

Partículas Magnéticas

SUMÁRIO

- 1- Objetivo**
- 2- Magnetismo**
- 3- Classificação Magnética dos Materiais**
- 4- Curva de magnetização e desmagnetização (Curva de Histerese)**
- 5- Tipos, Métodos e Técnicas de Magnetização**
- 6- Tipos de Partículas Magnéticas**
- 7- Tipos de Corrente Elétrica de Magnetização**
- 8- Desmagnetização**
- 9- Limpeza Final**

1. OBJETIVO

O ensaio por Partículas Magnéticas, tem por objetivo detectar discontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos, sendo que essas discontinuidades podem ser trincas, dobra, inclusões, falta de fusão, etc.

O ensaio por Partículas Magnéticas pode ser realizado em materiais nos mais variados processos, em processo de fabricação (bruto), materiais acabados e semi-acabados, baseando-se em um procedimento e na norma específica.

2. MAGNETISMO

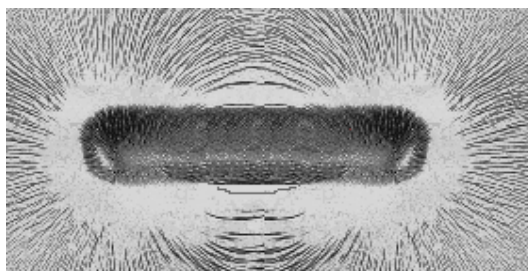
Há séculos observou-se que determinadas pedras tinham propriedades de atrair pedaços de ferro ou interagir entre si, essas pedras foram chamadas de "*imãs naturais*", e os fenômenos de atração e repulsão de "*fenômenos magnéticos*". Essas pedras correspondem a um óxido de ferro ($Fe_3 O_4$) denominado **Magnetita**.

Mais tarde "OERSTED" descobriu que uma corrente elétrica passada por um fio condutor gerava um campo magnético, essa descoberta, é a descoberta da relação entre o campo magnético e a corrente elétrica.

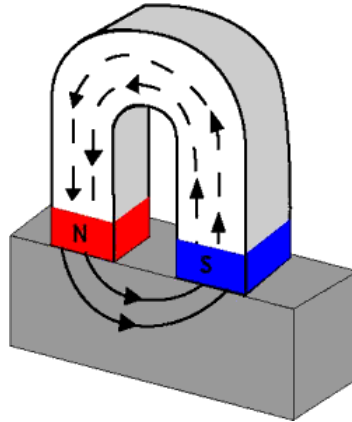
Atualmente são utilizados os imãs artificiais, ou seja, os equipamentos que utilizam uma corrente elétrica para obter magnetismo, devido à vantagem e o maior poder atrativo, podendo se adaptar da melhor forma ao tipo de uso.

CAMPO MAGNÉTICO

Define-se como sendo campo magnético "toda região próxima ou em torno de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica, ou em torno de um imã". Para melhor entender, basta colocar um papelão sobre um imã em forma de barra, espalhar limalha fina de ferro sobre o papelão, e visualizar como a limalha distribui-se uniformemente segundo as linhas de indução magnética. O conjunto dessas linhas de indução denomina-se "espectro magnético", e as extremidades chamadas de dipolos (dipolo norte e dipolo sul).

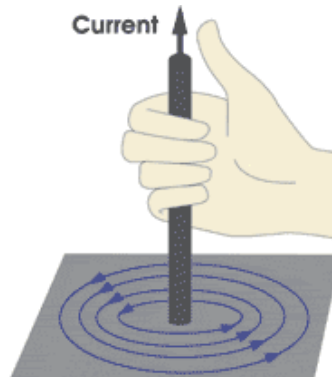


OBS: Convencionou-se que as linhas de indução magnética, "saem" do pólo norte e "chegam" ao pólo sul. Ex:



REGRA DA MÃO DIREITA

Com o polegar da mão direita indicando o sentido da corrente, e os outros dedos envolvendo o condutor indicam o sentido das linhas de indução magnética que envolve o condutor, como mostra a figura abaixo:



3. CLASSIFICAÇÃO MAGNÉTICA DOS MATERIAIS

Os materiais de um modo geral se classificam em três grandes grupos, segundo a influência que venham sofrer em função do campo magnético:

- Materiais Ferromagnéticos;
- Materiais Paramagnéticos;
- Materiais Diamagnéticos.

Materiais Ferromagnéticos: Permeabilidade (μ) > 1: são materiais fortemente atraídos por uma força magnetizante, ou por um ímã. Ex: Ferro, Cobalto e quase todos os tipos de aços. São ideais para o ensaio de Partículas Magnéticas.

Materiais Paramagnéticos: Permeabilidade (μ) = 1: são materiais levemente atraídos por uma força magnetizante, ou por um ímã. Ex: Platina, Alumínio, Cromo, Estanho, Potássio. Não são recomendados para o ensaio de Partículas Magnéticas.

Materiais Diamagnéticos: Permeabilidade (μ) < 1: são materiais levemente repelidos por uma força magnetizante, ou por um ímã. Ex: Prata, Zinco, Chumbo, Cobre, Mercúrio. Não é aplicável o ensaio de Partículas Magnéticas.

Retentividade

É a habilidade que o material tem em reter parte do magnetismo, após a interrupção da força magnetizante.

Força Coercitiva

É a magnetização inversa, que se aplicada no material anula o magnetismo residual.

Relutância

Oposição ou dificuldade de se estabelecer o campo magnético. Um material que possui alta permeabilidade terá baixa relutância.

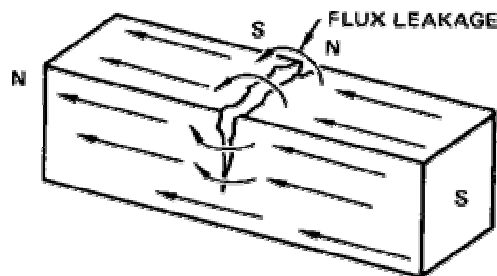
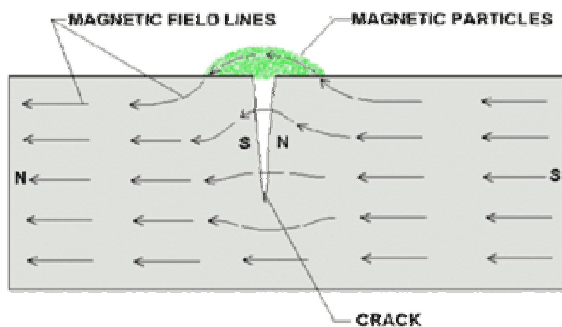
Magnetismo Remanente

Quantidade de magnetismo retido no material após a desmagnetização.

Campo de fuga

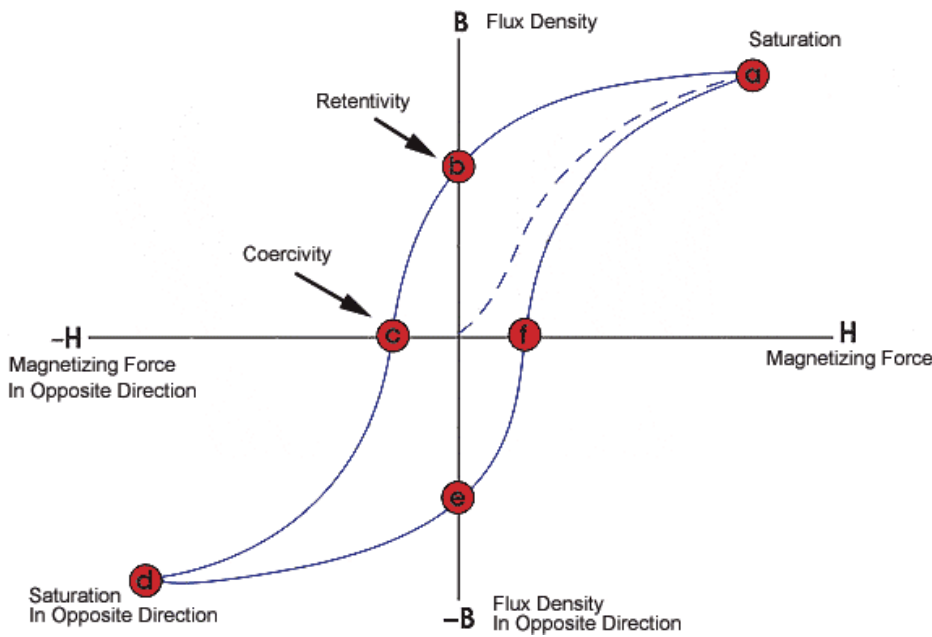
Originam-se quando as linhas de força do campo magnético, são perturbadas por uma descontinuidade (trinca). Quando aplicamos as Partículas Magnéticas elas se acumulam em torno do campo de fuga, ou seja, se acumulam para facilitar a passagem do campo magnético e compensar o vazio existente, devido à falta de continuidade mecânica do material. Podemos dizer que o ensaio por Partículas Magnéticas é um ensaio detector de campos de fuga, assim toda descontinuidade como trincas, escórias, falta de fusão, porosidade, inclusões, e etc, possuem características bem diferentes do metal base, o que atribui ao ensaio grande sensibilidade de detecção.

Para podermos detectar com precisão um campo de fuga, ele deve estar o mais perpendicular possível ao plano formado pela força magnetizante.



4. CURVA DE MAGNETIZAÇÃO E DESMAGNETIZAÇÃO (CURVA DE HISTERESE)

Essa curva é usada para indicar a magnetização e desmagnetização do material. Cada tipo de material tem uma permeabilidade, essa permeabilidade pode ser determinada pelo aumento da força magnetizante até o material alcançar o seu ponto de "saturação". O ponto de saturação, é o ponto onde o aumento da força de magnetização não exerce mais nenhuma influência sobre o material. A figura abaixo mostra detalhadamente esses pontos.



Quando a curva de Histerese se apresenta "*larga*", indica que esse material é um material difícil de magnetizar, ou seja, é um material com baixa permeabilidade, alta retentividade, alta força coercitiva, alta relutância e alto magnetismo residual.

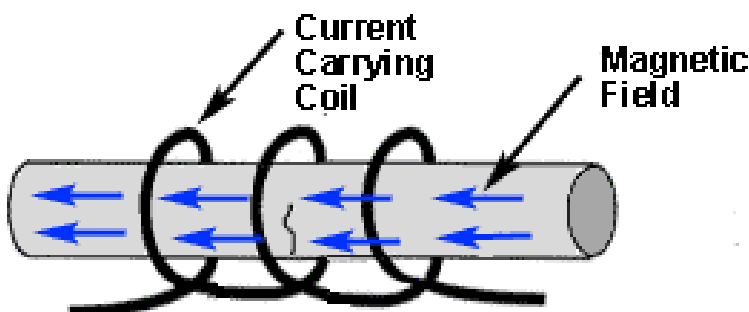
Quando essa curva se apresentar "*estreita*", indica que esse material é um material com alta permeabilidade, baixa retentividade, baixa força coercitiva, baixa relutância e baixo magnetismo residual.

5. TIPOS, MÉTODOS E TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO

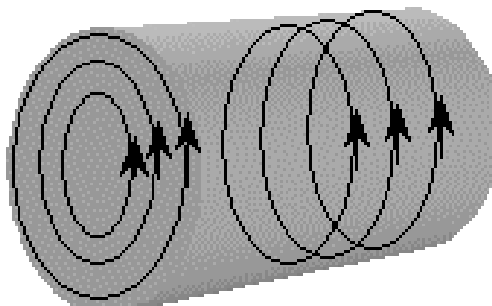
Tipos.

Existem três tipos de magnetização, a magnetização longitudinal, a magnetização circular, e a magnetização multidirecional como veremos a seguir:

Magnetização Longitudinal: Magnetização por indução de campo, através de bobinas ou eletroímãs, produz um campo magnético longitudinal na peça, para detecção de descontinuidades transversais ao sentido da magnetização.



Magnetização Circular: Magnetização por indução de campo ou por corrente elétrica na peça, produz um campo magnético circular na peça, para detecção de descontinuidades longitudinais ao sentido da magnetização.



Magnetização Multidirecional: É composta por uma máquina estacionária conhecida como combinada ou vetorial, onde a magnetização ocorrerá em duas ou mais direções, longitudinal e circular, ou circulares em várias direções.

Algumas normas aconselham o uso de corrente trifásica retificada de onda completa para magnetização nesta técnica.



Image Courtesy of Magnaflux

Métodos.

Existem dois importantes métodos que são utilizados para diferentes tipos e técnicas de magnetização, o **Método Contínuo** e o **Método Residual**.

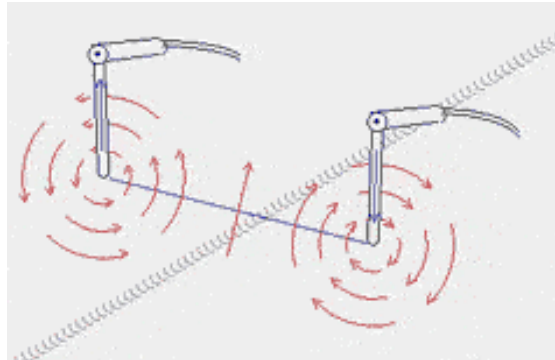
- **Método Contínuo:** Consiste em aplicar as partículas tanto pela técnica via seca, como pela técnica via úmida durante a magnetização, ou seja, durante o período em que a força magnetizante (corrente elétrica) está sendo aplicada. Este método fornece uma sensibilidade bem maior que no método residual.
- **Método Residual:** Só pode ser aplicado se especificado no desenho, contrato ou outro documento pertinente. Consiste em aplicar as partículas após a força de magnetização ter sido removida, é utilizada somente em materiais que apresentam alta retentividade. Este método auxilia na verificação de descontinuidades quanto a sua profundidade.

Técnicas.

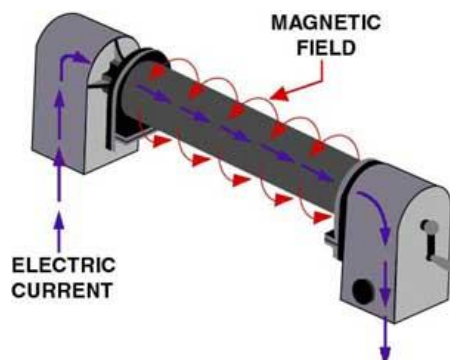
Técnica dos Eletrodos ou Prods: Também conhecida como "pontas", que quando apoiadas na superfície da peça, permite a passagem de corrente elétrica pela

peça. O campo magnético é circular, técnica aplicada em caldeirarias, siderúrgicas, peças brutas de fundição, soldas, etc.

A técnica dos eletrodos é muito eficiente, mas pode produzir faíscas nos pontos de contato dos eletrodos com a peça, impedindo a utilização em ambientes onde existam gases explosivos ou ainda, quando a peça a ser examinada está na sua fase final usinada, não admitindo qualquer dano à sua superfície.



Técnica de Contato Direto: Também conhecida como magnetização entre placas ou cabeçotes de contato, o campo magnético é circular, é definida como sendo a técnica de magnetização pela passagem de corrente elétrica de extremidade a extremidade da peça. Técnica aplicável para inspecionar barras, eixos, parafusos, principalmente nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas, etc.



Técnica da Bobina: Nesta Técnica, a peça é colocada no interior de uma bobina, ocorrendo um campo longitudinal na peça. A bobina ou solenóide é formado por um enrolamento de fios condutores de corrente elétrica alternada ou contínua, que originam o campo magnético de intensidade, usando a fórmula para calcular a corrente.

$$\text{Fórmula: } I = \frac{45000}{L}$$

$$N \cdot \frac{L}{D}$$

Onde:

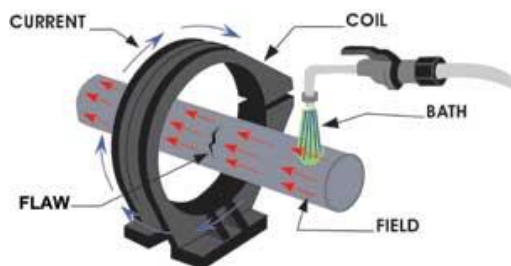
I= corrente de magnetização;

N= número de espiras da bobina;

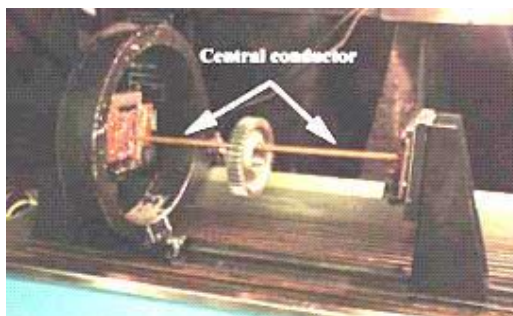
L= comprimento da peça;

D= diâmetro da peça, ou maior diagonal.

Obs: No valor encontrado, poderá haver uma variação de $\pm 10\%$.



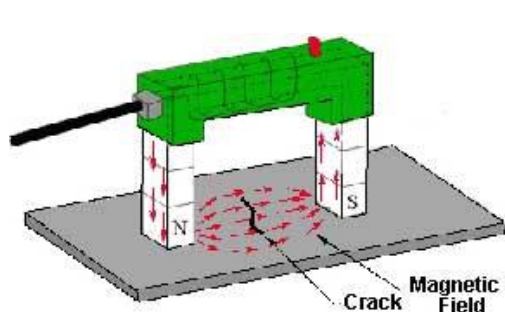
Técnica do Condutor Central: Essa técnica é caracterizada pela passagem de um fio condutor, ou um conjunto de cabos condutores pelo centro da peça a ser inspecionada. A corrente elétrica passada no centro da peça, induzirá um campo magnético circular na parte interna e externa da peça, assim as peças a serem inspecionadas deverão possuir geometria circular como: anéis, flanges, porcas, etc. Quando grandes diâmetros de peças devam ser inspecionados, o condutor pode ser posicionado perto da superfície interna da peça, deslocado do centro. Usando a fórmula para cálculo de corrente – ϕ do condutor + 2x a espessura da peça x a corrente. (de 300 a 800 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, apoiado na peça a ser examinada. É gerado na peça um campo magnético paralelo à linha imaginária que une as duas pernas do yoke. (corrente elétrica alternada ou contínua).

Nesta técnica, se produz campo magnético longitudinais, a grande vantagem dessa técnica está em não aquecer os pontos de contato, já que a corrente elétrica magnetizante flui pelo enrolamento da bobina do yoke, e não pela peça.

Os Yokes devem ser verificados através do peso morto a intervalos de 6 meses, os que usam corrente alternada devem ter força suficiente para levantar 4,5kg com espaçamento de 50 a 150mm entre os pólos, já os yokes de corrente contínua, devem levantar um peso de no mínimo 13,5kg, com espaçamento de 50 a 100mm entre os pólos.



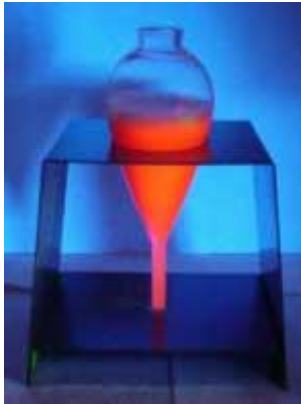
RESUMO DOS MÉTODOS TIPOS E TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO

TIPOS	MÉTODOS E TIPOS DE MAGNETIZAÇÃO		SENTIDO DA DESCONTINUIDADE
Longitudinal	Indução de Campo	Bobina/ solenóide, Yoke, Ímã Permanente	Transversal ao sentido das linhas de fluxo
Circular	Passagem de corrente Elétrica	Eletrodos (Prods ou pontas) Contato Direto (placas)	Longitudinal ao sentido das linhas de fluxo
	Indução de Campo	Condutor Central <ul style="list-style-type: none"> • Barra • Cabo Enrolado 	Longitudinal ao sentido das linhas de fluxo
Multidirecional	Indução e/ ou passagem de corrente elétrica	Combinação das técnicas de campo Longitudinal e Circular	Todos os sentidos

6. TIPOS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Existem dois tipos de Partículas Magnéticas;

- Via seca (ar);
- Via úmida (líquido), fluorescente ou visível; Ex:



Via seca: As partículas via seca, se apresentam em pó tendo como veículo o ar. Esse tipo de Partícula é aplicado nas peças com bulbos de borracha; embalagens plásticas; pulverizadores de ar comprimido à baixa pressão. Ex:



Vantagens da via seca: ótimo processo para detecção de descontinuidades superficiais e sub-superficiais de porte médio ou grande; indicada para superfícies com temperaturas de até 300° C.

Desvantagens da via seca: apresenta baixa capacidade de detecção para descontinuidades muito finas ou rasas.

Via Úmida: As partículas via úmida, se apresentam em uma suspensão líquida, o que aumenta sensivelmente a sua mobilidade à medida que diminui a viscosidade do líquido utilizado como veículo, essa solução é chamada de banho. Ex:



Vantagens da via úmida: maior sensibilidade para detecção de pequenas descontinuidades; aplicação rápida para ensaio em pequenas peças em grande quantidade; reaproveitamento contínuo do banho.

Desvantagens da via úmida: limita-se a superfícies com temperaturas até 60° C; pouco visível para detecção de descontinuidades sub-superficiais.

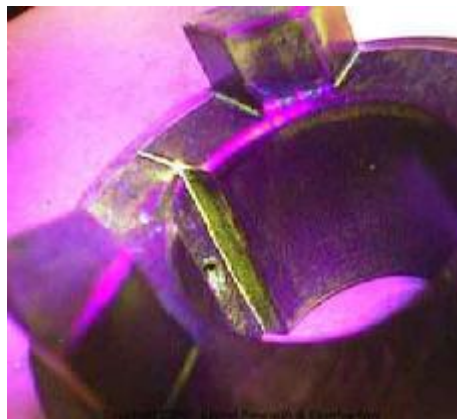
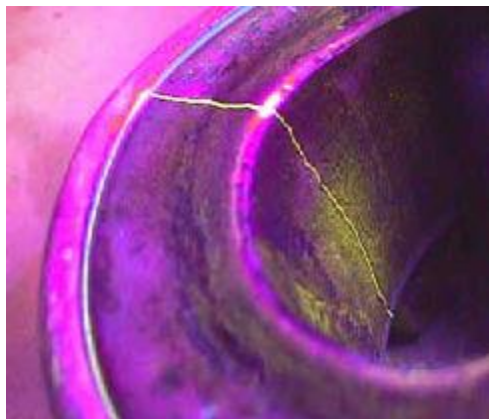
- **Partículas Visíveis**

São Partículas visíveis a olho nu, essas partículas podem ter cores variadas como: vermelha, marrom, amarela, branca, preta, etc.



- **Partículas Fluorescentes**

São Partículas visíveis á luz negra, elas são recobertas com uma fina película de corante fluorescente e exibem acentuada fluorescência sob ação de luz negra que tem comprimento de onda de aprox. 360nm (3600 Å).



7. TIPOS DE CORRENTE ELÉTRICA DE MAGNETIZAÇÃO

O tipo e a intensidade de corrente elétrica utilizada estão diretamente ligados ao sucesso do ensaio, pois dependendo do tipo de corrente elétrica utilizada ou intensidade inadequada à peça em ensaio, não obteremos bons resultados.

Os tipos de corrente elétrica mais utilizadas são:

- **Corrente Contínua (CC):** Somente obtida através de bateria;
- **Corrente Alternada (AC):** Usada para detecção de descontinuidades superficiais;
- **Corrente alternada retificada de meia onda:** Usada para detecção de descontinuidades sub-superficiais (de 6mm até 10mm prof.);
- **Corrente alternada retificada de onda completa:** Usada para detecção de descontinuidades sub-superficiais (de até 12mm prof.);
- **Corrente Trifásica:** Pode ser usada na forma retificada de meia onda ou de onda completa. A corrente trifásica retificada de onda completa é a que mais se aproxima das características de uma corrente contínua.

8. INSTRUMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO

Para que a confiabilidade do ensaio por Partículas Magnéticas seja garantida, deve-se fazer um controle periódico dos equipamentos, e qualificar os operadores de acordo com as normas específicas.
Os instrumentos utilizados são:

- Luxímetro de luz branca;
- Fotômetro de luz negra;
- Indicador de campo magnético;
- Tubo graduado em mililitros;
- Disco ou Anel de Eficiência: utilizado para verificação da eficiência do equipamento;
- Amperímetro Padrão.

Os controles e calibrações apresentados neste capítulo, são de acordo com a norma ASTM E 1444.

Medidor de Luz branca (Luxímetro)

É utilizado para medir a intensidade de luz branca, nas seguintes condições:

Partículas Fluorescentes- A cabine de luz negra deve conter no máximo 20lux de luz branca, medida na superfície da peça com a luz negra ligada.

Partículas Visíveis: A intensidade mínima de luz branca para inspeção deve ser de 1000 lux, medido na superfície da peça.



O medidor deve ser calibrado a cada seis meses, e a verificação feita semanalmente.

MEDIDOR DE LUZ NEGRA (RADIÔMETRO OU FOTÔMETRO)

Utilizado para medir a intensidade de luz negra na superfície da peça. Deve ser no mínimo de 1000 $\mu\text{watts/cm}^2$, verificado diariamente.

Na utilização de "spots" de luz negra a intensidade mínima é a mesma, mas quando verificado á uma distância de 380mm da fonte de luz com o fotômetro.



INDICADOR DE CAMPO MAGNÉTICO

Serve para verificar se existe campo magnético residual ou remanente na peça. O valor desse magnetismo não deve exceder 3 Gauss em qualquer parte da superfície do material.



O emprego do indicador é válido também para peças que foram rejeitadas, pois vale salientar que toda peça seja ela aprovada ou rejeitada tem que ser desmagnetizada.

TUBO GRADUADO EM MILILITROS

Utilizado para determinar a concentração e a contaminação das Partículas Magnéticas via úmida no banho.
Como verificar?

Após ter ligado a bomba da máquina por 30 minutos; encher o tubo graduado até a marca de 100ml; desmagnetizar; aguardar 30 minutos para concentração com água, e 60 minutos para concentração de derivados de petróleo; depois fazer a leitura.



Deve-se fazer a verificação no início de cada jornada ou de cada 8 horas de trabalho.

VALORES DE CONCENTRAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DAS PARTÍCULAS.

A concentração para Partículas Visíveis: entre 1,2 e 2,4ml;
A concentração para Partículas Fluorescentes: entre 0,1 e 0,4ml.

Contaminação: Algumas normas não permitem contaminação, outras até toleram desde que essa contaminação não exceda 30% do volume das Partículas.
Verificação efetuada semanalmente.

DISCO OU ANEL DE EFICIÊNCIA.

O anel de eficiência também é chamado KETO'S RING. Através do condutor central com 25,4mm de diâmetro deve-se de acordo com a tabela abaixo, ensaiar o anel e verificar a indicação dos furos exigidos. Verificação efetuada diariamente.

TABELA DE INDICAÇÃO DO ANEL DE EFICIÊNCIA

Tipo de suspensão	Amperagem	Nº mínimo do furo
Úmido Visível ou Fluorescente	1400	3
	2500	5
	3400	6
Partículas secas	1400	4
	2500	6
	3400	7

AMPERÍMETRO PADRÃO

Serve para verificar a calibração do amperímetro do equipamento. O amperímetro calibrado pode ter um desvio de no máximo $\pm 10\%$ do valor encontrado pelo amperímetro padrão.

Para equipamentos com corrente alternada de meia onda, o valor da corrente mostrado pelo amperímetro Padrão de corrente contínua deverá ser dobrado.

9. DESMAGNETIZAÇÃO

A necessidade de desmagnetização é explicada pelos seguintes fatores:

- O campo residual pode atrair e reter cavacos ou limalhas, em uma operação de usinagem posterior, prejudicando o acabamento da peça;
- Peças que trabalham em rotação, como rolamentos, o campo residual pode atrair cavacos ou limalhas, que irão apressar o desgaste das mesmas;
- Os campos de fuga presentes em peças a serem utilizadas, perto de equipamentos sofisticados podem interferir no bom funcionamento destes;
- A presença de campos residuais pode dificultar a remoção de limalhas e cavacos das peças na operação de limpeza.

Desmagnetização pelo campo longitudinal: deve ser verificada através do indicador de campo, o magnetismo não deverá exceder 3Gauss em qualquer parte do material.

Desmagnetização pelo campo circular: deve-se efetuar colocando a peça no cabeçote (entre garras) ou prods, no caso de peças cilíndricas não é possível à utilização do indicador de campo, pois na magnetização circular nestas peças não se consegue medir a posição dos dipolos norte e sul.

10. LIMPEZA FINAL

Após a desmagnetização, é de extrema importância que se faça a limpeza das peças para retirar o banho que ficou sobre a superfície, mesmo as peças que foram rejeitadas, é imprescindível sua limpeza.