esquemático da experiência de Oersted² comprovando que a passagem da corrente elétrica pelo fio condutor fez oscilar uma agulha de bússola devido à presença do campo magnético produzido pela corrente elétrica.

Quando colocamos um material qualquer num campo magnético de indução ou força magnetizante "**H**", o material formado por infinitos e minúsculos dipolos magnéticos respondem ao campo de indução e se alinham da direção de "**H**".

O resultado é que o magnetismo gerado no interior e superfície do material poderá ser diferente ao campo induzido. A este campo induzido no material simbolizamos por "**B**" e chamamos de **campo magnético induzido**. A força magnetizante "**H**" pode ser medida em Oersted (Oe) ou Amperes/metro (A/m). A razão entre "**B**" e "**H**" defini uma característica do material magnetizado ao que denominamos de **permeabilidade magnética** do meio.

O Sistema Internacional de Unidades - SI defini a intensidade de campo magnético medido em A/m e é a intensidade de um campo magnético uniforme, criado por uma corrente elétrica invariável de 1 A, que percorre um condutor retilíneo de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível, em qualquer ponto de uma superfície cilíndrica de diretriz circular com 1 m de circunferência e que tem como eixo o referido condutor.

Fluxo Magnético

O fluxo magnético no SI é expresso na unidade de **Weber**, símbolo **Wb**.

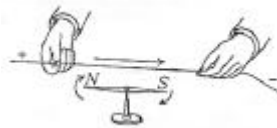
$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

O Sistema Internacional de Unidades - SI defini o Weber (Wb) como sendo o fluxo magnético através de uma superfície plana de área igual a 1 m², perpendicular à direção de uma indução magnética uniforme de 1 Tesla.



Hans Christian Oersted

²Hans Christian Oersted era professor de ciências na Universidade de Copenhague. Em 1821 ele demonstrou em sua residência uma experiência para seus alunos e amigos, provando um aquecimento de um fio por passagem de corrente elétrica assim como também demonstrar o magnetismo a partir de uma agulha de compasso. Enquanto ele fazia a demonstração elétrica .



Oersted notava que todas as vezes que ligava a corrente elétrica a agulha se movia. Neste período concentrou sua atenção para desvendar este fenômeno.

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 (B) pela presença de um magnetismo externo e a força de magnetização externa (H).

É importante salientar que a permeabilidade magnética de um material não é constante e depende da força externa de magnetização.

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.

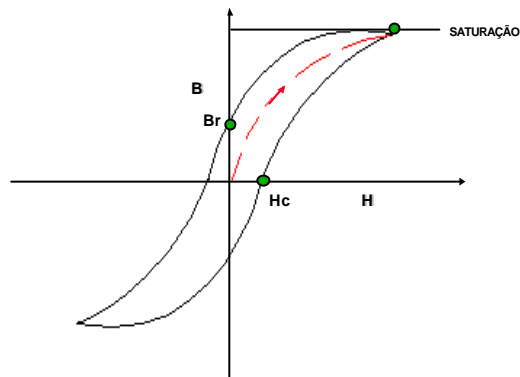
b) Paramagnéticos: $\mu = 1$.

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: $\mu < 1$.

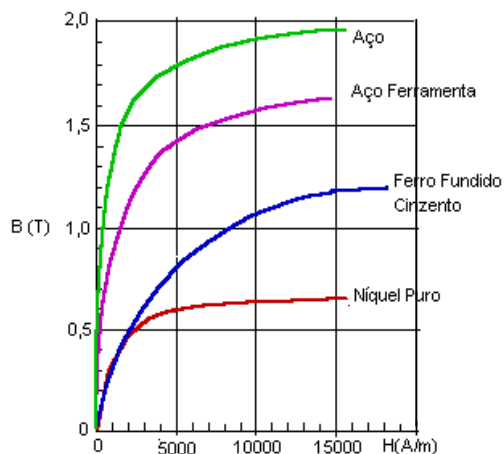
São os materiais que são levemente repelidos por um ímã. Exemplo: prata, zinco, chumbo, cobre, mercúrio. O ensaio por partículas magnéticas não é aplicável a estes materiais.

A permeabilidade magnética dos materiais não são constantes, pois dependem dos valores de B e H. Porém muitos livros trazem valores da permeabilidade magnética de vários materiais, porém esta se aplica na condição de total **saturação magnética** dos mesmos. A saturação magnética é conseguida quando ao aumentarmos o campo magnetizante H não ocorre nenhuma alteração de B.



Curva de Histerese – Variação de B x H

A permeabilidade magnética do vácuo é $\mu_0 = 4.\pi \times 10^{-7}$ T.m/A (MKSA), que é a base para cálculos de campos magnéticos formado a partir de condutores elétricos.



Intensidade do Campo Magnético em Função de alguns materiais magnéticos.

Variação da Indução B com a Força magnetizante H de alguns materiais:

H (Oersted)	B (Gauss)		
	Ferro	Níquel	Cobalto
20	15.500	5.100	1.200
40	16.200	5.500	2.800
60	16.800	5.700	4.400
80	17.300	5.800	6.000
100	17.700	5.900	6.800
120	17.900	6.000	7.500

Fonte: ABM – “Aços Carbono e Aços Liga”, Chiaverini

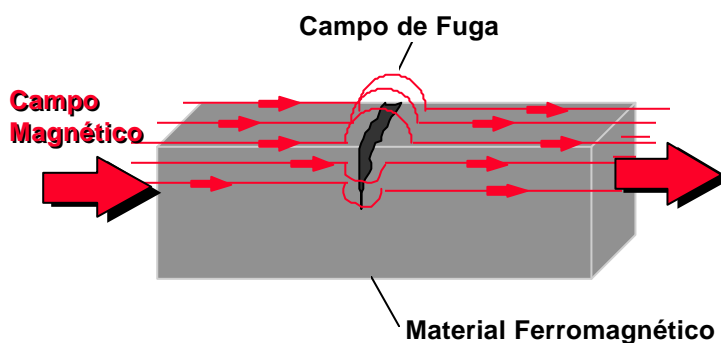
Outras características magnéticas dos materiais são:

Retentividade : é definida como sendo a habilidade de um material em reter uma parte do campo magnético após a interrupção da força magnetizante.

Força Coercitiva: é a magnetização inversa que se aplicada ao material, anula o magnetismo residual.

Campo de Fuga:

O desvio 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.

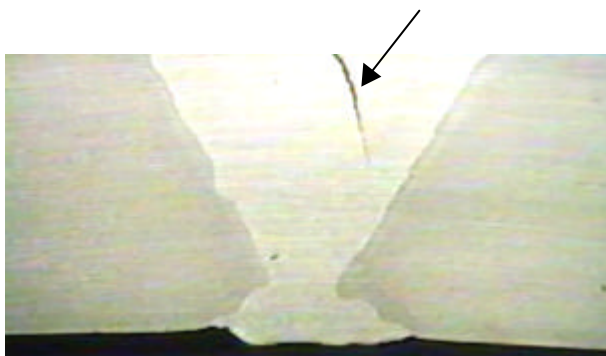


Peça contendo uma trinca superficial, dando origem ao campo de fuga

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 “detetor” de campos de fuga, que são “evidenciados” 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 magnético estejam o mais perpendicular possível em relação ao plano formado pelo contorno da descontinuidade para que ocorra a detecção, caso contrário, isso não será possível.



Corte da secção transversal de uma junta soldada de topo contendo uma indicação de trinca longitudinal superficial na solda.

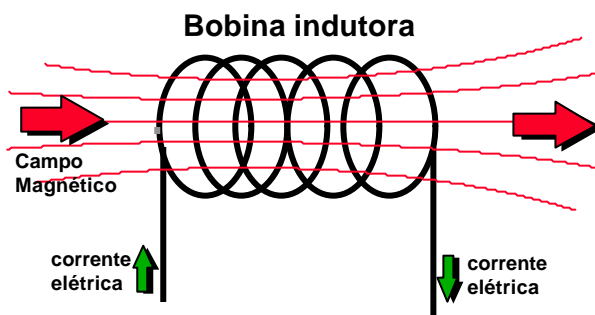
Outro aspecto interessante que podemos observar é que o campo de fuga somente ocorre quando existe uma diferença na continuidade das características magnéticas do material base inspecionado. Assim todas as descontinuidades a serem detectadas, trincas, escórias, falta de fusão, porosidade, inclusões, etc.. possuem características magnéticas bem diferente do metal base, o que atribui ao ensaio grande sensibilidade de detecção.

Outro aspecto também é a não existência de um tamanho mínimo da descontinuidade para que ocorra o campo de fuga, o que faz com que o método de ensaio por partículas magnéticas seja mais eficiente dos métodos superficiais até mesmo que o ensaio por líquidos penetrantes, para materiais ferromagnéticos.

Métodos e Técnicas de Magnetização

Magnetização Longitudinal

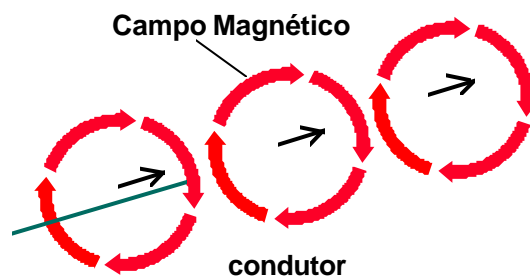
É assim denominado o método de magnetização que produz um campo magnético longitudinal da peça e fechando o circuito através do ar. Portanto, recomendamos para a detecção de descontinuidades transversais na peça. A magnetização longitudinal é obtida por indução de campo por bobinas ou eletroímãs.



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.



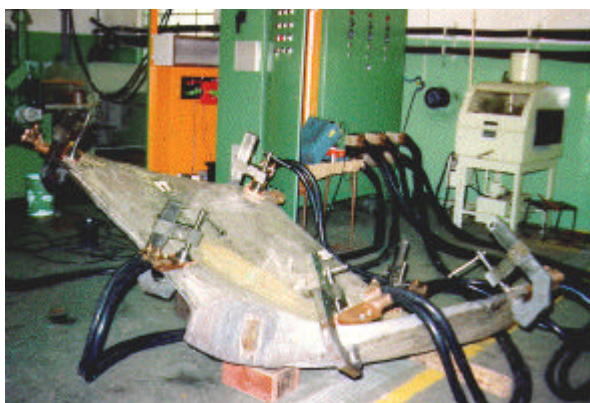
Método de magnetização circular, por passagem de corrente elétrica por um condutor

Magnetização Multidirecional:

Também conhecida como combinada ou vetorial, é um método em que simultaneamente são aplicados na peça dois ou mais campos magnéticos: um pelo método longitudinal e o outro pelo método circular ou ainda campos circulares em várias direções. É portanto a combinação de duas técnicas que produzem um vetor rotativo, que permite observar, de uma só vez, as descontinuidades com diversas orientações. Algumas normas recomendam o uso de corrente trifásica retificada de onda completa para magnetização nesta técnica.

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.
- Rapidez no ensaio por partículas magnéticas
- Grande produtividade

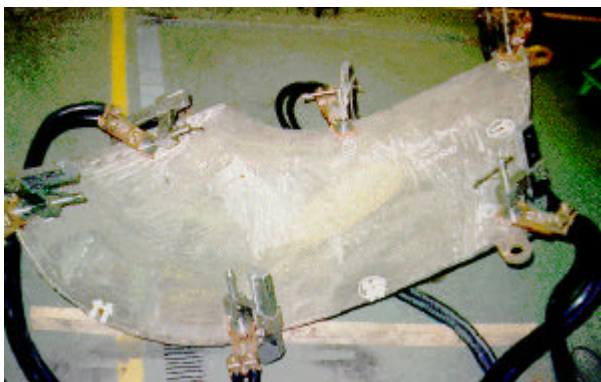


Máquina para ensaio por partículas magnéticas de uma peça fundida para indústria hidroelétrica, usando a técnica multidirecional.

(Foto cedida pela empresa VOITH SIEMENS)

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.



Ensaio de uma peça pela técnica de magnetização multidirecional. Observe os grampos dos terminais de contato elétrico em cada lado da peça.
(Foto cedida pela empresa VOITH SIEMENS)

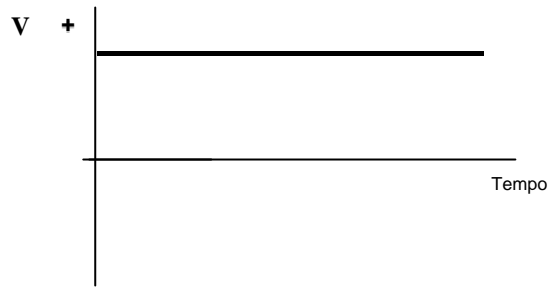
Técnicas de Magnetização

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:

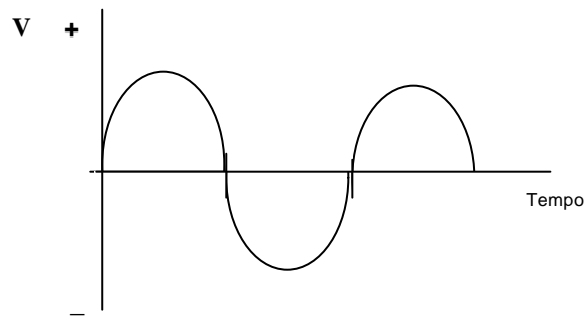
As correntes elétricas utilizadas na magnetização para inspeção por partículas magnéticas poderão ser das mais variadas fontes existentes, como segue:

- corrente contínua (CC): somente obtida através de baterias, e que na prática não é aplicável em processos industriais ;



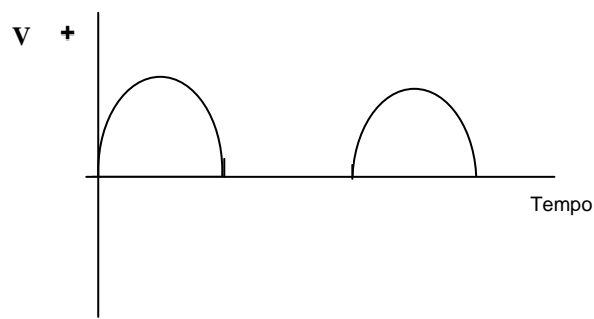
Corrente contínua

- 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;



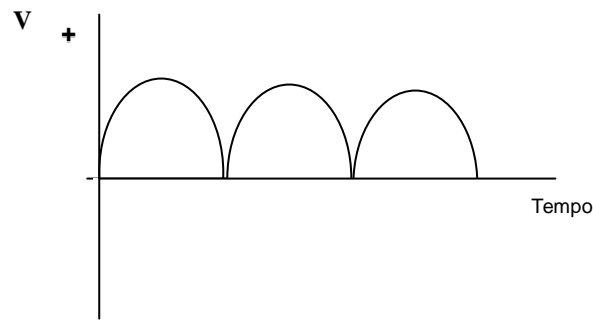
Corrente alternada

- corrente alternada retificada de meia onda: usada para detecção de descontinuidades sub-superficiais, o que na prática representa poucos milímetros de profundidade. O uso de algumas técnicas pode representar até 6 a 10 mm de profundidade .



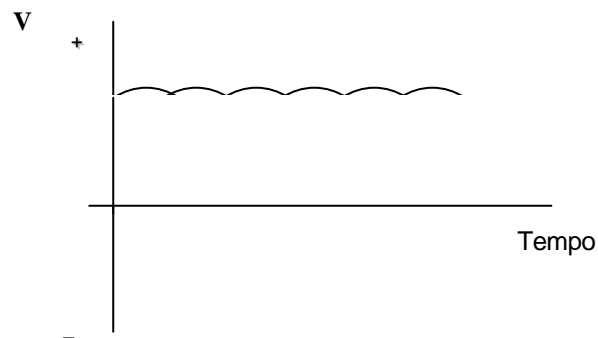
Corrente alternada retificada de meia onda

- Corrente Alternada Retificada de Onda Completa : usada para detecção de descontinuidades sub-superficiais, o que na prática representa poucos milímetros de profundidade. O uso de algumas técnicas pode representar até 12 mm de profundidade .



Corrente alternada retificada de onda completa

- Corrente trifásica : pode ser utilizada na forma retificada de meia onda ou onda completa. A corrente elétrica trifásica retificada de onda completa é a que mais se aproxima às características de uma corrente contínua.



Corrente Alternada trifásica retificada de onda completa

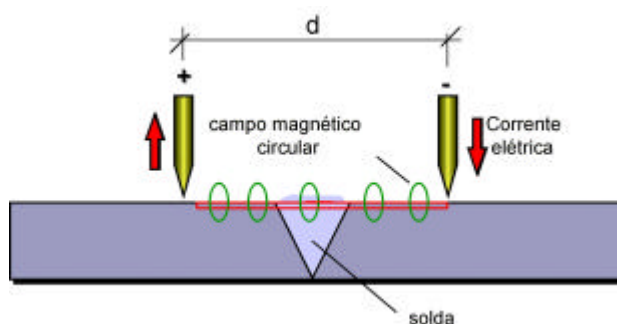
As correntes elétricas alternadas, acima mencionadas, poderão ser ainda obtida na forma monofásica ou trifásica o que representa diferenças no rendimento do sistema de inspeção.

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.

A 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, caldeiraria 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.

Como referência, podemos citar que para o Código ASME Sec.V Art.7, os valores de corrente elétrica a ser aplicada na peça devem estar entre os valores seguintes:

Limitação da Corrente Elétrica na Técnica de Eletrodos

Espessura da peça	Corrente Elétrica aplicada por polegada de espaçamento entre os eletrodos
$< \frac{3}{4}$ pol. (19 mm)	mínimo de 90 até 110 A/pol.
$\geq \frac{3}{4}$ pol.	mínimo de 100 até 125 A/pol.

Fonte: Código ASME Sec. V Art. 7

O espaçamento entre os eletrodos não deve ultrapassar a 8 polegadas. Espaçamentos menores podem ser utilizados para acomodar limitações geométricas na área que está sendo examinada, porém espaçamentos menores que 3 polegadas devem ser evitados. Os pólos de contato dos eletrodos devem estar limpos.



Foto extraída do catálogo da Magnaflux

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.

Exemplo de aplicação:

Uma junta soldada com espessura do metal base de 15 mm , deverá ser inspecionada por partículas magnéticas pela técnica dos eletrodos. Se o operador for utilizar 150 mm de espaçamento, qual deverá ser o valor da corrente elétrica a ser aplicada?

Solução:

Pela tabela, aplica-se a regra seguinte: de 90 a 110 Ampéres / polegadas de espaçamento ou 3,54 a 4,33 Ampéres / mm de espaçamento.

Portanto: 150 mm de espaçamento x 3,54 = 531,0 A (corrente elétrica mínima)
150 mm de espaçamento x 4,33 = 649,5 A (corrente elétrica máxima)

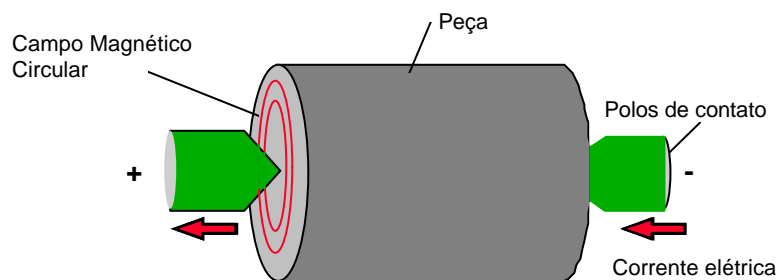
A técnica de eletrodos frequentemente produz faíscas nos pontos de contato dos eletrodos com a peça, o que impede a utilização desta técnica em ambientes onde existem gases explosivos ou ainda quando a peça a ser examinada está na sua fase final usinada , não admitindo qualquer dano nas suas superfícies.



Uso da técnica de eletrodos para inspeção de uma solda de conexão

A 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, parafusos, principalmente nas indústrias automobilísticas ou em fabricas de produtos seriados de pequeno porte.



Técnica de inspeção por Contato Direto

Nesta técnica, corrente elétrica contínua ou alternada poderão ser utilizadas, sendo recomendado pelo Código ASME Sec.V Art.7 uma limitação de 300 até 800 Ampéres/ pol. de diâmetro externo quando a geometria for redonda. Outras limitações de corrente elétrica podem ser requeridas, dependendo da norma ou especificação aplicável na inspeção.

Para peças outras que não redondas, a corrente elétrica pode ser determinada pelo diâmetro maior da peça na seção perpendicular ao fluxo da corrente elétrica. Se o nível de corrente elétrica não pode ser obtida por limitações técnicas dos equipamentos utilizados, então deve ser empregado o padrão indicativo de campo magnético para certificação de que a máxima corrente elétrica aplicada é satisfatória.

Exemplo de Aplicação;

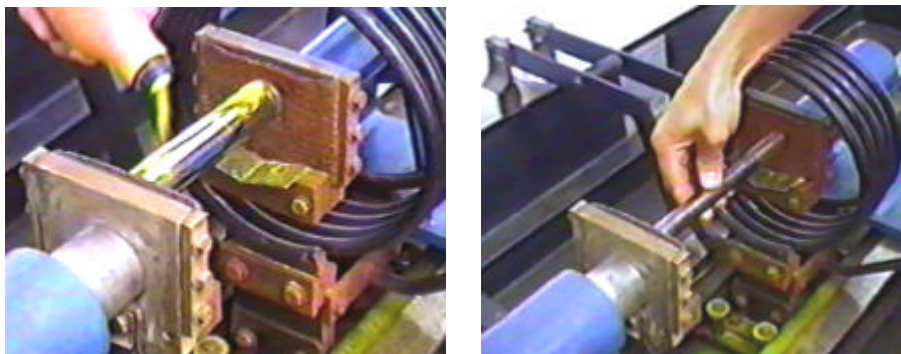
Uma barra com diâmetro externo maior de 10 pol. (254 mm), deverá ser inspecionada por partículas magnéticas pela técnica de contato direto. Qual deverá ser a corrente elétrica a ser aplicada ?

Solução:

De acordo com o recomendado pelo ASME Sec. V Art. 7, a limitação deverá ser de 300 a 800 Ampéres por pol. de diâmetro da peça. Assim teremos:

300 A x 10 pol. de diâmetro da barra = 3000 Ampéres (corrente elétrica mínima) ;

800 A x 10 pol. de diâmetro da barra = 8000 Ampéres (corrente elétrica máxima)



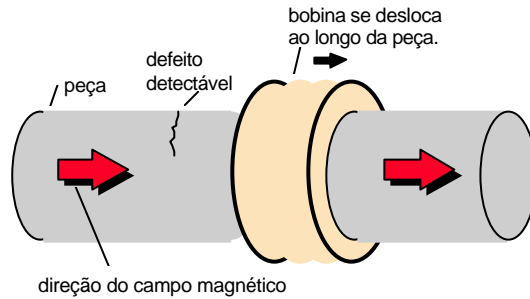
Fotos mostrando a técnica de magnetização circular por contato direto. Na foto esquerda o técnico pulveriza o pó magnético seco num eixo magnetizado por passagem de corrente elétrica. Na foto direita o técnico posiciona uma barra para a técnica de contato direto.

(Fotos extraídas do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Técnicas de Magnetização por Indução de Campo Magnético:

A Técnica da Bobina:

Nessa técnica a peça é colocada no interior de uma bobina ou solenóide, ocorrendo um campo longitudinal na peça. A bobina ou solenóide é formada por um enrolamento de fios condutores da corrente elétrica alternada ou contínua, que originam o campo magnético de intensidade que dependerá da corrente elétrica que passa pela bobina e o número de voltas que o enrolamento da bobina foi formado (amperes-volta)



Técnica de inspeção por Bobina ou Solenóide

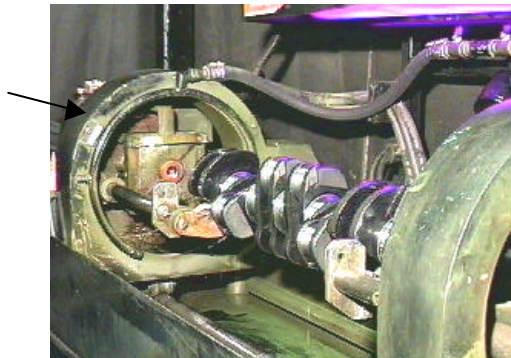
Para peças onde a razão L/D , onde L é o comprimento da peça sendo no máximo 18 polegadas e D o seu diâmetro, for maior ou igual a 4, a intensidade do campo pode ser calculada através da fórmula:

$$\text{Ampère-volta} = 35000 / (L/D) + 2 \quad (\pm 10\%)$$

(fonte: ASME Sec.V Art.7)

(Para peças não cilíndricas, D deve ser a máxima seção transversal da peça.)

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



Ensaio de um virabrequim pela técnica da bobina

Exemplo de Aplicação:

Seja um eixo com comprimento de 10 pol. e 2 pol. de diâmetro , qual a corrente de magnetização necessária se for usada uma bobina enrolada no eixo com 5 voltas?

Solução:

A relação neste caso é de : $L/D = 5$, portanto aplicando a fórmula teremos:

$$\text{Ampéres-Volta} = 35000 / 5 + 2 = 5000$$

Sendo a bobina formada por 5 voltas, então a corrente necessária será 5000 ampéres-volta / 5 voltas = 1000 Ampéres $\pm 10\%$

Para peças onde a razão L/D for menor que 4 mas não menor que 2, a intensidade do campo pode ser determinada através da fórmula:

$$\text{Ampéres-Volta} = 45000 / (L/D) \quad (\pm 10\%)$$

(fonte: ASME Sec.V Art. 7)

Para peças grandes, a intensidade de magnetização deve estar entre 1200 ampéres-volta e 4500 ampéres-volta. A utilização de padrões indicativos de campo pode estabelecer a corrente elétrica mais indicada.

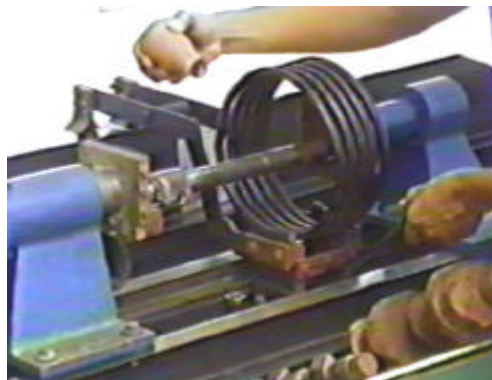
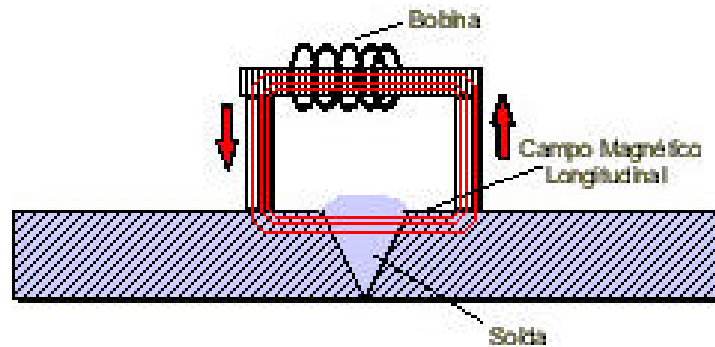


Foto mostrando a técnica de magnetização longitudinal de um eixo , por bobinas
(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

A Técnica do loque ou Yoke

É a técnica de magnetização pela indução em campo magnético, gerado por um eletroímã, em forma de "U" invertido, que é apoiado na peça a ser examinado. Pelo eletroímã 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 .



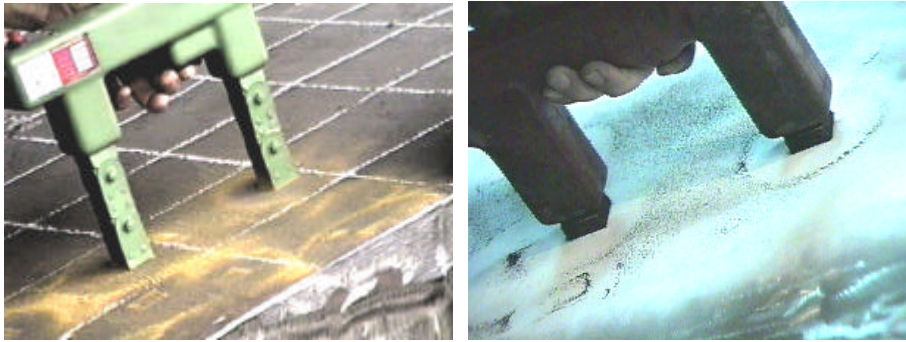
Técnica de inspeção por Yoke eletromagnético.

Os ioques produzem campos magnéticos longitudinais, podendo ser de pernas fixas ou de pernas articuláveis, conhecidos como loques 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 loque, 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 loque pode ser comprovada através de sua capacidade mínima de levantamento de massa calibrada equivalente a 4,5 kg (10 lb) de aço, no máximo espaçamento entre os pólos a ser utilizado em corrente alternada e de 18,1 kg (40 lb) em corrente elétrica contínua (fonte: ASME Sec. V Art.7) .

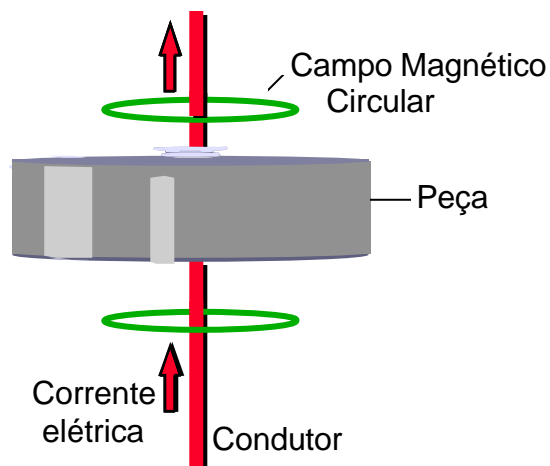
Estes limites apresentados para o teste de levantamento de peso pode ser alterado dependendo da especificação ou norma aplicável. Por exemplo a norma ASTM E-709 estabelece outros limites, assim como a norma Petrobras N-1598



Magnetização utilizando o YOKE

A 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 e/ou externa da peça. Assim sendo, a peça a ser inspecionada por este processo, deve ter geometria circular, tais como: flanges, anéis, porcas, e outras.



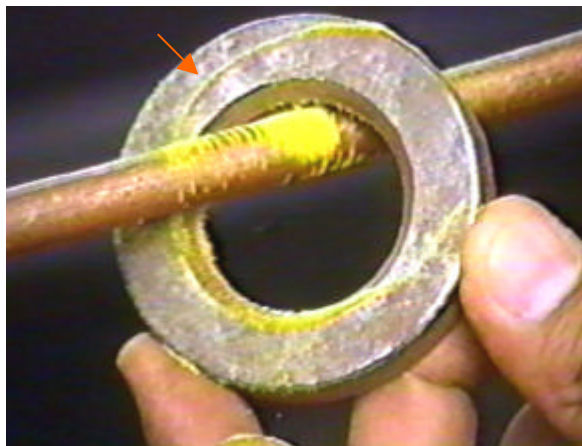
Técnica de inspeção por Condutor Central

Quando grandes diâmetros de peças devam ser inspecionadas, o condutor pode ser posicionado perto da superfície interna da peça, deslocado do centro.

Neste caso, as superfícies devem ser inspecionadas em incrementos, e a intensidade do campo magnético verificado com auxílio do padrão indicativo do campo para saber qual a extensão do arco da circunferência a ser considerada.

Em geral , a corrente elétrica de magnetização é determinada da mesma forma como descrita na técnica de **contato direto**, considerando que apenas um condutor passe internamente à peça. O campo magnético irá aumentar na proporção que o número de cabos condutores centrais passem internamente à peça. Como exemplo podemos citar, que se 6000 Ampéres são necessários para ensaiar uma peça usando um simples condutor central , então 3000 Ampéres serão requeridos para ensaiar a mesma peça usando 2 condutores centrais , ou 1200 Ampéres se usados 5 condutores centrais.

O uso do padrão indicativo de campo é sempre um requisito recomendado para certificação da intensidade do campo magnético gerado.



Indicação de trinca detectado pela técnica do condutor central. Observe a linha circular formada na superfície do anel pelo acúmulo do pó magnético.

(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

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 • Barra • Cabo Enrolado
Multidirecional	Indução e/ou passagem de Corrente elétrica	Combinação das Técnicas de campo Longitudinal com o Circular



Medidor típico de campo magnético utilizando a sonda de Hall. Pode medir de 10 até 30.000 Gauss , muito útil para verificação do valor do campo magnético efetivo na peça a ser inspecionada por partículas magnéticas ou ainda campos residuais.

(foto extraída do catálogo da Magnaflux)



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 remanescente poderá criar problemas, sendo necessário a desmagnetização da peça.

Podemos resumir as razões para desmagnetização de uma peça como sendo:

- 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 limalha 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 de trens de pouso nos instrumentos de navegação da aeronave.

Portanto, em razão destas interferências acima descritas, em alguns casos existem necessidades de desmagnetização das peças através da passagem destas por campos magnéticos alternados e decrescentes. Geralmente a passagem das peças por bobinas magnetizadas, são suficientes.

Quando peças ou equipamentos serão submetidos a tratamento térmico, estas não necessitam de serem desmagnetizadas, pois a temperatura elevada será capaz de remover o magnetismo residual. Esta temperatura é denominada **ponto Curie**, a tabela abaixo mostra este valor de temperatura para alguns materiais:

Material	Ponto Curie °C
Níquel	372
Ferro puro	774
Cobalto	1.131

Fonte: ABM - Aços Carbono e Aços Liga - Chiaverini

Quando elevamos a temperatura de um material acima da temperatura Curie, o comportamento destes passam a ser paramagnético. A temperatura Curie depende da liga do material.

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. Isto pode ser obtido fazendo a peça passar pelo interior de bobinas percorridas por corrente alternada.



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 borrifo 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 uma única vez.

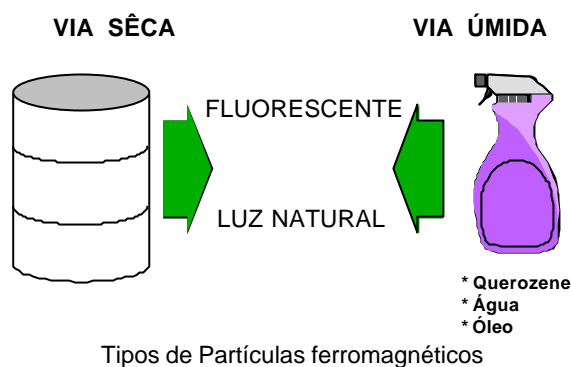
Na prática, o que faz é o inverso: o veículo da suspensão é adicionado aos poucos a um copo contendo o pó e no início em pouquíssima quantidade, com objetivo de permitir que seja bem misturadas todas as partículas.

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 pode ser realizada de acordo com a norma ASTM E-709, 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 0,4 ml** para as partículas fluorescentes, que são observadas sob luz ultravioleta (ou luz negra). Tais limites de concentração dependem da norma ou especificação aplicável.

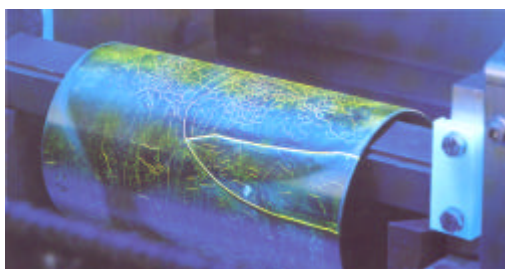


Escolha do Tipo das Partículas magnéticas

A escolha da cor das partículas fica associada ou definida em função da cor de fundo, cor da superfície da peça em exame, temperatura da superfície, posição da peça. Procuramos usar uma partícula cuja cor produza com a superfície o melhor contraste possível, garantido-se dessa forma maior sensibilidade visual. A temperatura pode ser um parâmetro para opção entre partículas via seca ou via úmida. O Código ASME Sec. V Art.7 estabelece que partículas via seca podem ser utilizadas em superfícies com temperatura até 315°C (600°F) e ainda que partículas via úmida podem ser utilizadas em superfícies com temperatura até $57,2^{\circ}\text{C}$ (135°F).

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.



Inspeção por partículas magnéticas fluorescentes de um anel contendo inúmeras trincas.

Foto extraída do catálogo da Karl Deutsch.

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 podendo variar até 50 μm , não necessitando de ser verificada a espessura real.

O uso da tinta de contraste atribui grande segurança ao ensaio devido ao contraste mantido em relação à cor das partículas magnéticas. No entanto, o procedimento técnico de ensaio por partículas magnéticas deve ser verificado/qualificado para certificar que a sensibilidade não está sendo prejudicada. Para tanto pode-se usar corpos de prova contendo indicações conhecidas, o próprio padrão oitavado do ASTM A -709.



Procedimento para Ensaio:

Seqüência básica para Aplicação do Ensaio:

- a) Preparação da Superfície ;
- b) Seleção do equipamento para magnetização e das partículas ferromagnéticas ;
- c) Planejamento do Ensaio ;
- d) Magnetização da peça ;
- e) Aplicação das partículas ;
- f) Eliminação do excesso de partículas na superfície ;
- g) Observação das indicações ;
- h) Avaliação e Registro dos Resultados.
- i) Desmagnetização

• **Preparação da Superfície:**

De acordo com a seqüência 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.

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 , Técnica 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.



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

(Foto cedida pela empresa VOITH SIEMENS)

- **Técnica do Campo Contínuo:**

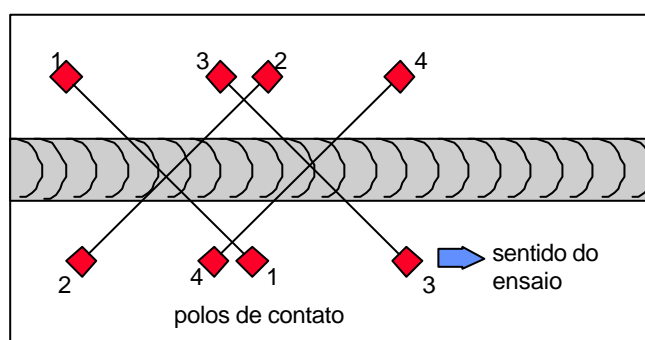
É uma técnica utilizada na maioria dos casos em materiais com baixa retentividade, onde a magnetização, aplicação do pó magnético, remoção do excesso de pó, e a observação das discontinuidades são realizadas seqüencialmente e simultaneamente, ou seja de forma contínua.

- **Técnica do Campo Residual:**

Nesta técnica, o material a ser inspecionado deve obrigatoriamente ter características de alta retentividade, pois as operações de magnetização, aplicação do pó magnético, remoção do excesso de pó, e a observação das discontinuidades são efetuadas de forma separadas e sucessivas. Em geral, apenas a técnica de contato direto para magnetização produz resultados satisfatórios com campos residuais acima de 70 A/m.

- **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 discontinuidades vamos começar a fazer o ensaio por um ponto e, para garantirmos que a inspeção foi adequada, capaz de detectar qualquer discontinuidade 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.



Esquema seqüencial opcional para ensaio de soldas, pela técnica de Eletrodos e Yoke.

A técnica de varredura descrita anteriormente é empregada na inspeção de peças utilizando-se de um loque 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 loque ou eletrodos, obtendo-se assim, uma varredura seqüencial e com garantia de inspeção em 100% da região de interesse, a posição dos pólos 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 a 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 valor adequado. O valor adequado para o campo magnético poderá, em alguns casos, ser verificado através de padrões indicativos de campo magnético, ou padrão para verificação do sistema de inspeção por partículas magnéticas citado pelo ASTM-E-1444



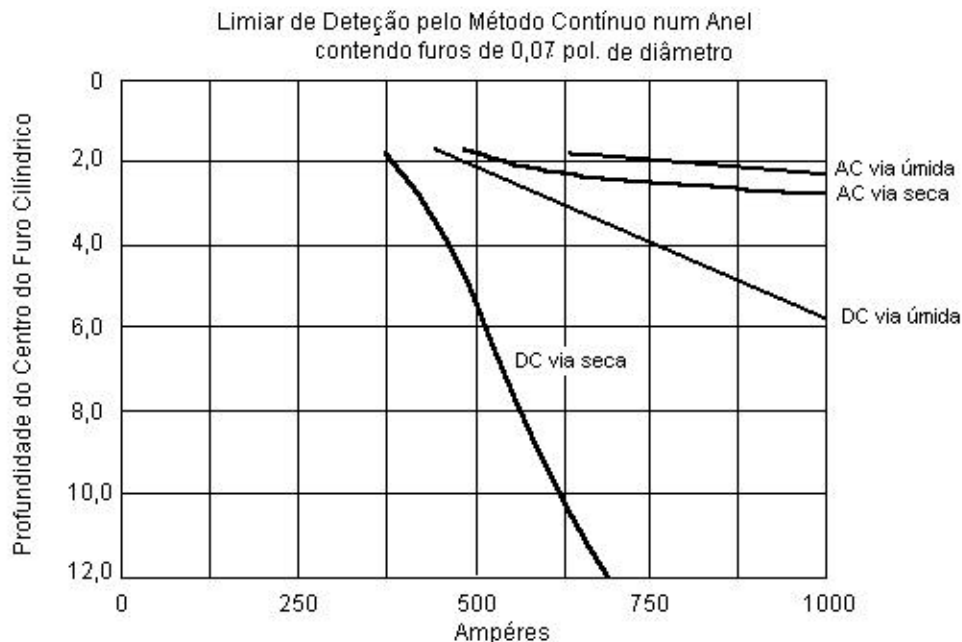
Padrão indicativo de Campo Magnético recomendado pelo Código ASME Sec.V Art.7 e ASTM - E 1444

Influência do tipo de Corrente Elétrica Seleccionada

A Corrente Elétrica Alternada: este tipo de corrente elétrica promove uma maior mobilidade das partículas, o que atribui uma maior sensibilidade para descontinuidades superficiais, com pouca penetração no material.

A Corrente Elétrica Contínua promovem pouca mobilidade das partículas, porém atribuem ao ensaio uma profundidade maior de detecção, sendo portanto mais indicada para descontinuidades subsuperficiais.

Estudos feitos com corpos de prova plano e circular contendo furos cilíndricos dispostos a diversas profundidades em relação à superfície mostraram que a sensibilidade de detecção destes defeitos artificiais, variam em função da magnitude e tipo da intensidade da corrente elétrica, da profundidade e do tipo de pó ferromagnético utilizado. O gráfico da figura abaixo mostra os dados obtidos na prática.



Fonte: "Principle of Magnetic Particle" Cap. 12 - C.E.Betz

É interessante notar que o gráfico acima demonstra na prática que o uso da técnica de magnetização por passagem de corrente elétrica retificada (DC) e pó ferromagnético via seca corresponde à técnica que melhor detecta descontinuidades subsuperficiais, que no caso foi de 2,0 a 12 mm de profundidade.

- **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.

Para facilitar a visualização das indicações, pode ser aplicado uma fina camada de tinta branca especial sobre a região a ser inspecionada, antes da aplicação das partículas ferromagnéticas.

• **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, caso disponha 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.



Técnica de inspeção de fundidos usando Yoke com pernas articuláveis
(Foto extraída do catálogo da Tiede)

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.

- **Desmagnetização**

Verificamos que alguns materiais possuem propriedades diferentes de retentividade magnética, assim conforme a aplicação deste o magnetismo residual contido na peça poderá provocar problemas das mais diferentes ordens.

Para comprovarmos o nível de magnetismo residual, pode ser utilizados aparelhos calibrados e especialmente projetados para isso, denominados **indicadores de campo residual** ou **gaussímetro**. Níveis da ordem de 3 a 8 Gauss de densidade de fluxo magnético residual são geralmente aceitáveis.



Calibração dos Equipamentos

A recomendação básica de todo sistema de garantia da qualidade, é que todos os instrumentos de medição, inspeção e 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 e/ou terem a sua distribuição de campo magnético mapeado (magnetograma). Em geral as normas e códigos estabelecem que os equipamentos de magnetização devem ser calibrados de forma periódica de acordo com os seguintes critérios:

- Freqüência : Os equipamentos contendo amperímetro devem ser calibrados no mínimo uma vez ao ano , ou quando ocorrer reparos elétricos ou danos.
- Procedimento: Os amperímetros podem ser verificados por comparação com um padrão rastreável a outro reconhecido. Leituras comparativas podem ser feitas no mínimo em três níveis de saída de corrente dentro da faixa usual.
- Tolerância: A medida realizada não deve variar mais do que $\pm 10\%$ do fundo da escala, relativa ao valor real da corrente.

É importante lembrar ao leitor que as calibrações e ajustes são válidos se padrões calibrados e rastreáveis a entidades reconhecidas usados nestes processos , forem utilizados.



Instrumentos de medição/ indicação de campo magnético residual denominado Gaussímetro. Quando colocado sobre a superfície do material inspecionado, o instrumento deve indicar , com pouca precisão , o campo magnético residual

(foto extraída do catálogo da Magnaflux)

Critério de Aceitação das Indicações:

Descontinuidades próximas à superfície são indicadas pela retenção das partículas ferromagnéticas na posição da descontinuidade, entretanto marcas de usinagem, e irregularidades superficiais podem produzir falsas indicações, devendo ser limpas ou reinspecionadas para saber se descontinuidades inaceitáveis estão presentes. O critério para análise das indicações deve estar baseado no Código de projeto e construção do componente inspecionado.

Crítério de Aceitação conforme o Código ASME

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

Avaliação das indicações:

Uma indicação é uma evidência de uma imperfeição mecânica. Somente indicações com dimensões maiores que 1/16 pol. (1,6 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.

Aceitação:

Toda as superfícies devem estar livres de :

- (a) indicações relevantes lineares ;
- (b) indicações relevantes arredondadas maiores que 3/16 pol. (4,5 mm) ;
- (c) quatro ou mais indicações relevantes arredondadas em linha separadas por 1/16 pol. (1,6 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 .

Critério de Aceitação de Soldas Conforme o Código AWS D1.1

O critério de aceitação conforme AWS D1.1 é o mesmo para inspeção visual e que apresentamos a seguir,

Tradução livre da Tabela 6.1 do AWS D1.1: 2000

Categoria da Descontinuidade e Critério de Inspeção	Conexões não tubulares carregadas estaticamente	Conexões não tubulares carregadas ciclicamente	Conexões Tubulares (para todos os tipos de carregamento)										
(1) Proibição de Trincas Qualquer trinca é inaceitável, independente do tamanho e localização	X	X	X										
(2) Fusão entre metal base e solda Deve existir fusão entre a parte adjacente do metal base e a solda	X	X	X										
(3) Cratera Todas as crateras devem ser preenchidas para estabelecer a dimensão específica da solda, exceto nos terminais de soldas de filete intermitente externas ao seus comprimentos efetivos	X	X	X										
(4) Perfil das soldas O perfil das soldas devem estar conforme 5.24 da AWS D1.1	X	X	X										
(5) Período de Inspeção Inspeção visual das soldas em todos os aços podem iniciar imediatamente após a ter sido solda completada e resfriada na temperatura ambiente. Critério de aceitação para aços ASTM A514, A517 e A 709 Grau 100 e 100W devem estar baseados na inspeção visual realizada não antes que 48 horas da solda estar completada.	X	X	X										
(6) Soldas Subdimensionadas A dimensão da solda de filete em qualquer trecho contínuo pode ser menor que o valor nominal especificado (L) sem correção pelos seguintes valores de (U): <table style="margin-left: 40px; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L</td> <td style="text-align: center;">U</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Dimensão nominal específica da solda (mm)</td> <td style="text-align: center;">Redução permitida de L (mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 5</td> <td style="text-align: center;">≤ 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">$\leq 2,5$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 8</td> <td style="text-align: center;">≤ 3</td> </tr> </table> Em todos os casos , a porção de sobreposição não deve exceder a 10% do comprimento da solda. Em soldas de flanges , sobreposição não é permitida nos terminais para um comprimento igual a duas vezes a largura do flange.	L	U	Dimensão nominal específica da solda (mm)	Redução permitida de L (mm)	≤ 5	≤ 2	6	$\leq 2,5$	≥ 8	≤ 3	X	X	X
L	U												
Dimensão nominal específica da solda (mm)	Redução permitida de L (mm)												
≤ 5	≤ 2												
6	$\leq 2,5$												
≥ 8	≤ 3												

Tradução livre da Tabela 6.1 do AWS D1.1: 2000 (CONT.)

Categoria da Descontinuidade e Critério de Inspeção	Conexões não tubulares carregadas estaticamente	Conexões não tubulares carregadas ciclicamente	Conexões Tubulares (para todos os tipos de carregamento)
(7) Mordedura (A) Para materiais menores que 1 pol. (25,4 mm) de espessura, mordeduras não devem exceder a 1/32 pol. (1 mm) , exceto que um máximo de 1/16 pol. (1,6 mm) sem correção para um comprimento acumulado de 2 pol. (50 mm) em qualquer 12 pol. (305 mm). Para materiais iguais e maiores que 1 pol. de espessura , mordeduras não devem exceder a 1/16 pol. (1mm) para qualquer comprimento de solda.	X		
(B) Em membros primários , mordeduras não devem ser maiores que 0,01 pol. (0,25 mm) de profundidade quando a solda for transversal ao esforço de tensão sob qualquer condição de projeto de carga. Mordeduras não devem ser maiores que 1/32 pol. (1 mm) em profundidade para todos os casos.		X	X
(8) Porosidade (A) Juntas de topo com penetração total transversal ao esforço de tensão projetada não deve ter porosidade visível. Para outras soldas com chanfros e soldas de filete a soma dos diâmetros das porosidades visíveis de 1/32 pol. (1 mm) ou maior não deve exceder 3/8 pol. (19 mm) em qualquer 12 pol. (305 mm) de comprimento de solda .	X		
(B) A frequência da porosidade em soldas de filete não deve exceder uma em cada 4 pol. (100 mm) de comprimento de solda e com máximo diâmetro de 3/32 pol. (2 mm). Exceção: para juntas de filete em refôrços conectados a parte principal , a soma dos diâmetros da porosidade não deve exceder a 3/8 pol. (10 mm) em qualquer polegada linear de solda e não deve exceder 3/4 pol. (19 mm) em qualquer 12 pol. (305 mm) de comprimento de solda.		X	X
(C) Juntas de topo com penetração total transversal ao esforço de tensão projetada não deve ter porosidade visível . Para outras soldas com chanfros, a frequência da porosidade não deve exceder uma em 4 pol. (100 mm) de comprimento e o máximo diâmetro não deve exceder a 3/32 pol. (2 mm) .		X	X

1. Um "X" indica aplicabilidade para o tipo da junta ; a área sombreada indica não aplicabilidade

Conforme pode ser observado, a tabela acima apresenta as dimensões máximas das indicações permitidas para a inspeção visual e para testes superficiais, não fazendo nenhuma distinção entre os métodos (partículas magnéticas ou líquidos penetrantes), e depende da condição de carga da peça a ser inspecionada. Sendo assim, fica sendo muito difícil a aplicação desta especificação, pois a indicação por partículas magnéticas é observada através do acúmulo do pó ferromagnético sobre a descontinuidade e necessariamente a indicação é maior que a descontinuidade, o que não é considerado pelo critério de aceitação acima. Assim devemos rejeitar as indicações com dimensões acima do especificado.

Registro das Indicações

O registro das indicações produzidas por partículas magnéticas não é uma tarefa simples de ser elaborada. Quando o registro é requerido por especificações ou procedimento escrito, não somente a forma geométrica das indicações deverão ser registradas no relatório, como também a localização física destas na peça ensaiada, para uma perfeita rastreabilidade entre o documento e a peça. As formas possíveis de serem registradas as indicações produzidas por partículas magnéticas são as recomendadas pela norma ASTM E-1444, que segue:

Descrição escrita

É a descrição escrita no relatório de ensaio da direção, comprimento, e número das indicações num croquis da peça.

Fita transparente

Para partículas via seca, pode ser utilizado uma fita adesiva transparente aplicada sobre a indicação, em que as partículas irão ficar aderidas, podendo ser transferidas para o relatório contendo informações adicionais sobre cada indicação.

Spray plástico

Uma outra forma de fazer com que as partículas ferromagnéticas fiquem aderidas é através da aplicação de um spray de forma a ser obtido um filme plástico transparente sobre a superfície inspecionada. O filme plástico contendo as indicações é removido da peça e transferido para o relatório de ensaio, introduzindo maiores detalhes e informações da inspeção.

Processo fotográfico

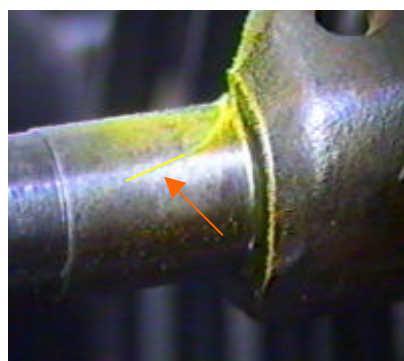
Uma das formas mais utilizadas para registro das indicações produzidas por partículas magnéticas é a utilização da fotografia ou vídeo. Este método permite reproduzir com mais fidelidade a disposição das indicações de um modo geral, podendo ainda ser transferidas ao relatório de ensaio. A fotografia pode ser por meio de filme fotográfico ou pela utilização de câmaras digitais que agilizam mais o processo, pois não requer revelação e permite imprimir as fotos diretamente no relatório. O inconveniente deste método é que o inspetor necessita de ter noções de fotografia para maior nitidez do registro.

É importante lembrar ao leitor que o requisito de registro de indicações produzidas por partículas magnéticas são incomuns nesta inspeção, pois dada a facilidade com que a técnica não destrutiva pode ser aplicada, os reparos podem ser efetuados de imediato, reinspecionando a seguir, evitando assim o registro detalhado das indicações produzidas. A prática de registro é mais comum quando se trata de assistência técnica e manutenção, onde o relatório do ensaio contendo todas as indicações serão objetos integrantes do orçamento para reparo ou ainda cobertura proporcionada pela garantia da peça.



Equipamento para iluminação por luz ultra-violeta (luz negra) para uso com partículas magnéticas fluorescentes. De acordo com a norma aplicável o nível mínimo da intensidade de luz na superfície deve ser de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, medido com instrumento calibrado e adequado a este tipo de luz.

(Foto extraída do catálogo da Magnaflex)



Indicação típica de trinca num eixo automotivo, obtido pela técnica de magnetização por contato direto, método via seca com partículas visíveis com luz branca.

(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Segurança no Ensaio

A segurança no manuseio das partículas magnéticas, secas ou úmidas, óleo, condicionadores, solventes, devem ser descritos pelos fabricantes destes produtos, no entanto devemos chamar a atenção para algumas características ligadas à segurança no manuseio, tais como:

Inflamabilidade

O ponto de fulgor dos produtos envolvidos no ensaio devem ser objetos de testes pelos fabricantes destes, para prevenir a combustão de produtos na área de inspeção.

Riscos de Inalação

Precauções contra inalação dos produtos, principalmente aqueles que serão pulverizados, ou ainda proteção para pele, e exposição dos olhos. Estas instruções devem ser relatadas pelos fabricantes destes produtos.

Riscos à eletricidade

Os equipamentos de magnetização devem sofrer manutenção periódica no sentido de prevenir quanto ao risco de choques elétricos, e ainda abertura de arcos e ignição.

Luz Ultravioleta

Como foi visto, é recomendado uma intensidade de luz negra sobre a superfície da peça de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, e este deve também ser o limite máximo para exposição da pele e olhos. Filtros trincados devem ser trocados imediatamente.

Adaptação ao ambiente escurecido

O inspetor que realizará inspeção por partículas magnéticas usando partículas fluorescentes, devem aguardar no mínimo 1 minuto após de ter entrado numa área escurecida para que seus olhos se adaptem ao baixo nível de iluminação antes de iniciar o ensaio.



Questões para Estudo

Nas questões abaixo , marque a alternativa correta:

- 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 partículas magnéticas 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 partículas magnéticas , são causadas quando as partículas ferromagnéticas se aglomeram , no seguinte caso:
 - a) na existência de um desvio das linhas de campo magnético, na região da descontinuidade superficial ou subsuperficial.
 - 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 partículas magnéticas ?
 - 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 eletroímã , denomina-se :
 - a) eletrodos
 - b) Yoke
 - c) bobina
 - d) magnetômetro

- 6) Os campos de magnetização utilizados para a inspeção por partículas magnéticas 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 subseqüentes de soldagem ou usinagem forem previstas.
a) desmagnetizar
b) esmerilhar
c) reinspecionar com líquidos penetrantes
d) lavar com ácido
- 9) A condição superficial de uma peça ser ensaiada por partículas magnéticas , é importante pois:
a) a mobilidade das partículas sobre a superfície pode ser dificultada
b) a presença de carepas ou sujeira pode mascarar os resultados.
c) a presença de graxa ou óleo pode impedir a mobilidade das partículas magnéticas.
d) todas as alternativas são corretas.
- 10)Uma vantagem do ensaio por partículas magnéticas sobre os líquidos penetrantes é que:
a) O líquido penetrante só detecta descontinuidades abertas para as superfícies e as partículas magnéticas detecta aquelas subsuperficiais.
b) O ensaio por partículas magnéticas não necessita de preparação de superfície.
c) O ensaio por partículas magnéticas pode detectar descontinuidades internas em geral.
d) O ensaio por partículas magnéticas não requer limpeza pós ensaio.
- 11)Os sistemas existentes para magnetização da peça para o ensaio por partículas magnéticas são:
a) bobina ; eletrodos
b) eletrodos ; bobina e Yoke
c) eletrodos ; bobina ; condutor central e Yoke
d) eletrodos ; bobina ; condutor central ; placas paralelas; Yoke ; ponteiras.

- 12)As etapas no processo de inspeção contínua por partículas magnéticas são:
- a) aplicação do pó magnético;magnetização ;remoção do excesso de pó ; observação das indicações.
 - b) preparação da superfície; aplicação do pó magnético ; magnetização ; remoção do excesso de pó observação das indicações.
 - c) preparação da superfície ; magnetização ; observação das indicações
 - d) preparação da superfície ; magnetização; aplicação do pó magnético; remoção do excesso de pó magnético ; observação das indicações.
- 13)Qual das alternativas é verdadeira ?
- a) o ensaio por partículas magnéticas pode ser aplicada em altas temperaturas até 300 C .
 - b) o ensaio por partículas magnéticas é de aplicação mais rápida que por líquidos penetrantes.
 - c) o ensaio por partículas magnéticas é de fácil automatização.
 - d) todas as alternativas são verdadeiras.
- 14)Qual dos métodos abaixo corresponde ao de maior sensibilidade para a detecção de descontinuidades por partículas magnéticas ?
- a) via seca , com pó magnético visível com luz natural.
 - b) via úmida , com pó magnético visível com luz negra.
 - c) via úmida , com pó magnético visível com luz natural.
 - d) via seca , com pó magnético visível com luz negra.
- 15)Os veículos que podem ser usados para a aplicação dos pó magnéticos são
- a) água
 - b) querosene
 - c) óleo
 - d) todas as alternativas são corretas
- 16)Os tipos de pó magnéticos que oferecem maior sensibilidade , encontrados no mercado são:
- a) via úmida vermelhos
 - b) via seca fluorescentes
 - c) via úmida fluorescentes
 - d) via seca amarelos
- 17)O aparelho de magnetização Yoke , de acordo com ASME Sec.V deve ser calibrado através da elevação de carga e com registro documentado na frequência de:
- a) 4,5 kg com C.A , uma vez por ano
 - b) 18 kg com C.C , uma vez por ano
 - c) 4,5 kg com C.C , a cada uso
 - d) as alternativas (a) e (b) são corretas.

- 18) Um dos problemas em se magnetizar uma peça através do uso dos eletrodos é que:
- a) existe uma dificuldade em se aplicar o pó magnético
 - b) os pontos de contato podem danificar a superfície da peça
 - c) é difícil a preparação da superfície nesta técnica
 - d) o campo magnético produzido é insuficiente
- 19) A magnetização longitudinal pode ser obtida através:
- a) injetando corrente elétrica na peça.
 - b) do uso dos Yokes
 - c) do uso de espiras envoltivas na peça
 - d) as alternativas (b) e (c) são corretas
- 20) O padrão oitavo da norma ASME Sec.V Art. 7, possui a finalidade de:
- a) indicar quantitativamente o valor do campo magnético.
 - b) verificar até que profundidade o campo magnético é eficaz.
 - c) verificar a direção do campo magnético aplicado.
 - d) indicar a presença de campo magnético.
- 21) Num reparo com solda numa chapa de aço carbono, onde o material depositado não é magnético a inspeção por partículas magnéticas neste local irá:
- a) causar uma magnetização com alta retentividade na região de solda.
 - b) causar falsas indicações na região de transição entre metal base e metal depositado.
 - c) provavelmente detectar fissuras na região de transição.
 - d) todas as alternativas podem ocorrer
- 22) Na prática, um dos problemas da aplicação da inspeção por partículas magnéticas em comparação com líquidos penetrantes é que:
- a) a partícula magnética é um método menos sensível que o penetrante.
 - b) a visualização das indicações produzidas por partículas magnéticas é mais difícil de serem visualizadas que por líquidos penetrantes.
 - c) o método por partículas magnéticas necessita de maior cuidado na preparação das superfícies.
 - d) o método por partículas magnéticas é mais perigoso que o penetrante.
- 23) Qual das afirmações abaixo é verdadeira ?
- a) O ensaio por partículas magnéticas só é aplicável em materiais ferromagnéticos.
 - b) Os materiais ditos diamagnéticos não são atraídos pelo ímã.
 - c) A permeabilidade magnética não é constante para um determinado material.
 - d) todas as alternativas são verdadeiras.
- 24) Qual das seguintes alternativas é uma vantagem do ensaio por partículas magnéticas ?

- a) não necessita de preparação da superfície.
 - b) as indicações se produzem diretamente sobre as superfícies, podendo detectar descontinuidades superficiais e sub-superficiais.
 - c) pode ser aplicado em qualquer material , desde que seja condutor.
 - d) não requer procedimentos especiais após o ensaio realizado.
- 25) Em geral , os aparelhos Yokes eletromagnéticos são utilizados na inspeção :
- a) em peças cilíndricas
 - b) em peças acabadas , onde o contato elétrico não é permitido
 - c) em equipamentos com risco de incêndio ou explosão
 - d) as alternativas (b) e (c) são corretas.
- 26) No ensaio por partículas magnéticas a escrita magnética é uma indicação :
- a) relevante e reprovável.
 - b) não relevante , associado a materiais com características de alta retentividade.
 - c) que somente aparece quando aplicada a técnica dos eletrodos.
 - d) não há este tipo de indicação
- 27) De acordo com o ASME Sec. V Art.7, a temperatura máxima de aplicação das partículas magnéticas via úmida é de:
- a) 300 C
 - b) 57,2 C.
 - c) de acordo com o flash point do veículo
 - d) N.D.A
- 28) O movimento resultante do fluxo de elétrons através de um condutor , define :
- a) campo magnético
 - b) corrente elétrica
 - c) eletroímã
 - d) resistência elétrica
- 29) No método de inspeção por partículas magnéticas via úmida , os parâmetros que devem ser verificados antes do início do ensaio são:
- a) se a superfície da peça está adequadamente preparada e foi umedecida com o veículo.
 - b) se a concentração do pó magnético no veículo , está de acordo com o especificado.
 - c) se a temperatura da peça está abaixo de 200 C
 - d) se existe contaminação do pó magnético com materiais não magnéticos.

- 30) Em geral para a detecção de descontinuidades superficiais na inspeção por partículas magnéticas, o tipo de corrente elétrica magnetizante recomendada é:
- alternada
 - contínua
 - retificada de meia onda
 - trifásica retificada
- 31) A operação de desmagnetização, deve ocorrer em:
- peças submetidas a inspeção por partículas magnéticas antes de sofrerem tratamento térmico.
 - todas as peças que sofreram inspeção por partículas magnéticas.
 - peças submetidas ao ensaio por partículas magnéticas, que serão instaladas próximo a instrumentos, que podem sofrer desvios ou interferência sob campos magnéticos.
 - todas as alternativas são verdadeiras.
- 32) Qual das afirmações abaixo é verdadeira:
- a forma ou posição da descontinuidade não afeta a detectabilidade por partículas magnéticas.
 - não é recomendado o uso da técnica de eletrodos para inspeção de peças usinadas acabadas.
 - não é permitido o jateamento como auxílio na preparação inicial da superfície
 - nenhuma das alternativas é correta
- 33) Em geral para a inspeção de soldas planas pela técnica de eletrodos, a avaliação da intensidade da corrente é feita baseada:
- na espessura da chapa
 - no tipo de material
 - na distância entre os pontos de contato.
 - alternativas (a) e (c) são corretas
- 34) Na técnica de ensaio por partículas magnéticas, denominada residual, é caracterizada por:
- as operações de magnetização e aplicação do pó magnético é feita seqüencialmente, sem interrupção da magnetização.
 - as operações de magnetização e aplicação do pó magnético é feita separadamente, com interrupção da magnetização.
 - somente é aplicável em materiais com alta retentividade
 - as alternativas (b) e (c) são corretas
- 35) A técnica de inspeção por partículas magnéticas que ao ser aplicada produz faíscas capaz de deixar marcas na superfície do metal é denominada:

- a) técnica do yoke
 - b) técnica da bobina
 - c) técnica dos eletrodos
 - d) técnica do condutor central
- 36) De acordo com o Código ASME Sec. V SE-709 , a concentração das partículas via úmida visíveis com luz branca , a serem usadas com água , deve ser de:
- a) de 1,2 a 2,4 ml
 - b) de 0,1 a 0,4 ml
 - c) de 1,5 a 3,0 ml
 - d) de 2,0 a 5,0 ml
- 37) Uma peça magnetizada com campo magnético circular, no ensaio por partículas magnéticas deverá mostrar:
- a) descontinuidades sub-superficiais
 - b) descontinuidades dos tipo de inclusão não metálicas.
 - c) descontinuidades circulares
 - d) descontinuidades longitudinais à peça.
- 38) Qual das seguintes descontinuidades são típicas para a detecção por partículas magnéticas ?
- a) trincas ou falta de fusão superficiais , em soldas ferromagnéticas.
 - b) bolhas internas de gás em fundidos ferromagnéticos
 - c) gotas frias
 - d) porosidade, inclusões e trincas em materiais ferromagnéticos
- 39) As características magnéticas principais das partículas ferromagnéticas , são:
- a) elevada permeabilidade e elevada retentividade.
 - b) elevada retentividade e baixa permeabilidade
 - c) elevada permeabilidade e baixa retentividade
 - d) baixa retentividade e elevada retentividade
- 40) Quais das afirmações abaixo é verdadeira ?
- a) Não existe limitações ou formas das peças a serem inspecionadas por partículas magnéticas.
 - b) A maior vantagem do uso de veículo oleoso para o ensaio por partículas magnéticas via úmida é a proteção contra a corrosão das peças.
 - c) O método de inspeção por partículas magnéticas em materiais ferromagnéticos, é mais sensível que por líquidos penetrantes
 - d) todas as alternativas são verdadeiras
- 41) Os tipos de correntes elétricas de magnetização que podem ser usadas nas máquinas para inspeção por partículas magnéticas são:

-
- a) corrente alternada retificada de meia onda com fase simples
 - b) corrente alternada retificada de onda completa trifásica
 - c) corrente contínua
 - d) todas as alternativas são corretas
- 42)Quais dos veículos abaixo é o mais indicado para ser usado na inspeção por partículas magnéticas via úmida pela técnica de eletrodos ?
- a) querosene
 - b) óleo
 - c) água + antioxidante
 - d) N.D.A
- 43)De acordo com o Código ASME Sec.V Art.7 , qual a corrente de magnetização necessária para inspecionar por partículas magnéticas , usando a técnica dos eletrodos, numa junta soldada de topo com espessura de 38 mm ?
- a) 200 a 250 A , com 25 mm de espaçamento dos eletrodos
 - b) 200 a 250 A , com 50 mm de espaçamento dos eletrodos
 - c) 90 a 110 A , com 25 mm de espaçamento dos eletrodos
 - d) 100 a 125 A , com 50 mm de espaçamento dos eletrodos
- 44)De acordo com o ASME Sec. V Art.7 , a corrente de magnetização a ser utilizada com o Yoke deverá ser:
- a) contínua
 - b) alternada retificada de onda completa
 - c) alternada
 - d) trifásica
- 45)De acordo com o ASME Sec.V Art.7 , a inspeção de uma junta soldada deve:
- a) ser inspecionada duas vezes numa mesma região, com a direção do campo do primeiro ensaio, perpendicular ao segundo ensaio.
 - b) sofrer tratamento térmico antes do ensaio
 - c) ser utilizada somente partículas magnéticas via úmida
 - d) as alternativas (a) e (c) são corretas
- 46)De acordo com ASME Sec.VIII Div.1, Ap. 6, quais descontinuidades apresentadas na fig.1 corresponde a forma linear?
- a) 1,2,3 e 4
 - b) 2,3,e,5
 - c) 2 e 5
 - d) 1 e 4

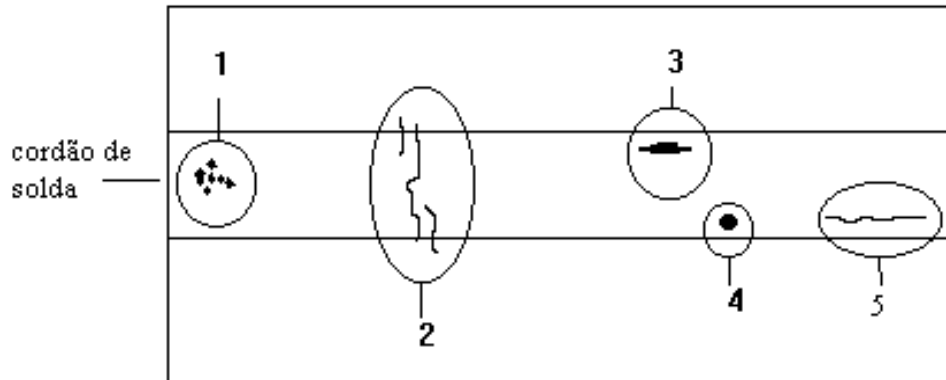
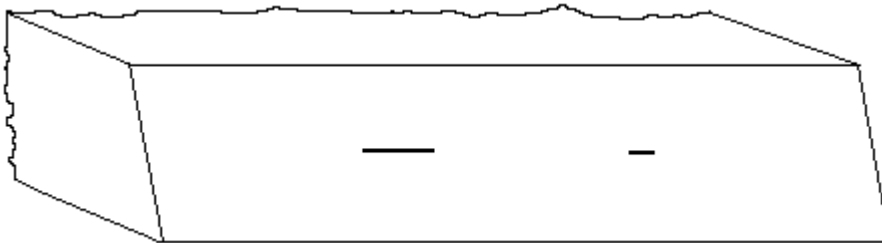


Fig. 1

- 47) De acordo com ASME Sec.VIII Div.1, Ap. 6, quais descontinuidades apresentadas na fig.1 corresponde a forma arredondada ?
- 1, 3 e 4
 - 2, 3, e, 5
 - 2 e 5
 - 1 e 4
- 48) De acordo com ASME Sec.VIII Div.1, Ap. 6, quais descontinuidades apresentadas na fig.1 são reprovadas?
- 1, 2, 3 e 5
 - 2, 3, e, 5
 - 2 e 5
 - 1 e 4
- 49) De acordo com ASME Sec.VIII Div.1, Ap. 6, quais descontinuidades apresentadas na fig.1 são aprovadas?
- 1 e 5
 - 3 e 4
 - 4
 - Nenhuma delas
- 50) Quanto aos requisitos de calibração de equipamento de acordo com ASME Sec.V Art.7, temos que:

- a) os equipamentos contendo amperímetros não necessitam de calibração
 - b) os equipamentos contendo amperímetros necessitam calibração pelo menos 1 vez por ano.
 - c) os equipamentos contendo amperímetros podem ser calibrados por qualquer padrão conhecido
 - d) os equipamentos contendo amperímetros devem ser calibrados 2 vezes ao ano
- 51) Quando aplicamos um campo magnético externo variável numa peça ferromagnética, esta se magnetiza, até o ponto de saturação. Ao desligarmos o campo magnético externo, o que ocorre com a peça ?
- a) a peça perde o magnetismo
 - b) a peça perde o magnetismo, porém permanece aquecida
 - c) a saturação magnética permanece inalterada
 - d) o magnetismo da peça reduz no mesmo sentido, porém um resíduo magnético sempre permanece na peça.
- 52) O croquis abaixo representa o resultado do ensaio por partículas magnéticas no chanfro para soldagem. Na sua opinião, de acordo com AWS D1.1, estas indicações devem :



- a) ser reprovadas e reparadas
- b) ser aprovadas
- c) ser submetidas a ensaio complementar
- d) ser submetidas para avaliação do Cliente



Gabarito das Questões

Questão	Resposta	Questão	Resposta	Questão	Resposta
1	d	21	b	41	d
2	d	22	b	42	c
3	d	23	d	43	b
4	a	24	b	44	c
5	b	25	d	45	a
6	c	26	b	46	b
7	b	27	b	47	d
8	a	28	b	48	a
9	d	29	b	49	c
10	a	30	a	50	b
11	c	31	c	51	d
12	d	32	b	52	a
13	d	33	d		
14	b	34	d		
15	d	35	c		
16	c	36	a		
17	d	37	d		
18	b	38	a		
19	d	39	c		
20	c	40	d		



Obras Consultadas

1. American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code , Section V , 1998 Edition ;
2. Leite, Paulo G.P , “Curso de Ensaios Não Destrutivos” ,8a. edição , Associação Brasileira de Metais-ABM , 1966 ;
3. American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code , Section VIII Div.1, 1998 Edition ;
4. Chiaverini, Vicente – Aços Carbono e Aços Liga – Publicação da Associação Brasileira de Metais, 1965
5. Stegmann, Dieter - Fundamentos do Método de Correntes Parasitas , Scientific Series of the International Bureau , Hannover, Alemanha 1990
6. Betz,C.E - Principles of Magnetic Particles , Magnaflux Corporation, Fev./67, Illinois , USA



DIREITOS RESERVADOS À PUBLICAÇÃO E VENDAS
COM AUTORIZAÇÃO DO AUTOR.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS
Rua Guapiaçu 05 , 04024-020 , São Paulo / SP
Tel: 011-5071-0400 , e-mail : abende@abende.org.br

