



END – Partículas Magnéticas

Fundamentos

Objetivos:

- Detección de defectos superficiales y subsuperficiales en componentes de aceros de equipos industriales
- Control de calidad
- Determinación de la dirección del campo magnético en aceros

I - Fundamentos teóricos

El método de ensayo de partículas magnéticas se basa en la detección del campo magnético de fuga que producen las discontinuidades superficiales y subsuperficiales de un material ferromagnético, cuando se aplica un campo magnético que lo satura. El medio de detección está constituido por partículas magnetizables de alta permeabilidad y baja retentividad, finamente divididas para su mayor movilidad.

Por lo tanto es un método aplicable solamente a materiales ferromagnéticos, en los cuales la permeabilidad magnética es elevada pero a su vez es variable en función de la intensidad del campo magnético aplicado.

El ensayo requiere que la intensidad del campo magnético sea tal que la curva de permeabilidad del material se haya sobrepasado del punto de máxima permeabilidad y por lo tanto la inducción magnética en el mismo esté cerca del punto de saturación.

Una condición determinante para la detección de las discontinuidades es que las líneas de fuerza del campo magnético sean perpendiculares al plano de las discontinuidades (Figura Nº 1). Por lo tanto es necesario aplicar sucesivamente el ensayo en distintas direcciones de campo.

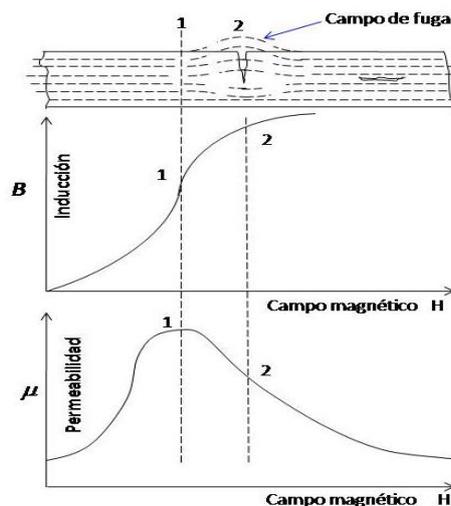


Fig. Nº 1 – Aparición de campo de fuga en presencia de una discontinuidad

La sensibilidad del ensayo es mayor en el caso de las discontinuidades superficiales, disminuyendo rápidamente hacia el interior de la pieza.



Las sensibilidades relativas varían según el tipo de campo aplicado (de corriente continua o alterna). Con campo generado por corriente continua se pueden detectar discontinuidades de 10 a 15 mm de profundidad.

Para una pieza sometida a un campo magnético, se analiza la evolución de la inducción magnética B (densidad de flujo), en función de la intensidad de campo H (fuerza de magnetización). La permeabilidad magnética μ , se utiliza para referirse a la facilidad con que se puede inducir un campo magnético en un circuito magnético (representa la facilidad con que una pieza puede ser magnetizada).

Dado que relaciona la densidad de flujo con la intensidad de campo, μ no es un valor constante (Figura Nº 1).

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ (ec. 1) } \quad B, \text{ se mide en Gauss y } H \text{ en Oerstedes.}$$

La permeabilidad μ , crece con el valor de H hasta un cierto límite para luego decrecer y depende de lo siguiente:

- Valor de H o B .
- Composición química del material
- Temperatura
- Tratamiento térmico
- Trabajado mecánico

El ciclo de histéresis es propio de cada material por lo que su forma da información de las características magnéticas de dicho material (Figura Nº 2).

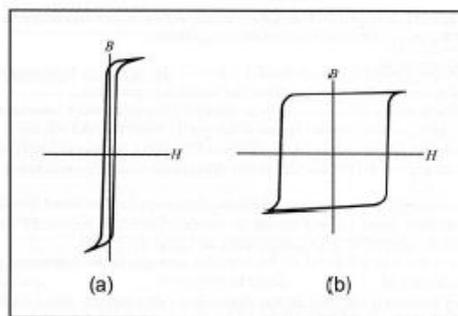


Fig. Nº 2 – Ciclos de histéresis. (a) material magnético blando.
(b) material magnético duro

La curva (a), es delgada y por lo tanto indica que el material tiene:

- Baja retentividad
- Alta permeabilidad
- Baja reluctancia (reluctancia es la resistencia del material a ser magnetizado)

En el caso de materiales magnéticos duros, el material tiene:

- Alta retentividad (B_r es grande)
- Baja permeabilidad
- Alta reluctancia

La ec. 2, indica como varía la densidad de flujo en presencia de una pieza situada dentro de un solenoide por el que circula corriente eléctrica (Figura Nº 2).

$$B = \mu_0(H + M) \quad (\text{ec.2})$$

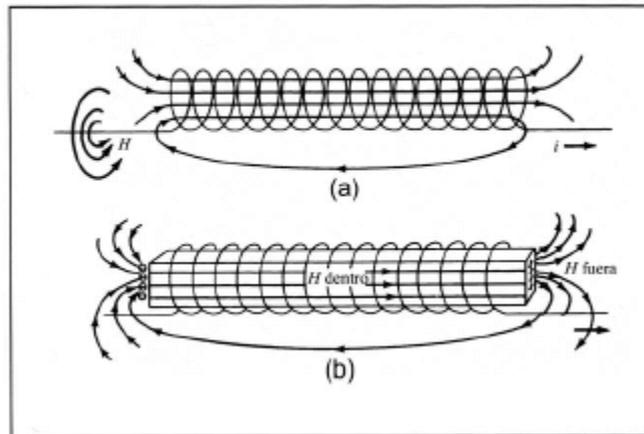


Figura 2 (a) Ilustración esquemática de un campo magnético creado alrededor de una bobina de hilo de cobre, llamada solenoide. debido al paso de comente eléctrica por el hilo, (b) ilustración esquemática del aumento del campo magnetice alrededor del solenoide cuando se introduce una barra de hierro dentro del solenoide pasa una comente eléctrica por el hilo

Aquí aparece M , que es la componente del campo debido a la barra y se denomina *intensidad de imanación* o simplemente *imanación* (μ_0 es la permeabilidad en el vacío = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Tesla.metro por Amper (T·m/A). En Tabla 1 se dan las unidades de las magnitudes de la magnetización.

Tabla 1 – Unidades magnéticas

Magnitud magnética	Unidades de SI	Unidades CGS
B (inducción magnética)	Weber/metro ² (Wb/m ²) o tesla (T)	Gauss (G)
H (campo aplicado)	Amperio/metro (A/m)	Orsted (Oe)
M (imanación)	Amperio/metro (A/m)	



Técnica de magnetización

Existen diferentes técnicas y equipos de magnetización para detección de discontinuidades, según el tipo de pieza a controlar (bobinas, conductores centrales, puntas de contacto, yugos, etc).

Yugo magnético

Son electroimanes de alta permeabilidad y baja retentividad, con un bobinado excitado por corriente continua y alterna (con corriente alterna solo se usan para detección de defectos superficiales).

Equipo portátil Marca TECNOEND, modelo Y-24

Normas: ASME, Sec. V, art. 7; ASTM E-709

Yugo magnético con patas con patas articulables, con fuente para magnetización con corriente alterna / corriente continua y tensión de seguridad.

Máxima separación entre patas 270 mm.

Magnetización longitudinal.

Fuerza portante en corriente alterna: 5 kg y en corriente continua: 25 kg (cumple con ASME Sec. V, art. 7 (última versión).

Permite operación con baja tensión, para cumplir con los requisitos de seguridad para realizar trabajos dentro de recipientes y/o tanques.

Medio indicador

El medio indicador esta constituido por partículas magnetizables y debe poseer las siguientes propiedades:

Elevada permeabilidad y baja retentividad magnética

Granulometría adecuada al modo operatorio (no demasiado gruesas para su aplicación en húmedo)

Formas redondeadas para facilitar su movilidad y de formas alargadas para la formación de polos magnéticos.

El color debe permitir un elevado contraste con la superficie a examinar. Para aumentar la sensibilidad se utilizan partículas fluorescentes. Las indicaciones en este caso se observan con luz UV.

Aplicación del medio indicador

El medio indicador se aplica en forma de suspensión, en un líquido de baja viscosidad (nafta para aviones J-P1, ininflamable). Para su aplicación sobre la pieza se utiliza un rociador y luego se magnetiza. Las partículas se desplazan en el líquido hacia los puntos donde exista un campo de fuga debido a la presencia de una discontinuidad.



Modo de operación

Modo continuo: El indicador y el campo magnético se aplican simultáneamente. En general este método se utiliza en materiales con bajo magnetismo remanente.

Modo residual: Primero se magnetiza la pieza y luego se aplica el medio indicador, de manera de aprovechar el magnetismo remanente de dicha pieza. Este modo de operación es aplicable a aceros de elevado magnetismo remanente y elevada fuerza coercitiva (aceros de alto carbono).

Tiempo de magnetización

Se utilizan tiempos de magnetización cortos (de 5 a 10 segundos). En general es conveniente actuar varias veces en tiempos cortos.

Sensibilidad del ensayo

La sensibilidad del ensayo se calibra utilizando indicadores. Un tipo de indicador (norma JIS), es una chapa de acero de 100 micrones, que lleva grabada una recta a 30 o 60 micrones de profundidad. Se aplica sobre la pieza durante el examen, con la parte grabada hacia adentro. La aparición de las indicaciones durante el examen da una medida de la sensibilidad alcanzada.

Desmagnetización

Es una etapa importante en el ensayo de PM. Excepto en casos de materiales con baja retentividad, al finalizar el ensayo la pieza queda con magnetismo remanente que en el caso de la magnetización longitudinal se evidencia fácilmente debido a la aparición de polos magnéticos.

La eliminación del magnetismo se realiza partiendo de una magnetización ligeramente superior a la que se haya aplicado en el ensayo, reduciendo posteriormente las intensidades de campo extremas de cada ciclo hasta valores ínfimos.

Interpretación de las indicaciones

Para la interpretación de las indicaciones con partículas fluorescentes, la intensidad de la iluminación en el entorno no debe exceder los 10 LUX, mientras que la intensidad de la radiación UV en el lugar de la observación debe ser de 800 microwatts/cm².

Sistema de luz ultravioleta marca TECNOEND, compuesto por spot, portalampara, lámpara de vapor halogenado, reflectora de 100 watts, filtro de luz ultravioleta original, fuente/balasto con llave de encendido, indicador luminoso de funcionamiento, fusible y manija de transporte.



Tipos de indicaciones

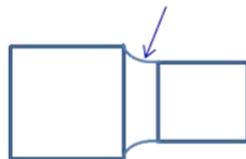
Las indicaciones se clasifican en alargadas y redondeadas en cuanto a la forma. En cuanto al contraste, en contrastadas y difusas. Posteriormente se valoran según sus dimensiones (diámetro, ancho, longitud). Con una escala, se toman fotografías, sin utilizar flash.

Las discontinuidades superficiales aparecen más contrastadas que las discontinuidades subsuperficiales.

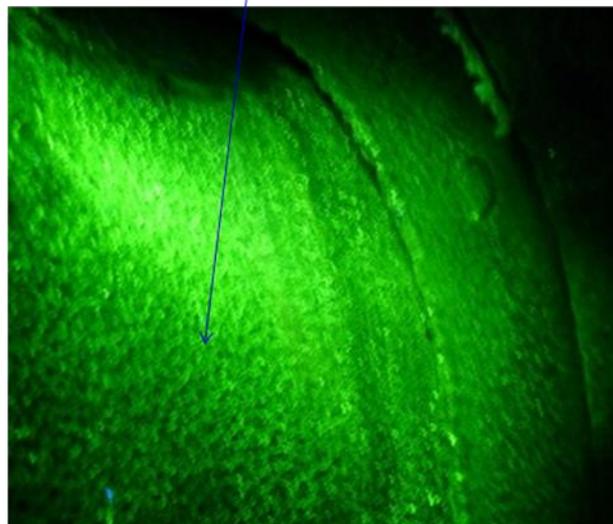
Para la evaluación en función de niveles de aceptación o rechazo, se recurre a normas (por ej. ASTM), que brindan fotografías de referencia de indicaciones típicas, clasificadas en tipos y clases de severidad. A continuación se dan ejemplos de indicaciones obtenidas con el ensayo de PM.

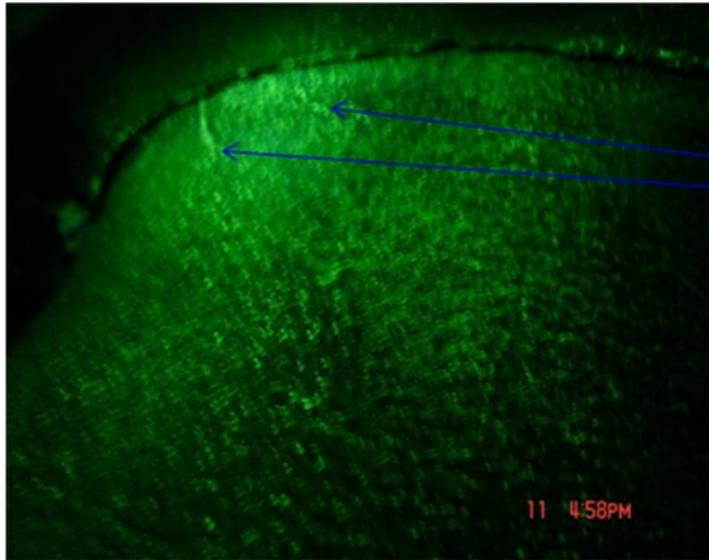


Sector controlado



Microfisuras superficiales





Fisuras