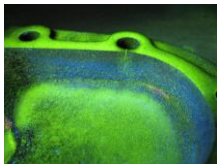
آزمون ذرات مغناطیسی
Magnetic Particle Testing (MT)

مدرس: دکتر فرهنگ هنرور
گروه ساخت و تولید
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

کلیات

- روشی برای شناسایی عیوب سطحی و نزدیک به سطح
- فقط برای مواد فرومغناطیس (آهن، نیکل، کبالت و آلیاژهای آن‌ها)
- با ریختن ذرات روی قطعه محل ، اندازه و شکل عیوب قابل رویت خواهد شد
- سریع
- نسبتاً ارزان و ساده
- رنگی یا فلورسنت

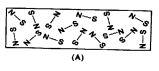


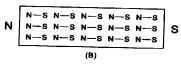
تاریخچه

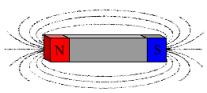
- S.H. Saxby, 1868 – انجام اولین آزمون MT ، تشخیص ترک در لوله توپ با استفاده از قطب نما
- W.E. Hoke, 1920 – متوجه ایجاد الگوهایی روی قطعه ای که برای تراش به سه نظام مغناطیسی بسته شده بود گردید.

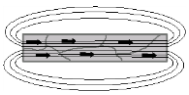
مبانی MT

- مولکولهای مواد فرومغناطیس دو قطبی هستند.
- تشکیل خطوط شار مغناطیسی در داخل و بیرون قطعه.

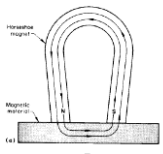


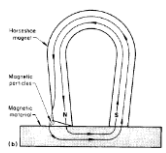


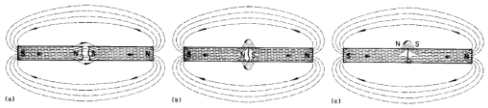




مبانی MT

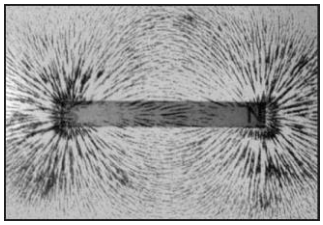




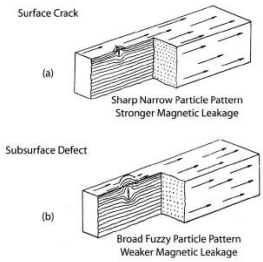


مبانی MT

میدان مغناطیسی یک آهنربا که با اعمال براده های آهن قابل مشاهده است.

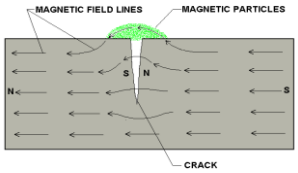


عیوب سطحی و زیر سطحی



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- مغناطیس نمودن قطعه و اعمال ذرات فرومغناطیس بر روی آن
- نشت شار مغناطیسی موجب ظاهر شدن ترکهای سطحی میگردد.



رفتار مغناطیسی مواد

- دیامغناطیس (diamagnetic): حساسیت منفی نسبت به مغناطیس شدن، کمی دفع میشود (مس، طلا، نقره، آب).
- پارامغناطیس (paramagnetic): حساسیت مثبت کمی نسبت به مغناطیس شدن دارند (آلمینیوم، تنگستن، گاز اکسیژن).
- آنتی فرومغناطیس (antiferromagnetic): مشابه پارامغناطیس ولی مثل آن وابسته به حرارت نیست (اکسیدهای نیکل، کروم و کبالت).
- فرومغناطیس (ferromagnetic): زیر درجه حرارت کوری (Curie) به سرعت مغناطیس میشوند (آهن، نیکل، کبالت و اکثر آلیاژهای آن‌ها).
- فری مغناطیس (ferrimagnetic): زیر درجه حرارت نیل (Neel) به سرعت مغناطیس می‌شوند. (اکسیدهای فلزی مانند magnetite, maghemite)

مراحل انجام آزمون ذرات مغناطیسی

- آماده سازی سطح
- مغناطیس کردن قطعه
- اعمال ذرات
- انجام بازرسی
- مغناطیس زدایی قطعه
- تمیز کردن قطعه

معادله مغناطیس

B : چگالی شار مغناطیسی (اندوکسیون مغناطیسی) بر حسب تسلا (T)

H : شدت میدان مغناطیسی (قدرت میدان مغناطیسی) بر حسب آمپر بر متر (A/m)

μ : تراوایی مغناطیسی بر حسب هانری بر متر (h/m)

μ_0 : تراوایی خلا برابر با $4\pi \times 10^{-7}$ h/m

μ_r : تراوایی نسبی بدون بعد

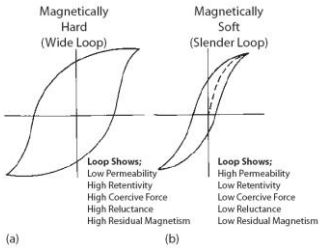
$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

برای مواد غیرفرومغناطیس $\mu_r = 1$.

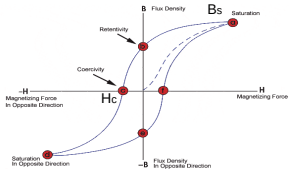
الکترومغناطیس

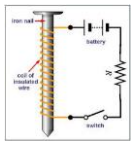
مواد نرم و سخت مغناطیسی



- تا حدی به درصد کربن فولاد بستگی دارد. کربن بیشتر فولاد را سخت‌تر می‌سازد.

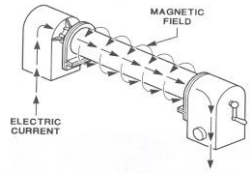
حلقه مغناطش(Hystersis Loop)



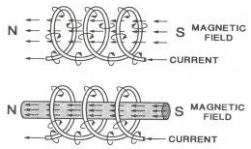


Retentivity: باقیماندگی
Coercivity: وادارندگی

مغناطیس کردن طولی و دایره ای قطعه

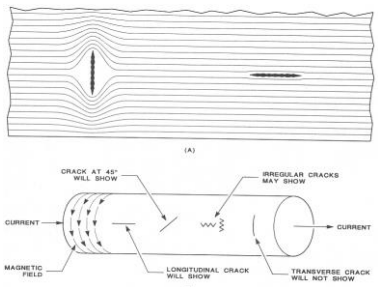


دایره ای
(circular)



طولی
(longitudinal)

تشخیص عیوب



جریان الکتریکی برای مغناطیس کردن

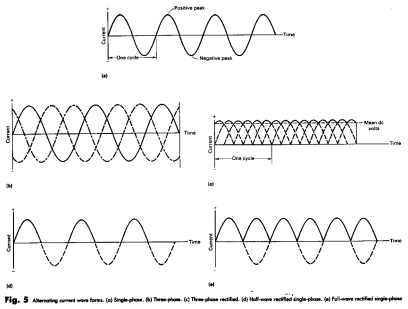


Fig. 5 Alternating current wave forms. (a) Single-phase. (b) Three-phase. (c) Three-phase rectified. (d) Half-wave rectified single-phase. (e) Full-wave rectified single-phase

جریان های الکتریکی برای مغناطیس کردن قطعات

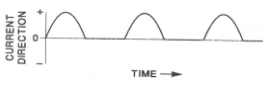
- انواع جریان الکتریکی
  - جریان dc باتری (دیگر مورد استفاده قرار نمی گیرد)
  - جریان ac تک فاز
  - جریان ac سه فاز
  - جریان ac سه فاز یک سو شده – مثل جریان dc عمل میکند
  - جریان ac تک فاز یک سو شده کامل
  - جریان ac تک فاز نیمه یک سو شده

آزمون ذرات مغناطیسی

تجهیزات مورد استفاده برای مغناطیس کردن قطعات

جریان الکتریکی

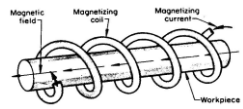
- جریان متناوب – عیوب سطحی



- جریان نیمه یکسو شده – عیوب زیر سطحی

سیم پیچ (coil)

- چگالی شار مغناطیسی متناسب با شدت جریان I و تعداد دور سیم n است.



The number of ampere-turns required to produce sufficient magnetizing force to magnetize a part adequately for inspection is given by:

$NI = 45\,000\,(L/D)$ (Eq 1)

where N is the number of turns in the coil, I is the current in amperes, and L/D is the length-to-diameter ratio of the part.

قطعه داخل حلقه سیم ولی نه در مرکز آن

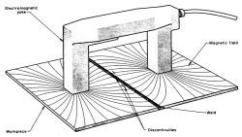
When it is desirable to magnetize the part by centering it in the coil, Eq 1 becomes:

$$NI = \frac{43\,000r}{\mu_{eff}} \quad \text{(Eq 2)}$$

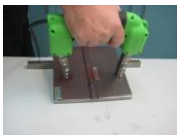
where r is the radius of the coil in inches and $\mu_{eff} = (6L/D) - 5$. Equation 2 is applicable to parts that are centered in the coil (coincident with the coil axis) and that have cross sections constituting a low fill factor, that is, with a cross-sectional area less than 10% of the area encircled by the coil.

قطعه در مرکز حلقه سیم

یوغ مغناطیسی (Yoke)

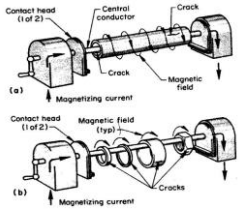


- مغناطیس دائمی (permanent)
- الکترومغناطیس (electromagnetic)

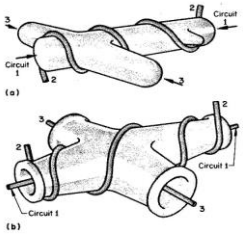


هادی مرکزی (central conductor)

- چگالی شار مغناطیسی با دور شدن از مرکز هادی کاهش میابد

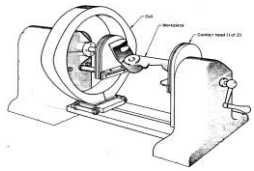


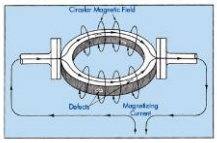
استفاده از کابل



کله‌گی (head shots)

- جریان از یکطرف وارد قطعه شده و از سوي دیگر از آن خارج می‌شود.
- کلافگي در تماس مستقیم با قطعه است و به این خاطر احتمال سوختگي قطعه در محل تماس وجود دارد.





تغییر چگالی شار در هادی مرکزی

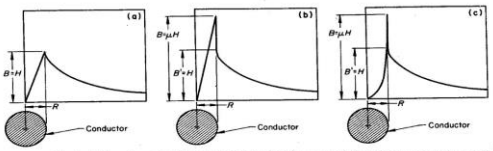
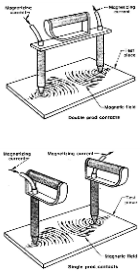


Fig. 8 Flux density in and around solid conductors of the same diameter. (a) Nonmagnetic conductor ($\mu = 1.0$) carrying direct current. (b) Ferromagnetic conductor ($\mu > 1.0$) carrying direct current. (c) Ferromagnetic conductor ($\mu > 1.0$) carrying alternating current. See text for discussion.

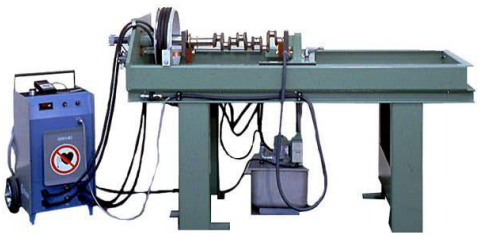
اتصال میله‌ای (prod contacts)

مزایا:
- قابل حمل
- حساسیت بالا نسبت به عیوب زیرسطحي

معایب:
- حداکثر فاصله میله‌ها محدود است (حدود ۳۰ سانتی‌متر)
- احتمال تداخل میدان بین دو میله در هوا با میدان داخل قطعه
- احتمال سوختگي محل تماس

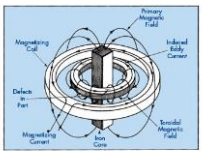


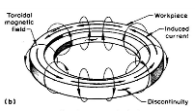
میز آزمون ذرات مغناطیسی



جریان القایی (induced current)

- جریان در قطعه اصلی بدون تماس و از طریق القای مغناطیسی ایجاد می‌شود
- عدم تماس مستقیم با قطعه
- مناسب برای بازرسی قطعات ظریف و حساس





اتصال میله‌ای (prod contacts)

وامغناطش قطعه

چه وقت وامغناطش ضروری است:

- اگر پسماند مغناطیسی موجب اختلال در انجام آزمون‌های بعدی شود،
- اگر پسماند مغناطیسی موجب اختلال درکار قطعه شود،
- اگر پسماند مغناطیسی موجب اختلال در کار دستگاه‌ها و یا فرایندهای دیگر شود.

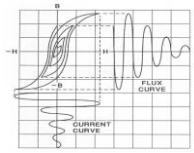
چه وقت وامغناطش ضروری نیست:

- اگر قرار باشد قطعه پس از آزمون با جرثقیل مغناطیس حمل شود،
- اگر قرار باشد قطعه پس از آزمون تا بالای درجه حرارتی کوری گرم شود (حدود $770\ ^{o}C$)،
- اگر محل تست قسمتی از یک سازه بزرگ مثل پل یا مخزن باشد،

وامغناطش (Demagnetization)

پس از انجام آزمون لازم است قطعه وامغناطیده شود. این کار به یکی از دو روش زیر قابل انجام است:

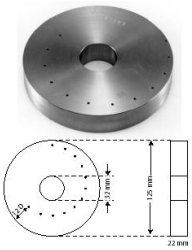
- برای قطعات کوچک، می‌توان آن‌ها را از درون سیم‌پیچی که از آن جریان متناوب می‌گذرد عبور داد،
- می‌توان قطعه را داخل سیم‌پیچی که از آن جریان متناوب عبور می‌کند قرار داد و شدت جریان را به تدریج کاهش داده و مرتباً معکوس نمود (یکبار در ثانیه) تا به صفر برسد.
- اگر قطعه‌ای با جریان dc مغناطیس شده نباید آنرا با جریان ac وامغناطیده کرد زیرا جریان ac فقط سطح قطعه را وامغناطیده می‌کند و خاصیت مغناطیسی در عمق همچنان باقی خواهد بود و کم‌کم مجددا به سطح می‌آید.

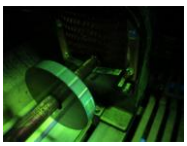


ذرات مغناطیسی

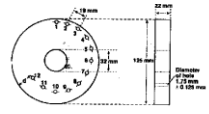
- جنس ذرات معمولا از مواد فری‌مغناطیس (اکسیدهای فلزی) است.
- ذرات باید به سرعت مغناطیس شده و به سرعت هم خاصیت مغناطیسی خود را از دست بدهند.
- سه نوع اصلی
  - فلورسنت – زیر نور UV بازرسی انجام شود. ذرات به رنگ سبز، زرد، قرمز و صورتی
  - رنگی – با یک ماده رنگی پوشش داده شده اند. ذرات به رنگهای سیاه، قرمز، زرد و خاکستری
  - ذرات دو منظوره – هم زیر نور مرئی و هم زیر نور UV قابل مشاهده هستند.
  - تقسیم بندی ذرات مغناطیسی
    - خشک – به صورت پودر
    - تر – معلق در آب یا ماده نفتی رقیق

کنترل کیفیت MT – حلقه کیتوس (Ketos Ring)





کنترل کیفیت MT



(a)

Distances of holes from ring edge of Ketos ring; holes are 1.75 mm diam

Hole No.	Distance from edge (d), mm
1	1.8
2	3.6
3	5.3
4	7.1
5	8.9
6	10.7
7	12.4
8	14.2
9	16.0
10	17.8
11	19.6
12	21.3

(b)

The required magnetizing currents for the Ketos ring test, with the minimum number of holes that should be visible when using full-wave rectified current along a central conductor passing through the hole in the Ketos ring

Magnetizing current, A	Minimum No. holes indicated
Black suspension (wet)	
1400	3
2500	5
3400	6
Dry powder	
1400	4
2500	6
3400	7
Fluorescent suspension (wet)	
1400	3
2500	5
3400	6

Source: Ref 64

(c)

کنترل کیفیت MT

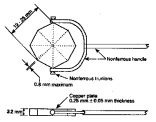


Fig. 5.10 Pie gage magnetic field indicator. The gage is a disk of high magnetic permeability, divided into six or eight segments separated by gaps containing a non-magnetic material of different thicknesses. The pie gage is placed in contact with the test surface, and the magnetic particles spread over the upper surface of the pie gage.

Pie Gage

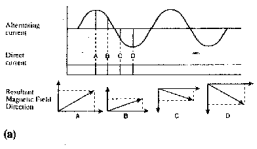
Quantitative Quality Indicator (QQI) Shims

محدودیت‌های MT

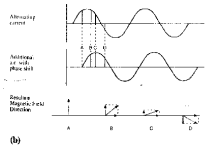
- فقط مواد فرومغناطیس که بتوانند آهنربا شوند قابل بازرسی هستند
- فقط عیوب سطحی و زیر سطحی را میتوان شناسایی نمود
- برای دستیابی به حداکثر حساسیت، سطح قطعه باید کاملا تمیز و خشک باشد
- معمولا نیاز به مغناطیس زدایی قطعه میباشد
- برای بازرسی قطعات بزرگ جریانهای الکتریکی فوق العاده زیاد لازم است
- در محل تماس الکتریکی، ممکن است موجب سوختگی و صدمه دیدن قطعات شود
- ممکن است لازم باشد که قطعات به صورت تک تک مغناطیس شوند
- در بعضی از موارد تماس با سطح قطعه لازم است
- بعضی از قطعات باید در چند مرحله مورد بازرسی قرار گیرند

میدان چرخان

با ترکیب یک میدان dc با یک میدان ac و یا با ترکیب دو جریان ac که با هم اختلاف فاز دارند، می‌توان میدان مغناطیس دواری تولید کرد که همزمان قطعه را در جهات متعددی مغناطیس کند. در اینصورت نیاز به تکرار آزمون در جهات مختلف نخواهد بود.



ترکیب جریان ac و dc



ترکیب جریان ac که اختلاف فاز کمی دارند

مزایای MT

- دقیق و قابل اعتماد است
- کار با آن نسبتاً ساده است
- نشانه ها مستقیماً روی سطح ایجاد میشوند
- آموزش کمی برای کار با آن لازم است
- تقریبا محدودیتی از نظر شکل و اندازه قطعه وجود ندارد
- از روی لایه نازکی از رنگ یا پوششهای غیرمغناطیسی نیز قابل انجام است
- ترکهای پرشده با مواد خارجی (مثل گرد و خاک و روغن) قابل شناسایی هستند
- عمق ترک را هم تا حدی میتوان با آن اندازه گرفت
- ارزان است
- چون در چند جهت آزمون انجام میشود، اگر در یک جهت به اشتباه عیب شناسایی نشود، در مراحل بعد ممکن است شناسایی شود
- عیوب زیرسطحی هم قابل شناسایی هستند
- به آسانی میتوان روش بازرسی را اتوماتیک نمود