

## تاریخچه

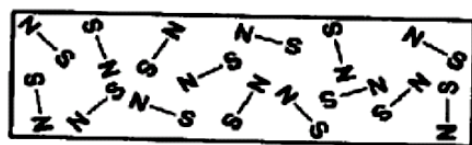
■ S.H. Saxby, 1868 – انجام اولین آزمون MT ،  
تشخیص ترک در لوله توپ با استفاده از قطب نما

■ W.E. Hoke, 1920 – متوجه ایجاد الگوهای روی قطعه  
ای که برای تراش به سه نظام مغناطیسی بسته شده بود گردید.

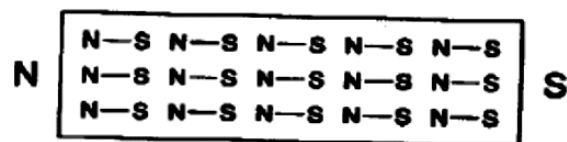
# مبانی MT



■ مولکولهای مواد فرومغناطیس دو قطبی هستند.

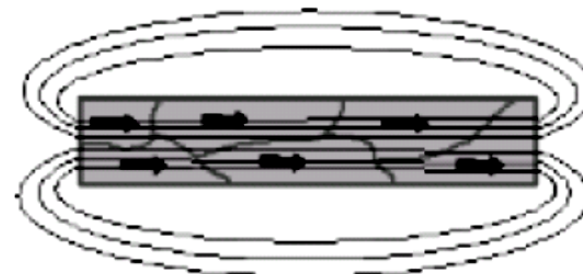
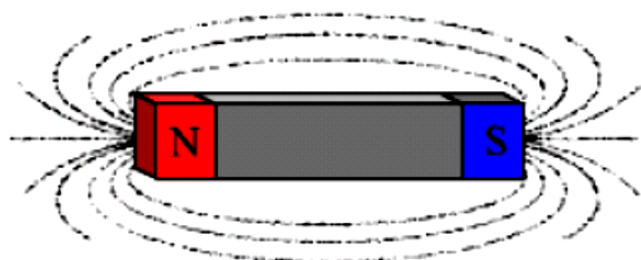


(A)



(B)

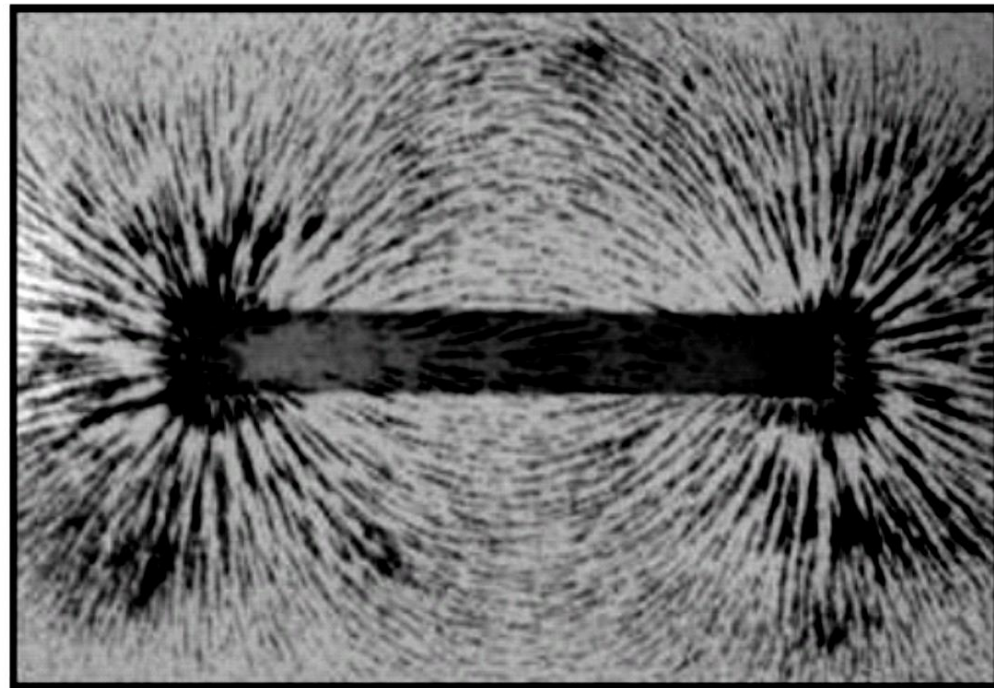
■ تشکیل خطوط شار مغناطیسی در داخل و بیرون قطعه.

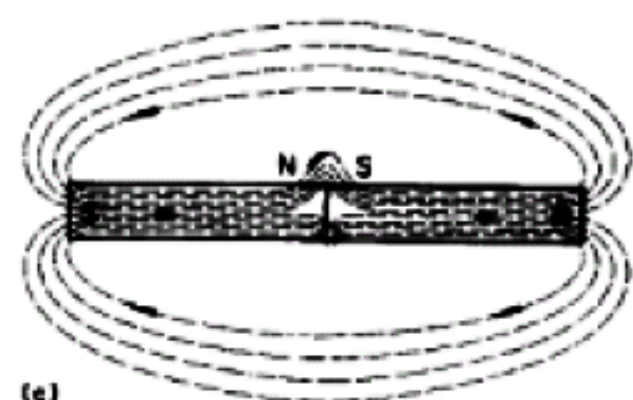
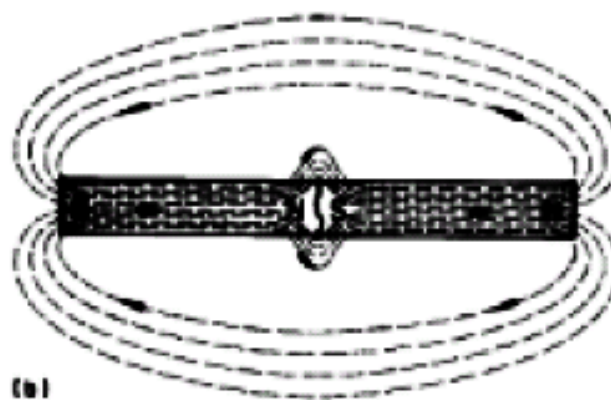
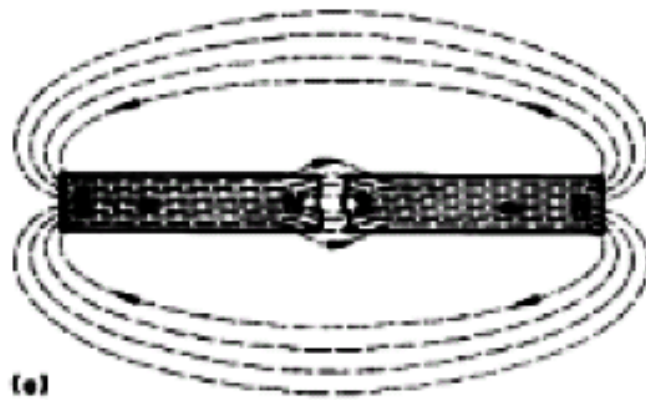
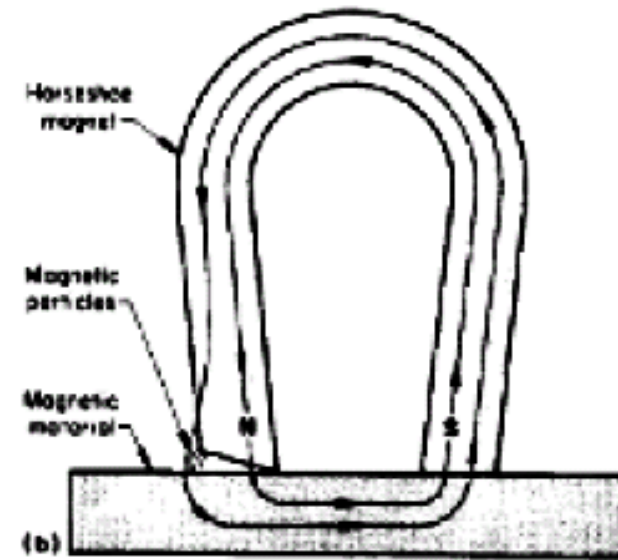
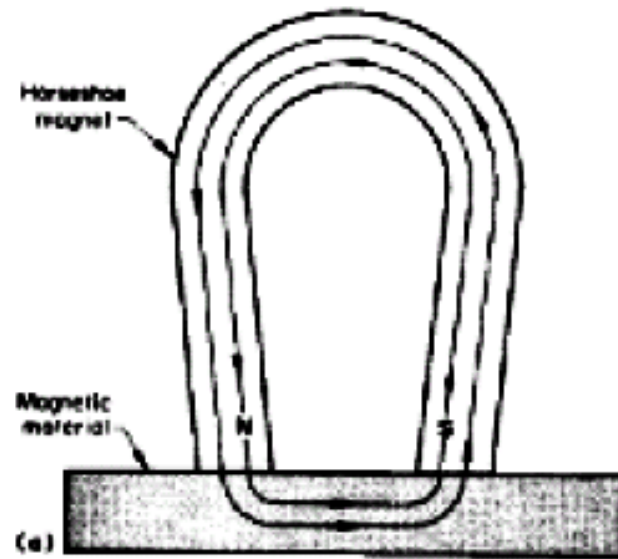


## مبانی MT



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



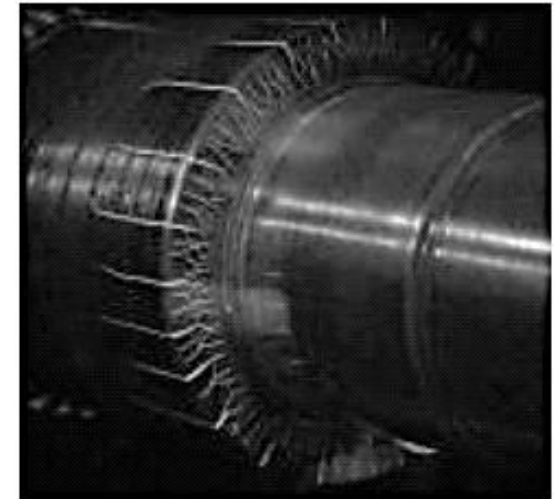
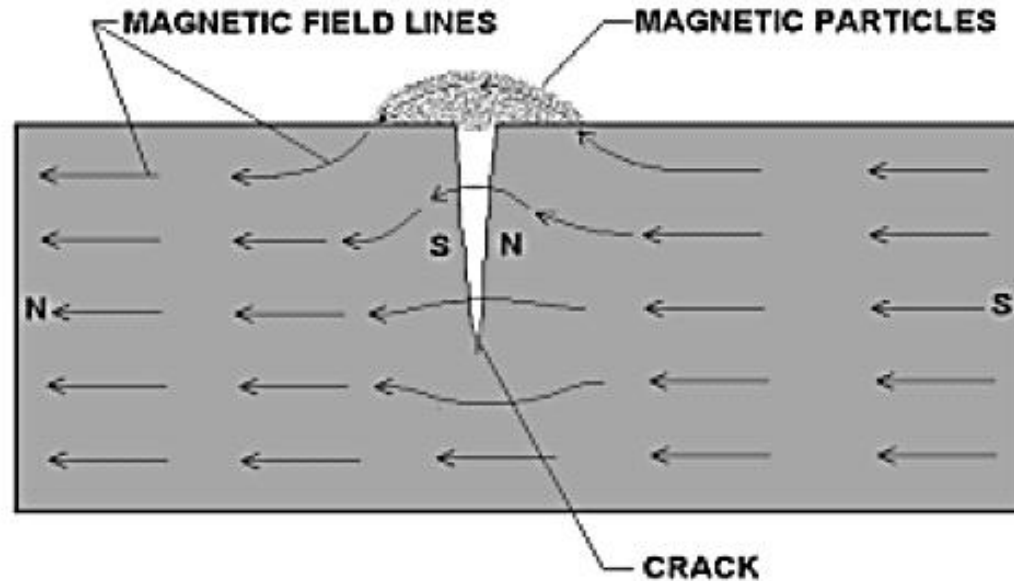


# آزمون ذرات مغناطیسی (MT)



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

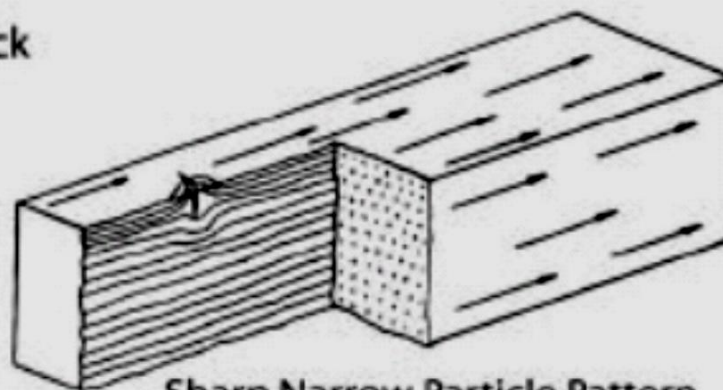
مقداری از شار مغناطیسی (خطوط نیرو) از فلز خارج شده و یک میدان نشتی تشکیل می دهد. میدان نشتی ایجاد شده توسط ترک، که نشانه ای از ناپیوستگی در قسمت فلزی است، ذرات آهنی را جذب می کند. این اصلی است که در آن نشانه های ذرات مغناطیسی تشکیل می شوند.



# عیوب سطحی و زیر سطحی

Surface Crack

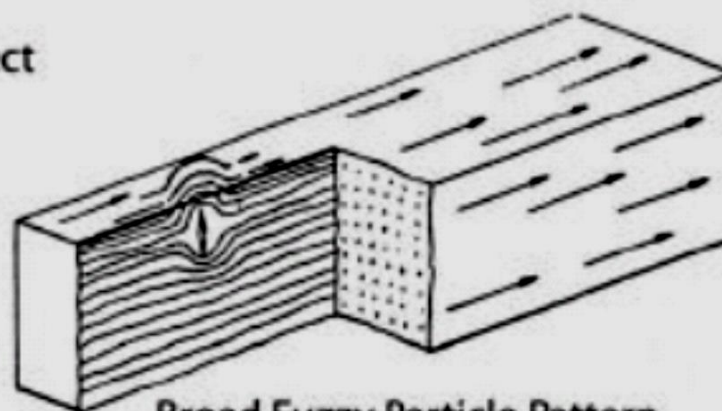
(a)



Sharp Narrow Particle Pattern  
Stronger Magnetic Leakage

Subsurface Defect

(b)



Broad Fuzzy Particle Pattern  
Weaker Magnetic Leakage

## مراحل انجام آزمون ذرات مغناطیس

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



## 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)
- فری مغناطیس (ferrimagnetic): زیر درجه حرارت نیل (Neel) به سرعت مغناطیس میشوند (magnetite, maghemite)

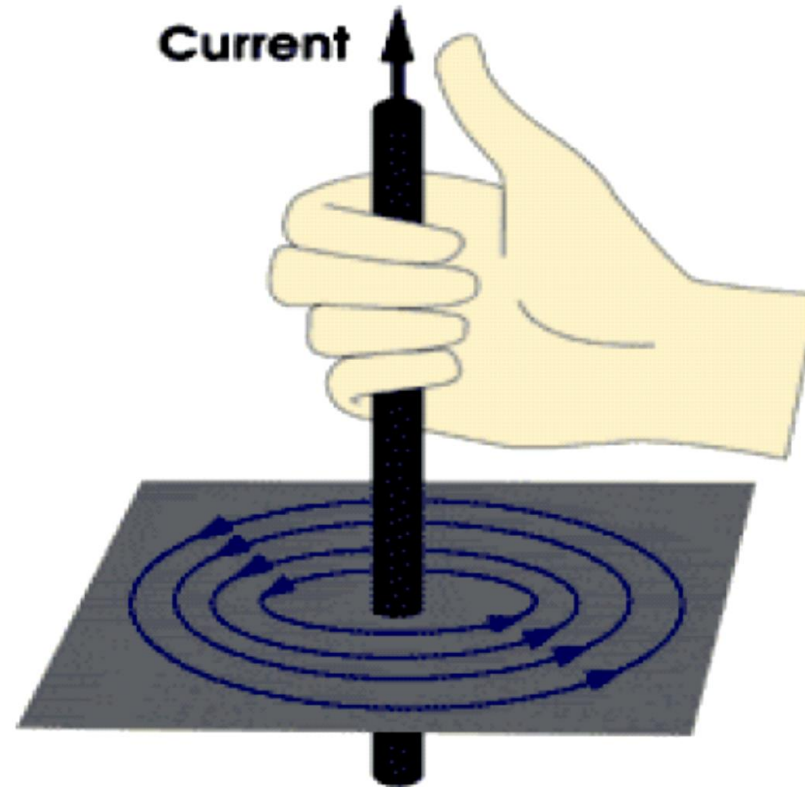


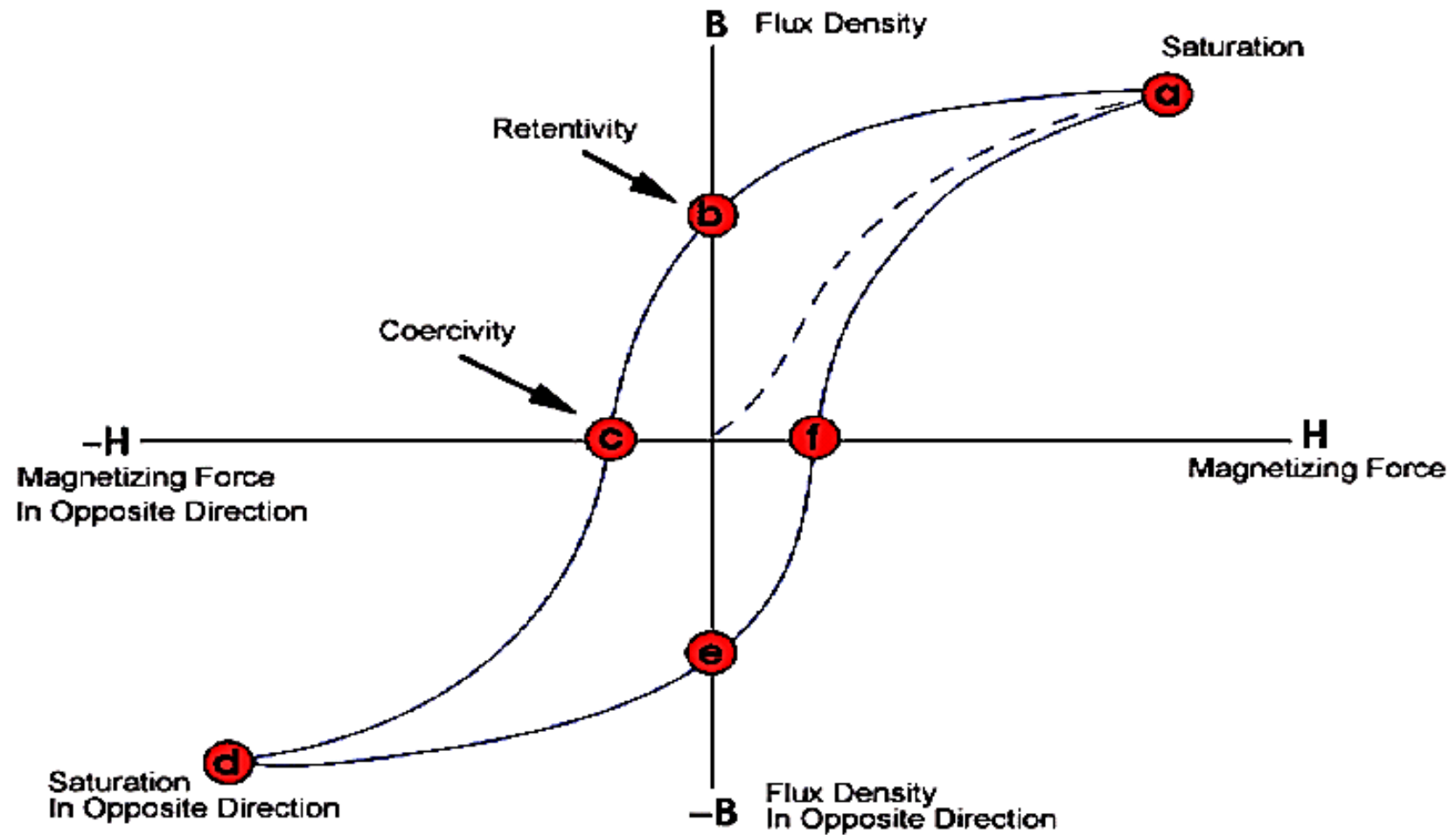
## Advanced NDT

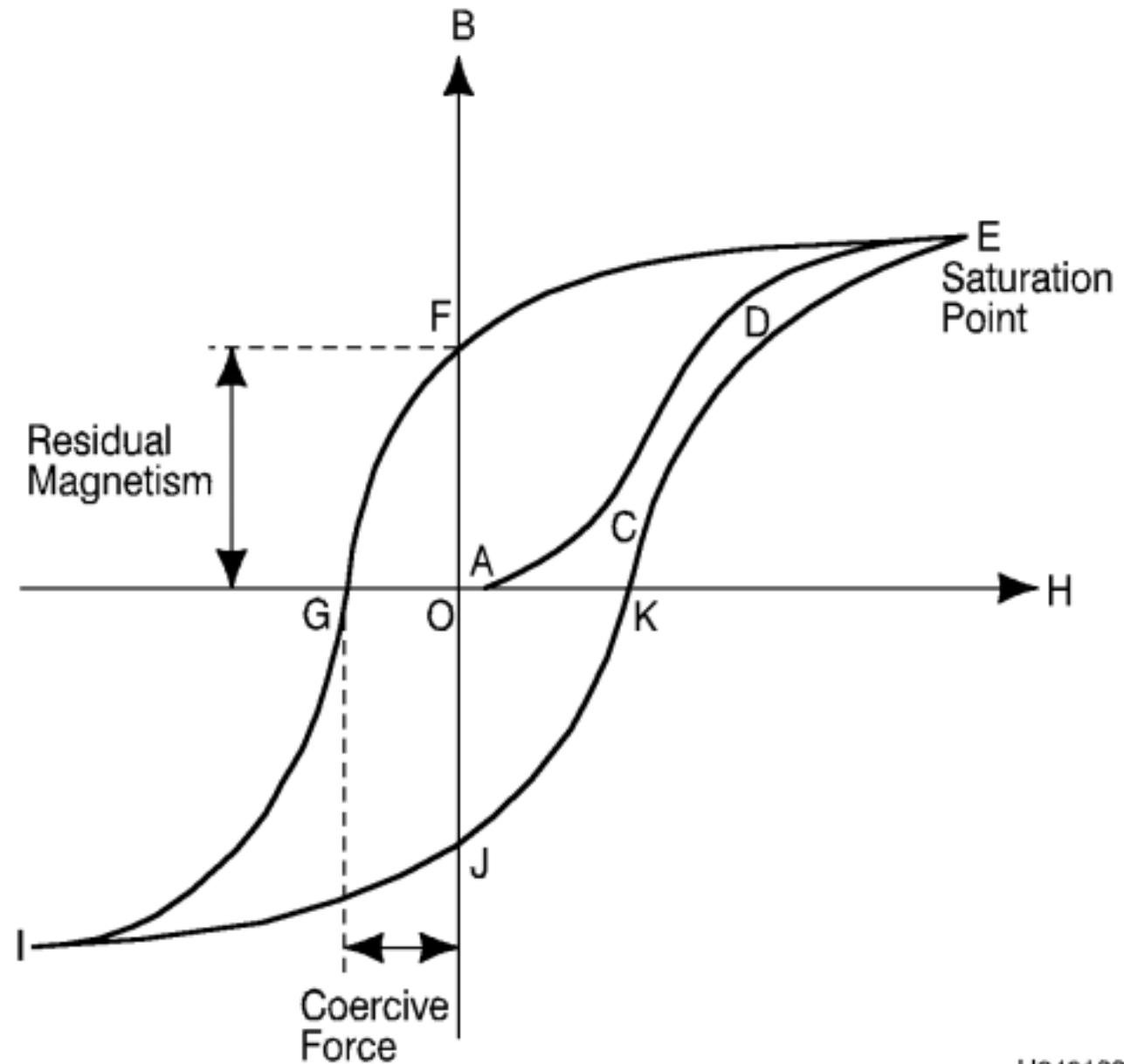
ماده	دمای نیل (کلوین)
<a href="#">MnO</a>	۱۱۶
<a href="#">MnS</a>	۱۶۰
<a href="#">MnTe</a>	۳۰۷
<a href="#">MnF<sub>2</sub></a>	۶۷
<a href="#">FeF<sub>2</sub></a>	۷۹
<a href="#">FeCl<sub>2</sub></a>	۲۴
<a href="#">FeI<sub>2</sub></a>	۹
<a href="#">FeO</a>	۱۹۸
<a href="#">FeOCl</a>	۸۰
<a href="#">CrCl<sub>2</sub></a>	۲۵
<a href="#">CrI<sub>2</sub></a>	۱۲
<a href="#">CoO</a>	۲۹۱
<a href="#">NiCl<sub>2</sub></a>	۵۰
<a href="#">NiI<sub>2</sub></a>	۷۵
<a href="#">NiO</a>	۵۲۵
KFeO <sub>2</sub>	۹۸۳ [۷]
<a href="#">Cr</a>	۳۰۸
<a href="#">Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></a>	۳۰۷
Nd <sub>5</sub> Ge <sub>3</sub>	۵۰

ماده	دمای کوری (K)
NiO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸۵۸
MnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵۷۳
MgO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷۱۳
CuO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷۲۸
نیکل (Ni))	۶۲۷
گارنت آهن ایتریوم (Y <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )	۵۶۰
گادولینیوم (Gd))	۲۹۲
کروم (IV اکسید) (CrO <sub>2</sub> )	۳۸۶
کبالت (Co))	۱۴۰۰
دیسپروزیوم (Dy))	۸۸
بیسموئید منگنز (MnBi))	۶۳۰
اکسید یورونیوم (EuO))	۶۹
اکسید آهن (II,III) (FeOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۸۵۸
استرانس فریت	۷۲۳
آهنرباهای نئودیمیم	۵۸۳-۶۷۳
آهنرباهای ساماریوم-کبالت	۹۹۳-۱۰۷۳
آهن (III اکسید) (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۹۴۸
آهن (Fe))	۱۰۴۳
آنتی آمید منگنز (MnSb))	۵۸۷
آلنیکو	۹۷۳-۱۱۳۳
آرسنید منگنز (MnAs))	۳۱۸

# الكتر ومغناطيس







H0401998

### نیروی اجباری Coercive Force

نیروی مغناطیسی اعمال شده منفی یا معکوس  $H$  لازم برای کاهش نیروی مغناطیسی باقیمانده  $B$  به صفر در یک ماده فرومغناطیسی، پس از رسیدن به اشباع مغناطیسی.

### چگالی شار مغناطیسی (B) Magnetic Flux Density

قدرت میدان مغناطیسی که با خطوط شار در واحد سطح مقطع بیان می شود.

**هیستری مغناطیسی:** پدیده ای که توسط یک سیستم مغناطیسی نشان داده می شود که در آن هر حالت تحت تأثیر سابقه قبلی آن است.

### نیروی مغناطیسی $H$

میدان مغناطیسی اعمال شده به یک ماده فرومغناطیسی برای القای مغناطیسی.

### نفوذپذیری مغناطیسی $\mu$ Magnetic Permeability

نفوذپذیری مغناطیسی میزان سهولت مغناطیسی شدن یک قطعه فرومغناطیسی است. برابر است با نسبت چگالی شار  $B$  تولید شده به نیروی مغناطیسی  $H$  که میدان مغناطیسی را القا می کند. با تغییر در قدرت نیروی مغناطیسی، مقدار آن تغییر می کند. فلزی که به راحتی مغناطیسی می شود، مانند آهن نرم یا فولاد کم کربن، نفوذپذیری بالایی دارد یا گفته می شود که نفوذپذیری بالایی دارد.  $\mu=B/H$

### مغناطیس باقیمانده Residual Magnetism

میدان مغناطیسی است که در زمانی که نیروی مغناطیسی خارجی به صفر کاهش می یابد در قطعه باقی می ماند.

### نگهداری Retentivity

خاصیت مغناطیسی که پس از حذف نیروی مغناطیسی مغناطیسی باقی می ماند. فلزی مانند فولاد سخت دارای درصد بالایی از کربن است و پس از حذف جریان مغناطیسی میدان مغناطیسی قوی را حفظ می کند. فولاد سخت قابلیت نگهداری بالایی دارد، یا گفته می شود که بسیار نگهدارنده است.

### اشباع مغناطیسی Magnetic Saturation

سطحی از مغناطیس در یک ماده فرومغناطیسی است که در آن نفوذپذیری مغناطیسی برابر با یک است. این به عنوان سطحی مشخص می شود که در آن افزایش نیروی مغناطیسی  $H$  منجر به افزایش بیشتر در میدان مغناطیسی  $B$  نسبت به خلاء یا هوا نمی شود.

## Advanced NDT

<b>B</b>	<u>magnetic flux density, magnetic induction</u>	<u>tesla</u>	$T = \text{Wb}/\text{m}^2 = \text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
$\Phi, \Phi_M, \Phi_B$	<u>magnetic flux</u>	<u>weber</u>	$\text{Wb} = \text{V} \cdot \text{s}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
<b>H</b>	<u>magnetic field</u> strength	<u>ampere</u> per <u>metre</u>	$\text{A}/\text{m}$	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$
$L, M$	<u>inductance</u>	<u>henry</u>	$H = \text{Wb}/\text{A} = \text{V} \cdot \text{s}/\text{A}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
$\mu$	<u>permeability</u>	<u>henry</u> per <u>metre</u>	$\text{H}/\text{m}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$

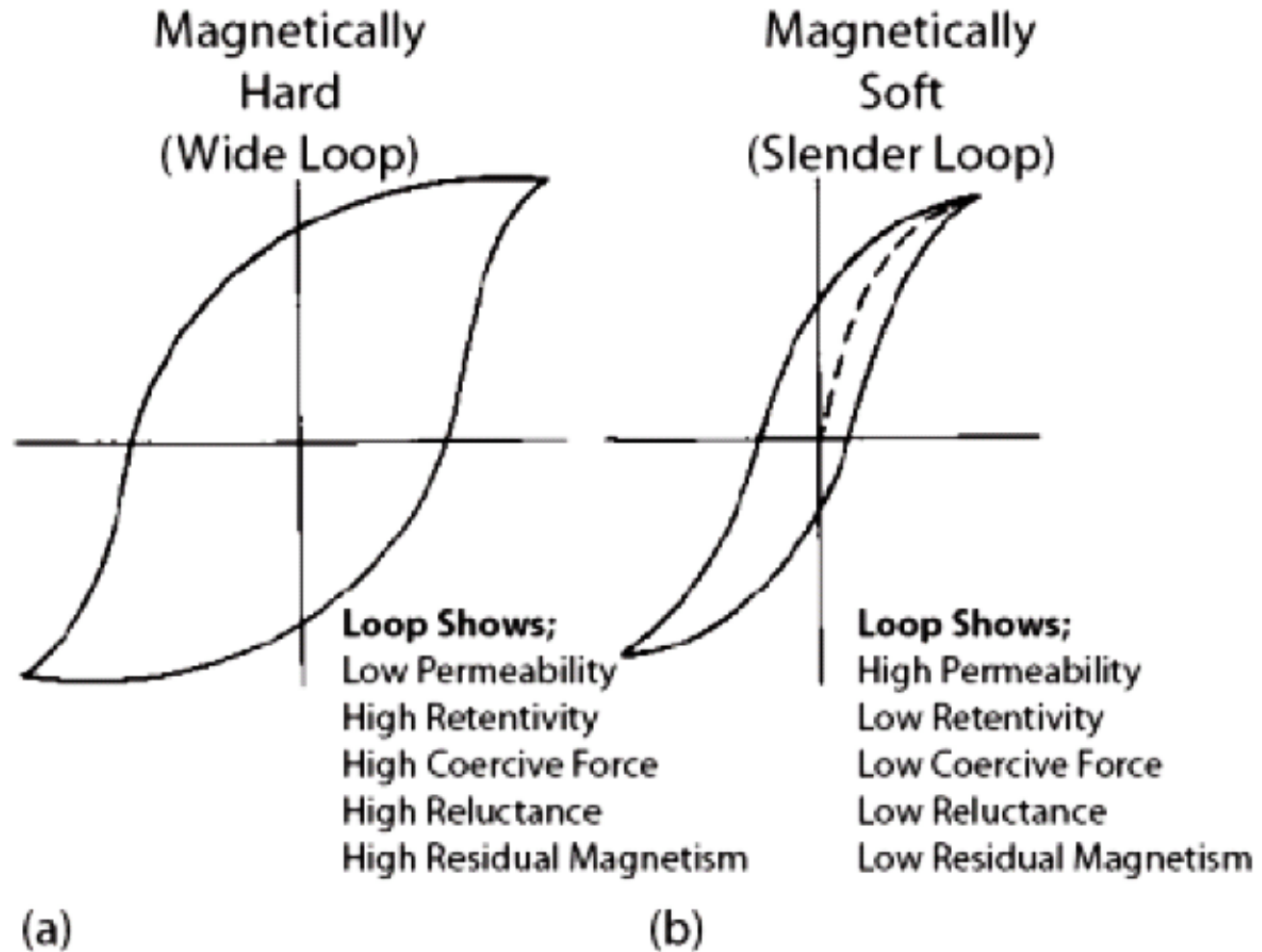


**Table 3-3. Relative Permeabilities for Some Ferromagnetic Materials**

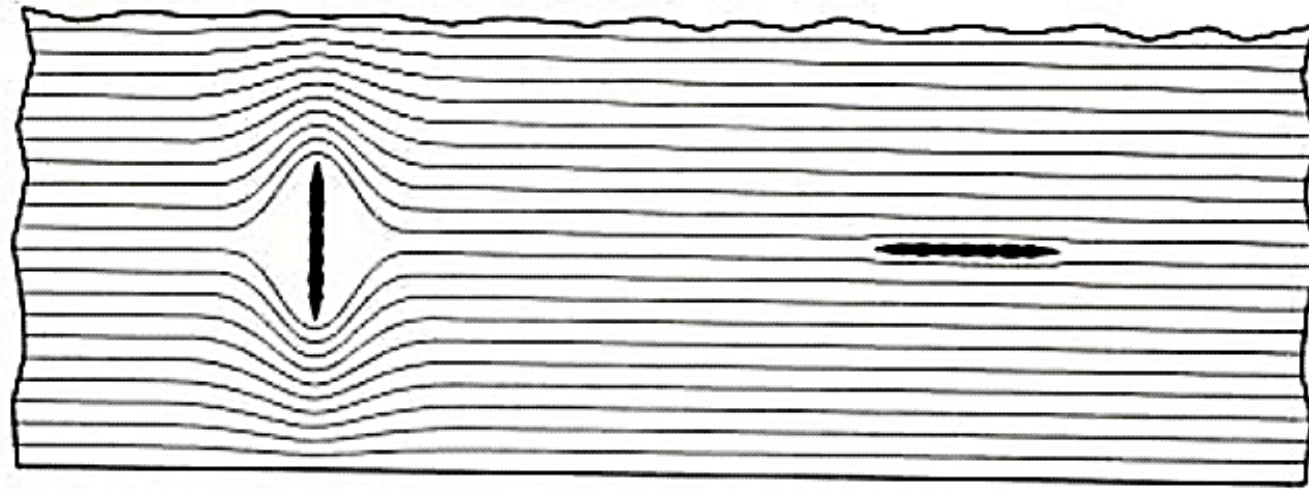
<b>Ferromagnetic Materials</b>	<b>Relative Permeability <sup>1</sup></b>
Iron (99% annealed in H)	200,000
Iron (99.8% annealed)	6,000
Iron (98.5% cold rolled)	2,000
Nickel (99% annealed)	600
Cobalt (99% annealed)	250
Steel (0.9% Carbon)	100
Excerpt from <u>Nondestructive Testing Handbook</u> , Vol. 6, American Society for Nondestructive Testing, 2 <sup>nd</sup> Ed., 1988	
<sup>1</sup> Relative to air, which has a permeability of 1.0	

# مواد نرم و سخت مغناطیسی

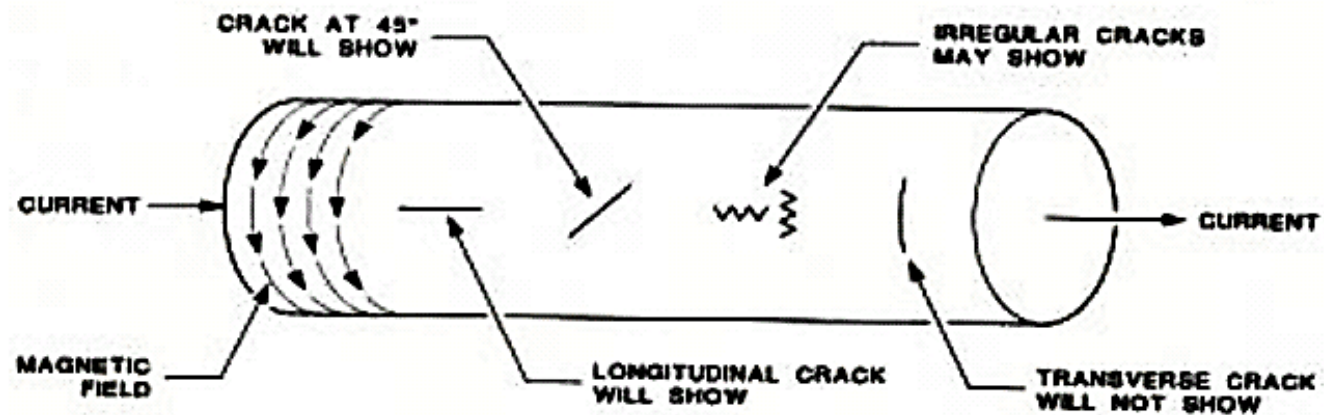
soft iron or low carbon steel



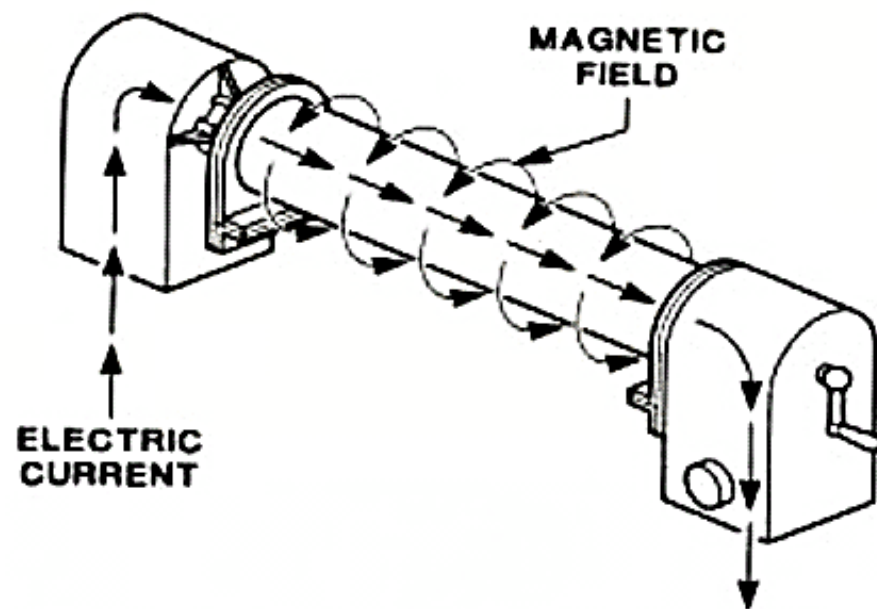
# تشخيص عيوب



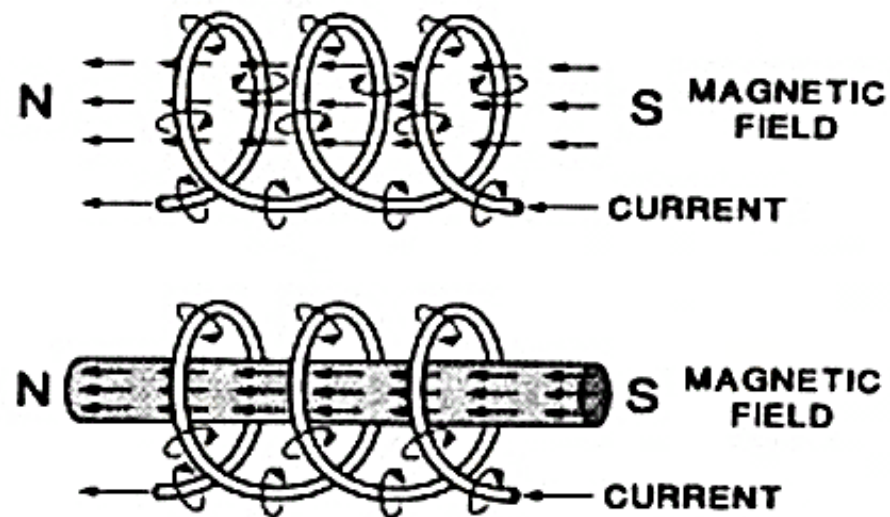
(A)



# مغناطیس کردن طولی و دایره ای قطعه



دایره ای  
(circular)



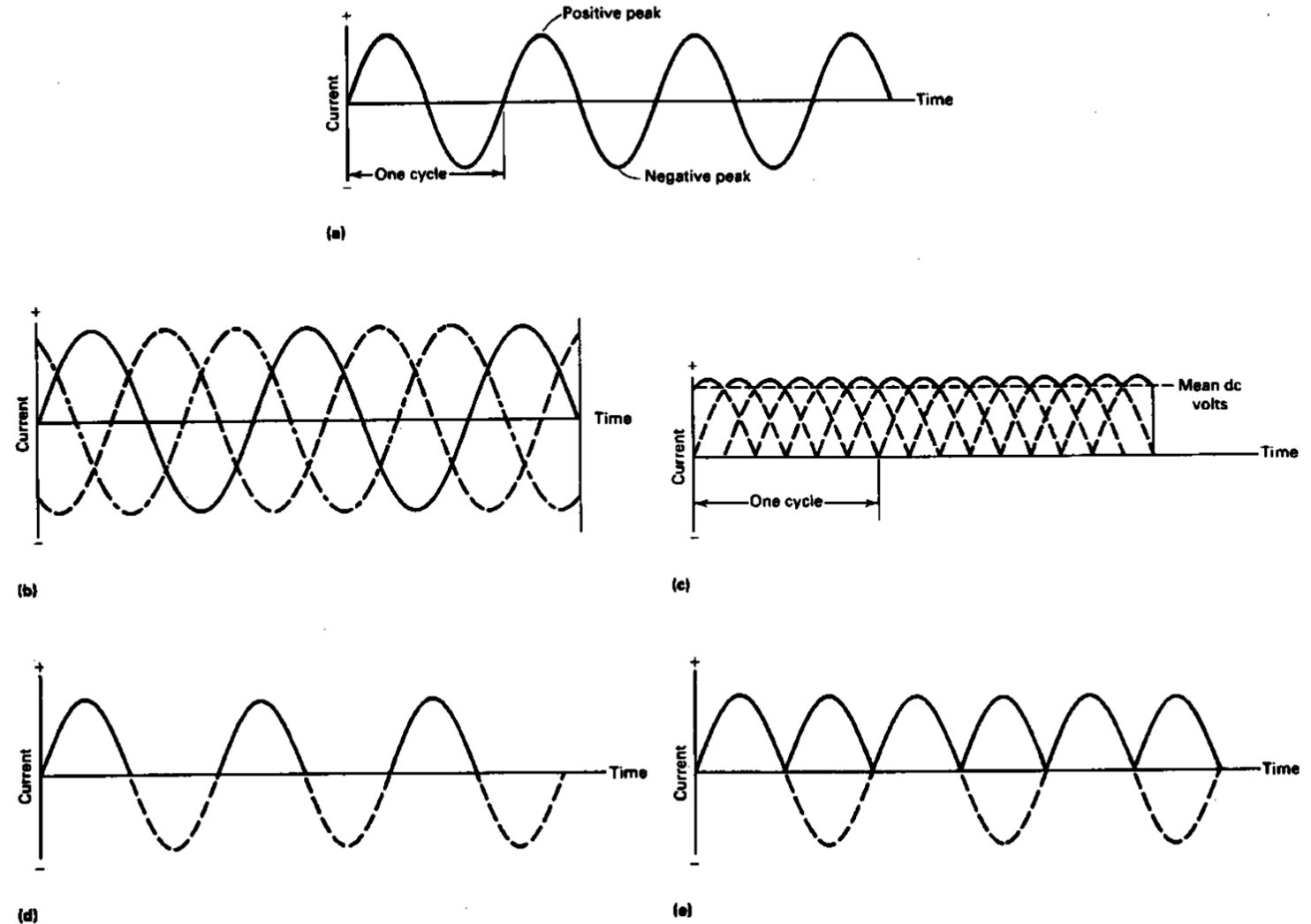
طولی  
(longitudinal)

## جریان های الکتریکی برای مغناطیس کردن قطعات

### ■ انواع جریان الکتریکی

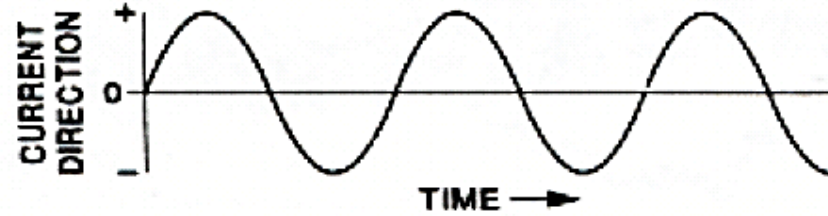
- ☐ جریان **dc** باتری (دیگر مورد استفاده قرار نمی گیرد)
- ☐ جریان **ac** تک فاز
- ☐ جریان **ac** سه فاز
- ☐ جریان **ac** سه فاز یک سو شده – مثل جریان **dc** عمل میکند
- ☐ جریان **ac** تک فاز یک سو شده کامل
- ☐ جریان **ac** تک فاز نیمه یک سو شده

# جریان الکتریکی برای مغناطیس کردن

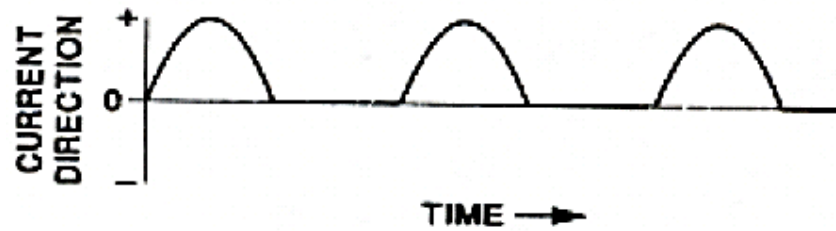


**Fig. 5** Alternating current wave forms. (a) Single-phase. (b) Three-phase. (c) Three-phase rectified. (d) Half-wave rectified single-phase. (e) Full-wave rectified single-phase

## جریان الکتریکی



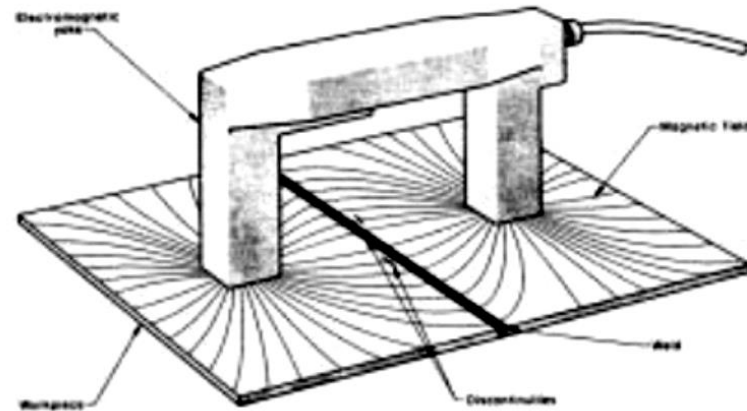
■ جریان متناوب - عيوب سطحی



■ جریان نیمه یکسو شده - عيوب زیر سطحی



# تجهيزات مورد استفاده برای مغناطیس کردن قطعات یوغ مغناطیسی (Yoke)



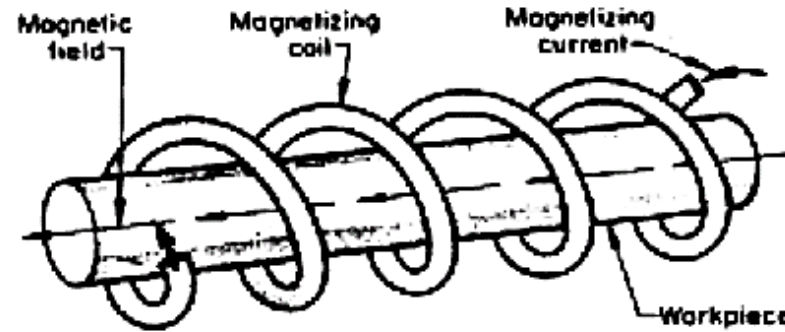
■ مغناطیس دائمی  
(permanent)

■ الکترومغناطیس  
(electromagnetic)



## سیم پیچ (coil)

نکته: وقتی سطح مقطع قطعه کمتر از یک دهم سطح مقطع سیم پیچ باشد، قطعه باید در پایین سیم پیچ مغناطیسی شود. وقتی سطح مقطع قطعه بیشتر از یک دهم سطح مقطع سیم پیچ باشد، قطعه باید در مرکز سیم پیچ مغناطیسی شود.



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

$$NI = 45\,000 (L/D) \quad (\text{Eq 1})$$

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

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

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

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

where  $r$  is the radius of the coil in inches and  $\mu_{\text{eff}} = (6L/D) - 5$ . 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

**فرمول برای وقتی که قطعه در کف کوئل قرار دارد:**

هنگامی که سطح مقطع قطعه کمتر از یک دهم سطح مقطع سیم پیچ باشد، می توان از فرمول زیر استفاده کرد و هر زمان که قطعه در کف سیم پیچ یا چسبیده دیواره باشد. اگر قطعه توخالی است،  $D$  را با  $D_{eff}$  جایگزین کنید.

$$I = KD/NL$$

$I$  = Current through coil (amperes)  $K = 45,000$  (a constant, ampere-turns)  $L$  = Length of the part (inches)

$D$  = Diameter of the part (inches)  $N$  = Number of turns in coil

مثال: جریان مورد نیاز برای مغناطیس کردن طولی یک قطعه فولادی به طول ۱۰ اینچ با قطر ۲ اینچ را با استفاده از یک سیم پیچ با قطر ۱۲ اینچ با ۵ پیچ تعیین کنید.

$$I = 45000 \times 2 / 5 \times 10 \quad I = 1800 \text{ آمپر}$$

## Advanced NDT

### فرمول قطعه در مرکز کویل

این فرمول زمانی استفاده می شود که سطح مقطع قطعه بزرگتر از یک دهم و کمتر از نیمی از سطح مقطع سیم پیچ باشد.

$$I = KR / N(6(L/D) - 5)$$

I = Current through coil (amperes)    K = 43,000 (a constant, ampere-turns)    R = Radius of coil (inches)    N = Number of turns in coil    L = Length of part (inches)    D = Diameter of the part (inches)

ترم  $6(L/D)-5$  نفوذپذیری موثر نامیده می شود.

مثال: جریان مورد نیاز برای مغناطیس کردن طولی یک قطعه ۱۲ اینچی با قطر ۴ اینچ و با استفاده از سیم پیچ ۵ دور با قطر ۱۲ اینچ را تعیین کنید. برای تعیین نسبت سطح مقطع بین قطعه و سیم پیچ به  $D_{eff}$  . اگر قطعه توخالی است، D باید با  $D_{eff}$  جایگزین شود.

$$I = 43000 \times 6 / 5(6(12/4) - 5)$$

$$I = 3969 \text{ amperes}$$

## Advanced NDT

**فرمول برای دور پیچ کابل حول قطعه یا سیم پیچ با ضریب پر شدگی بالا.**

هنگام استفاده از دور پیچ کابل یا زمانی که سطح مقطع قطعه بیشتر از نصف سطح مقطع سیم پیچ است، فرمول زیر باید برای تخمین جریان مورد نیاز برای مغناطیس طولی قطعه ای که در مرکز آن قرار دارد استفاده شود. اگر قطعه توخالی است، در فرمول  $D$  را با  $D_{eff}$  جایگزین کنید.

$$I = K / N((L / D) + 2)$$

$I$  = Current through coil (amperes)  $K = 35,000$  (a constant, ampere-turns)  $N$  = Number of turns in coil  $L$  = Length of part (inches)  $D$  = Diameter of the part (inches)

**مثال:** جریان مورد نیاز برای مغناطیسی طولی یک قطعه به طول ۱۲ اینچ با قطر ۴ اینچ را با استفاده از تکنیک دورپیچ کابل با ۳ دور تعیین کنید.

$$I = 35000 / 3((12/4) + 2) \qquad I = 2333 \text{ amperes}$$

### فرمول قطعات توخالی

اگر قطعه ای دارای قسمت های توخالی است، قطر (D) را با قطر موثر (Deff) جایگزین کنید که با استفاده از: **تعیین قطر موثر** محاسبه می شود. برای قطعات تست توخالی و استوانه ای، قطر قطعه آزمایشی با قطر موثر محاسبه شده جایگزین می شود. قطر موثر را به صورت زیر محاسبه کنید: (قطر داخلی ID، قطر خارجی OD)

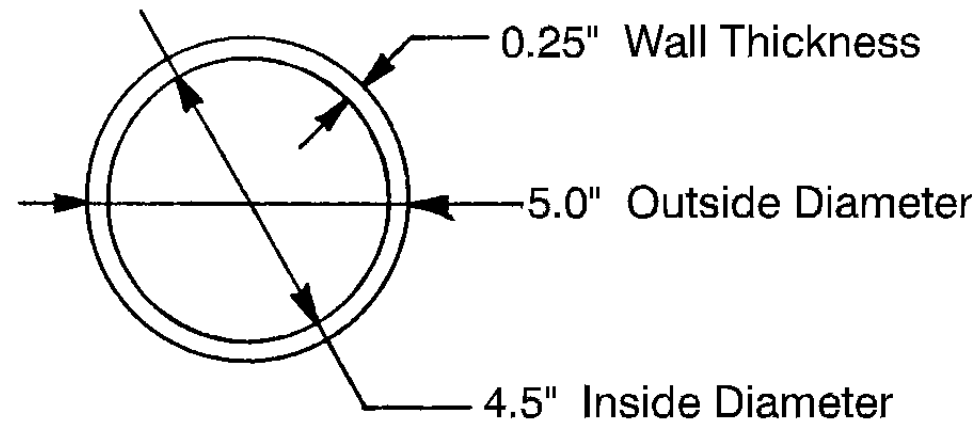
$$D_{eff} = \sqrt{(OD)^2 - (ID)^2}$$

**مثال:** قطر موثر یک قطعه لوله ای شکل با قطر خارجی برابر با ۵ اینچ و قطر داخلی ۴.۵ اینچ را تعیین کنید.

$$= \sqrt{(25 - 20.25)}$$

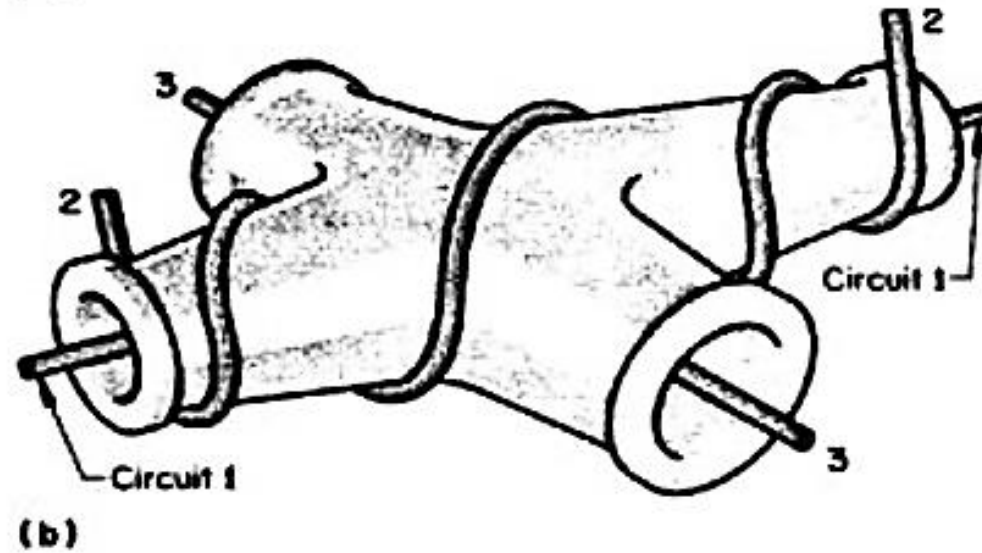
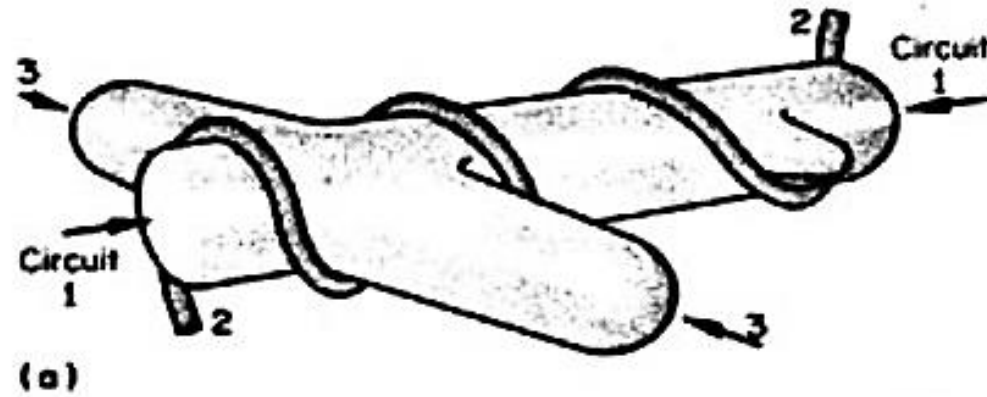
$$= \sqrt{4.75}$$

$$D_{eff} = 2.179$$



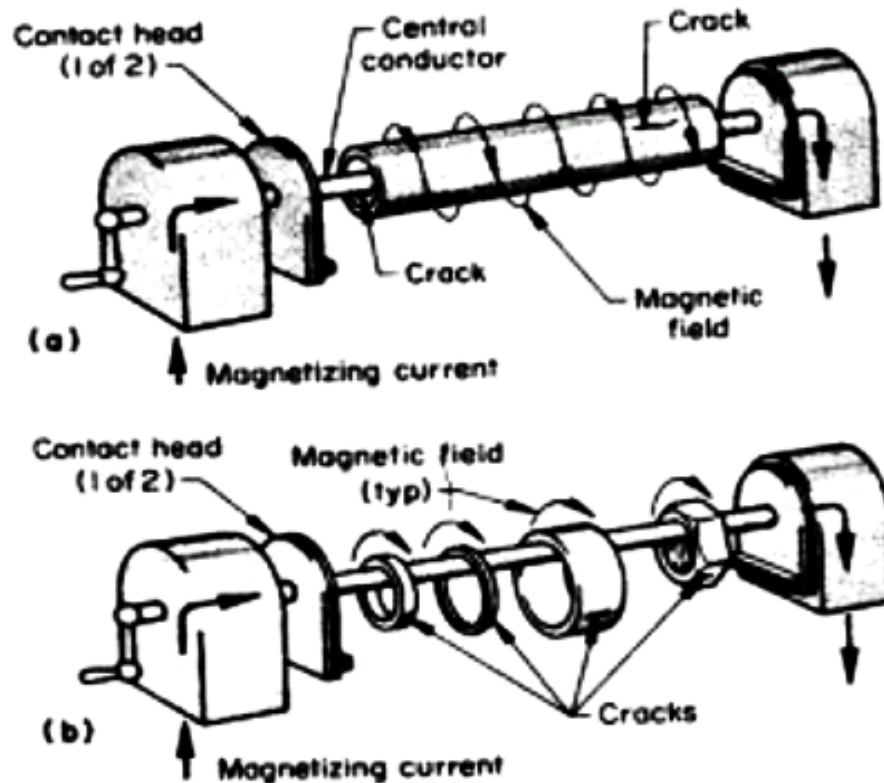
H0402057

# استفاده از کابل





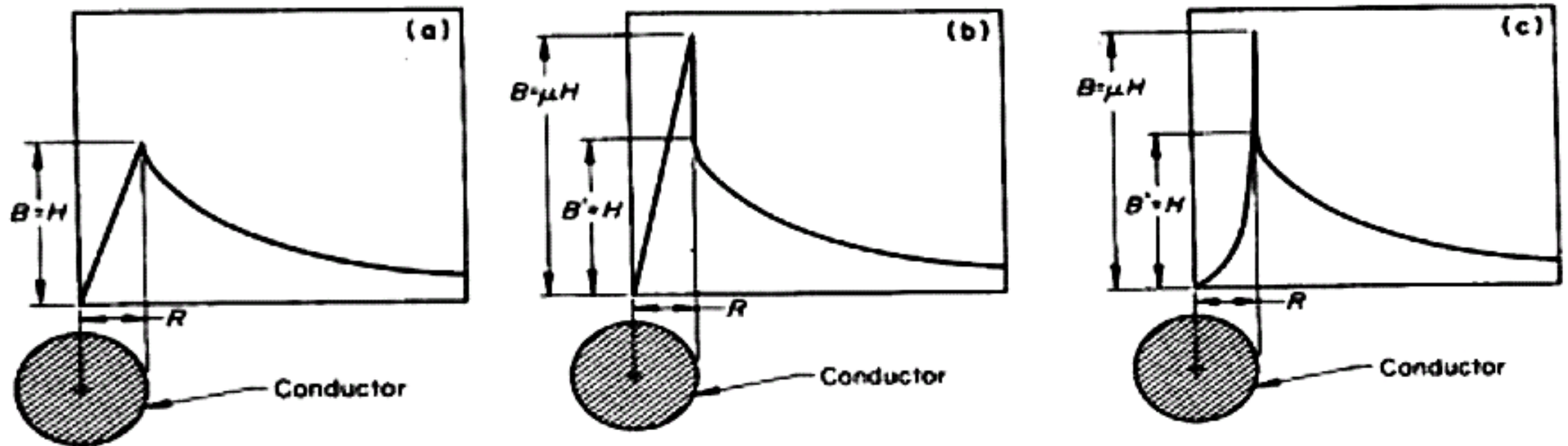
## هادی مرکزی (central conductor)



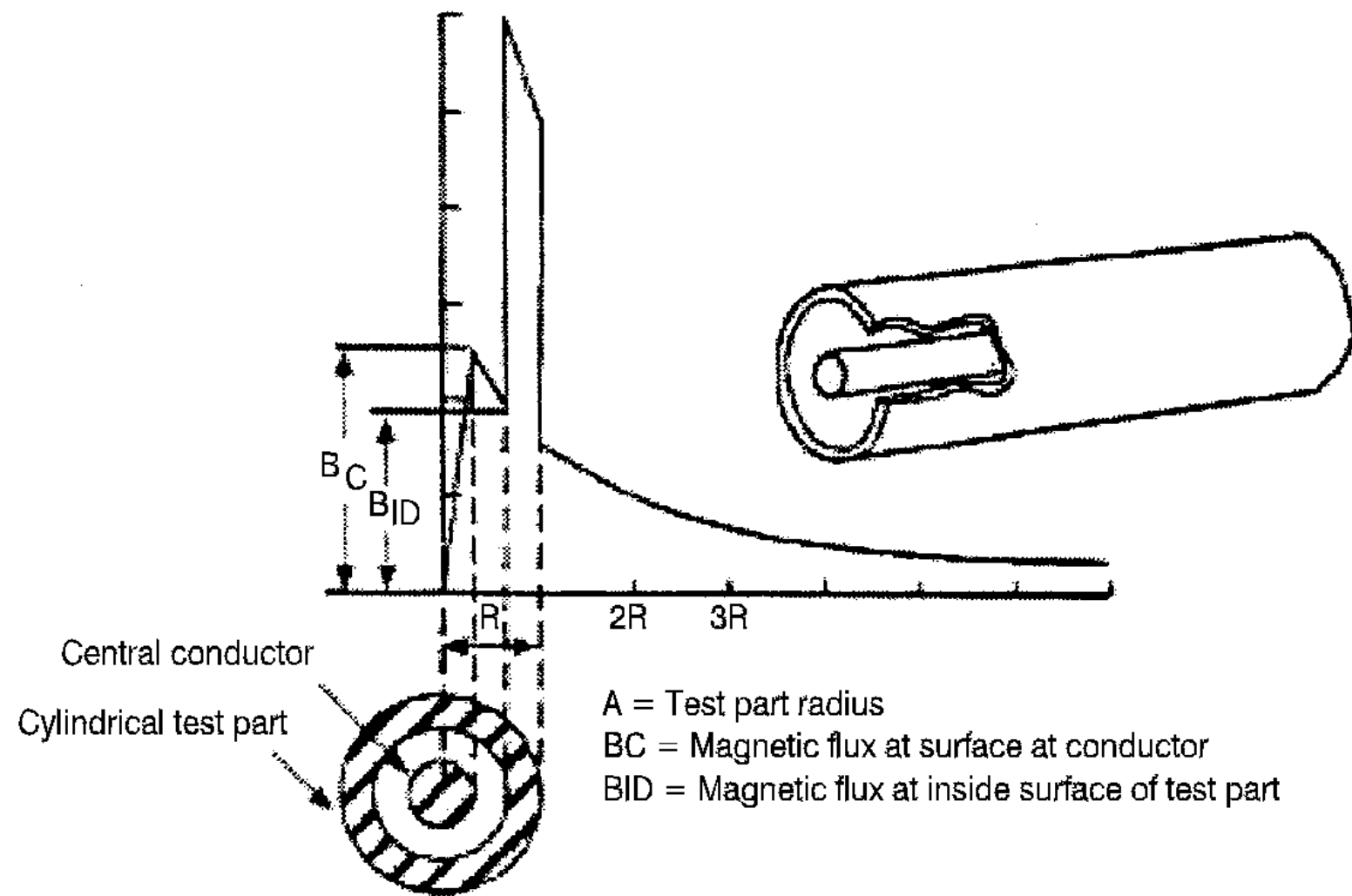
■ چگالی شار مغناطیسی با دور  
شدن از مرکز هادی کاهش  
مییابد

## 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.

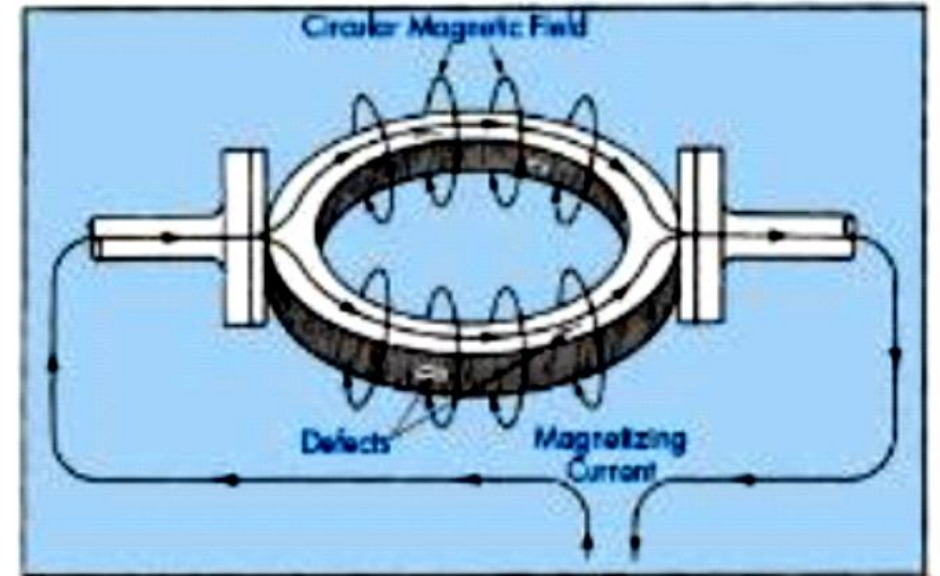
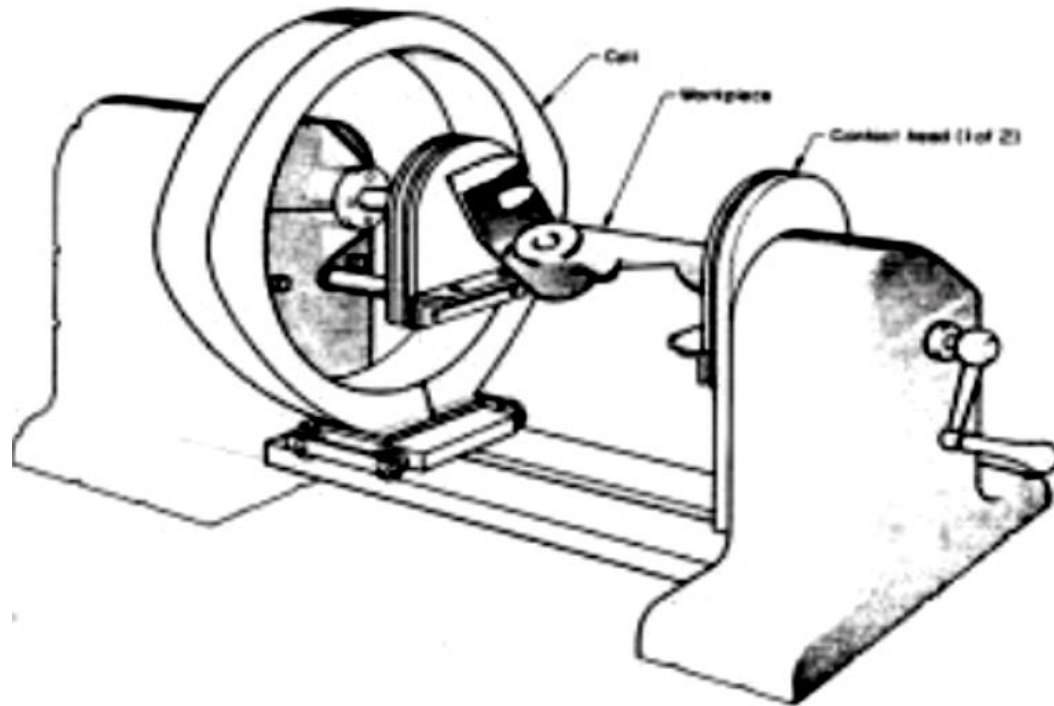


در سه وضعیت هادی مرکزی غیر مغناطیسی ، مغناطیسی با برق مستقیم و برق متناوب .  
بهترین شرایط در وضعیت هادی مرکز مغناطیسی با برق مستقیم است.

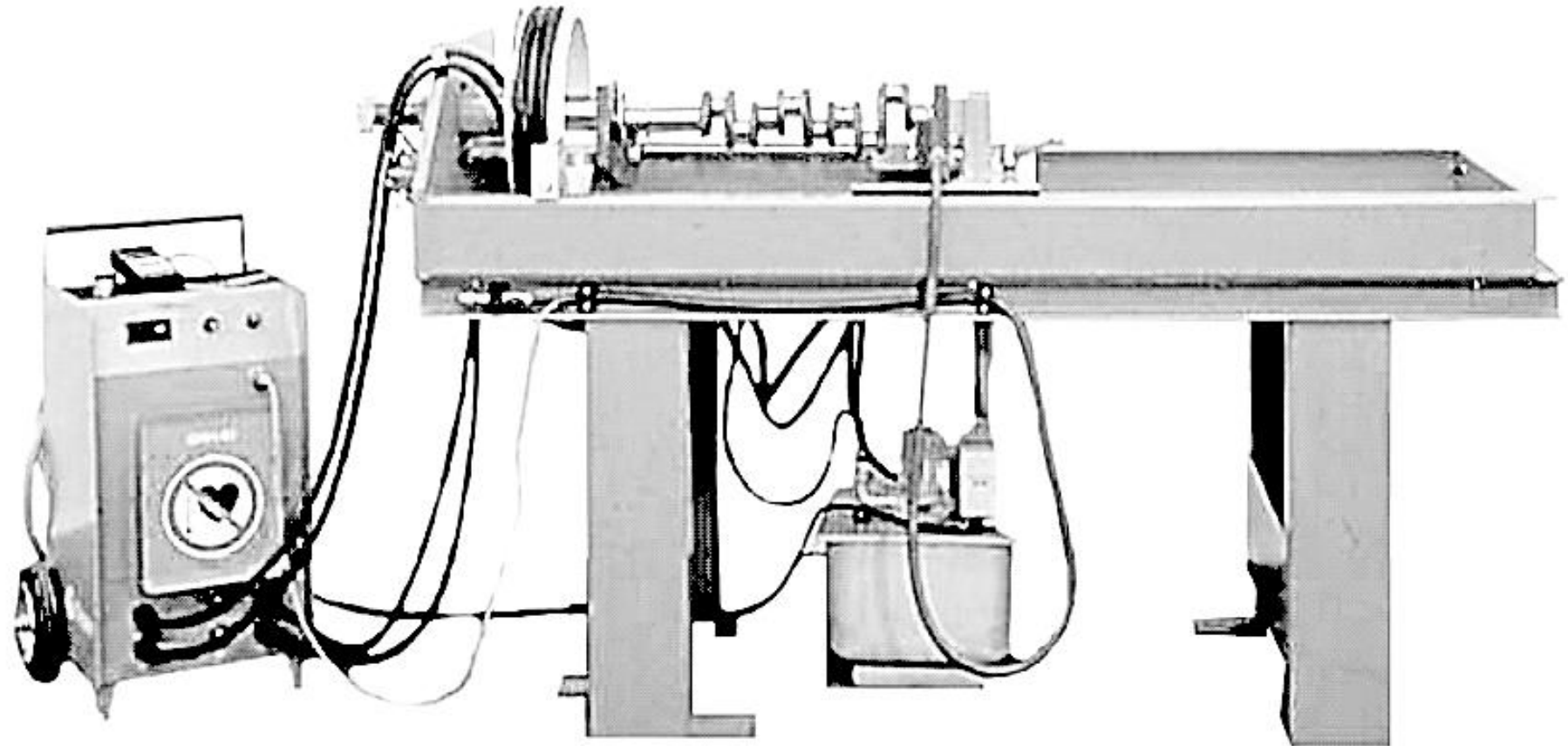


H0402006

# کله گی (head shots)

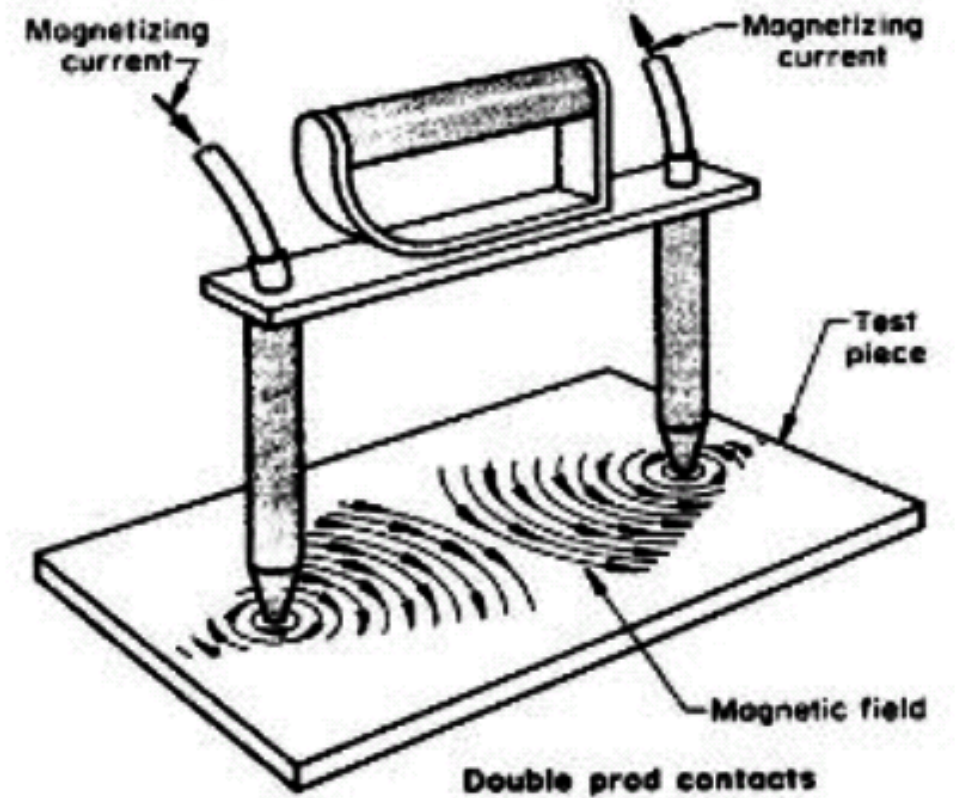
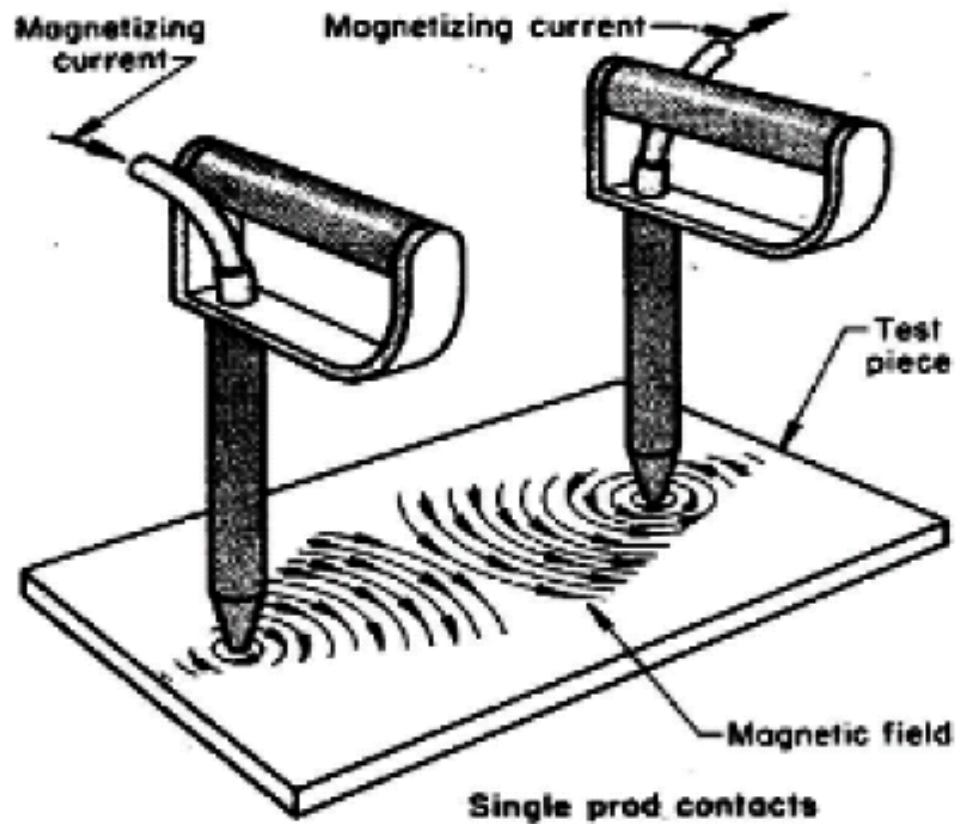


# میز آزمون ذرات مغناطیسی





# اتصال قلمی (prod contacts)

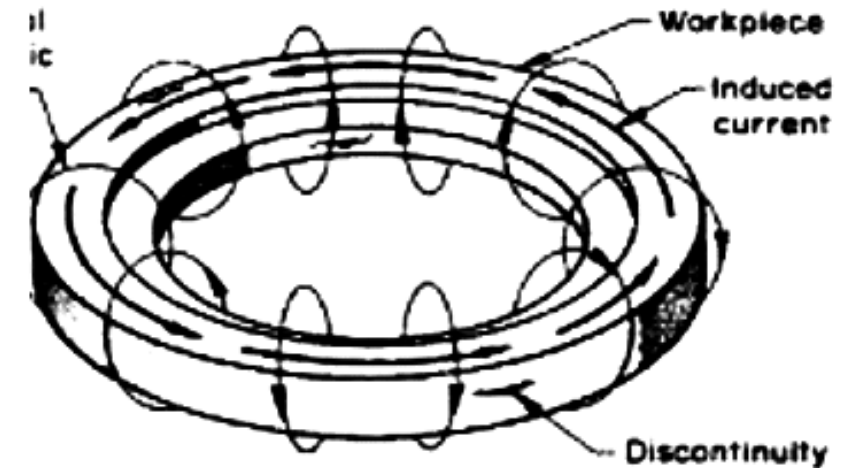
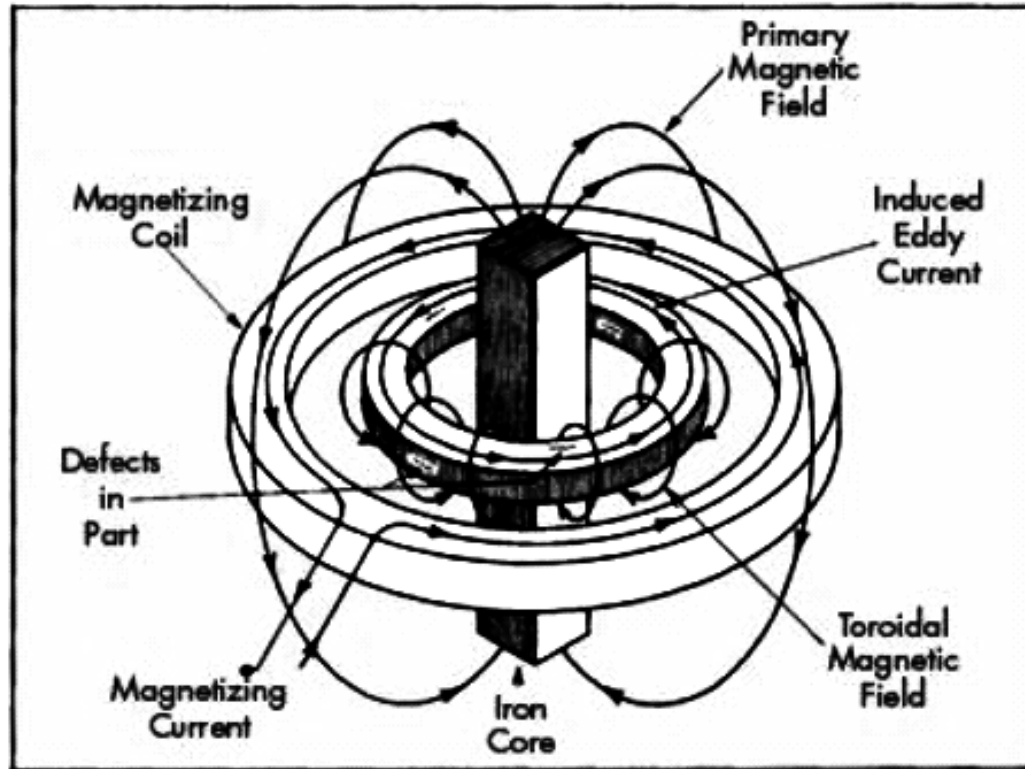


# اتصال قلمی (prod contacts)

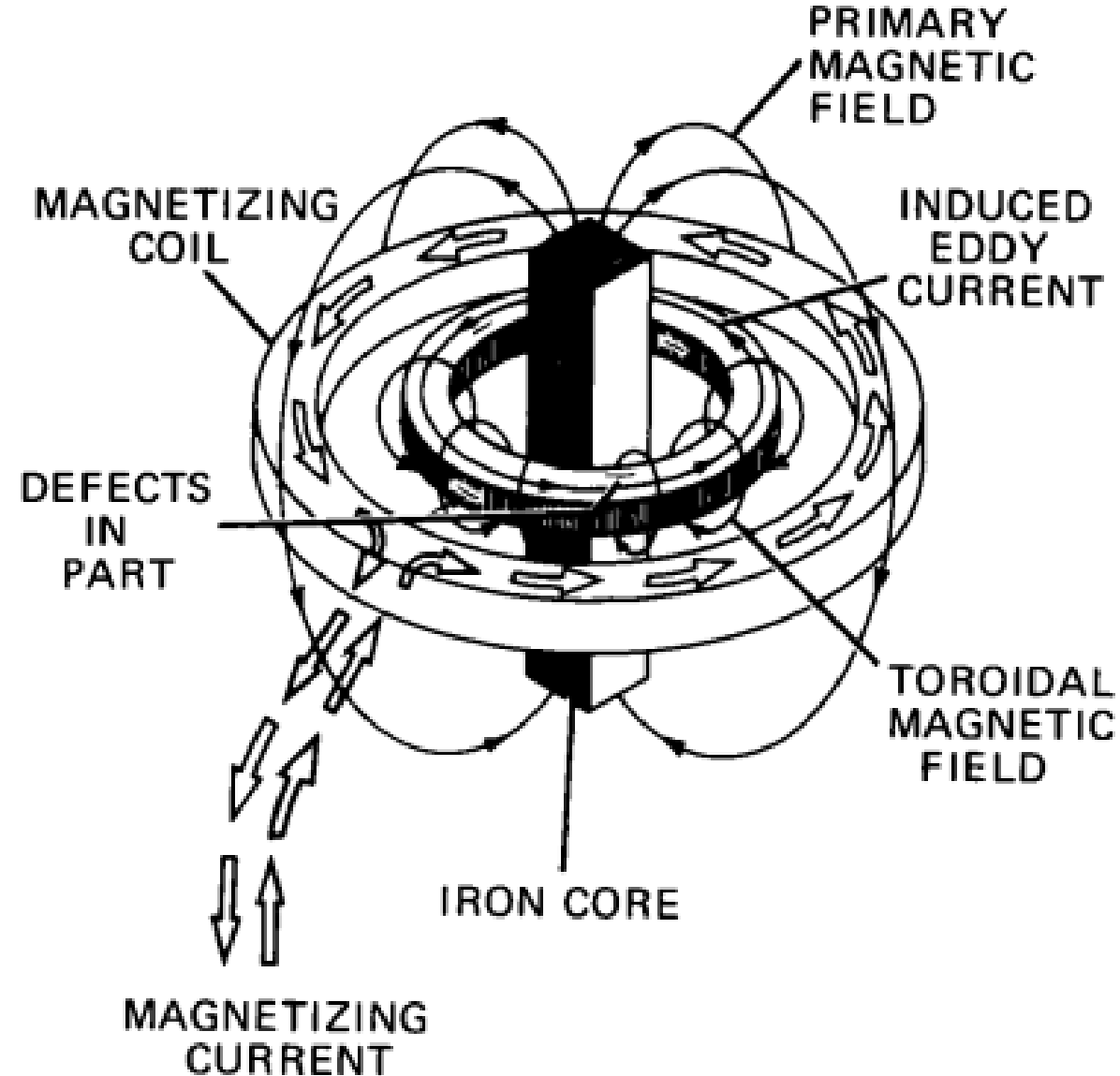




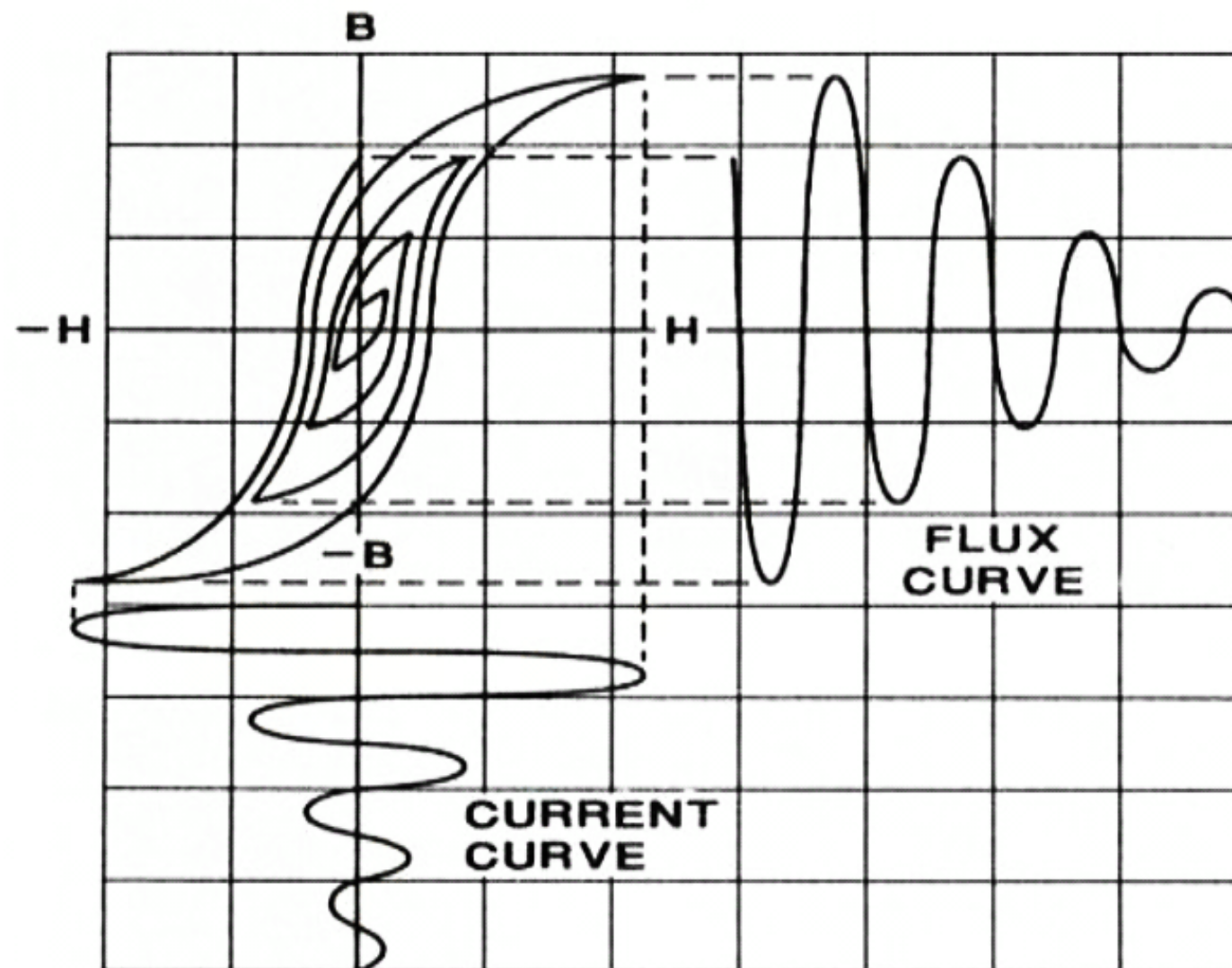
# جریان القایی (induced current)

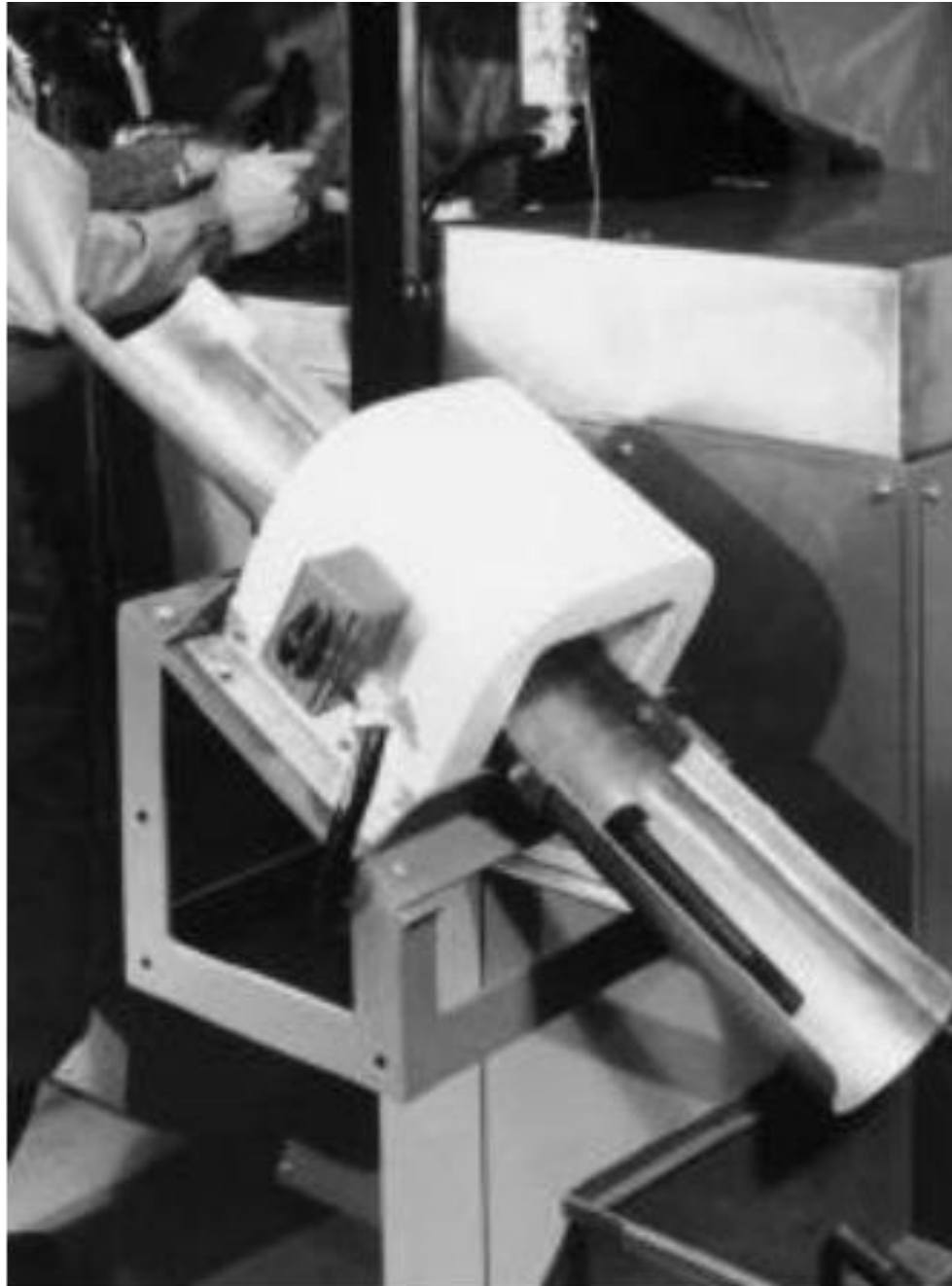


**Current and Field  
Distribution in a Bearing  
Race Being Magnetized by  
the Induced Current  
Method**



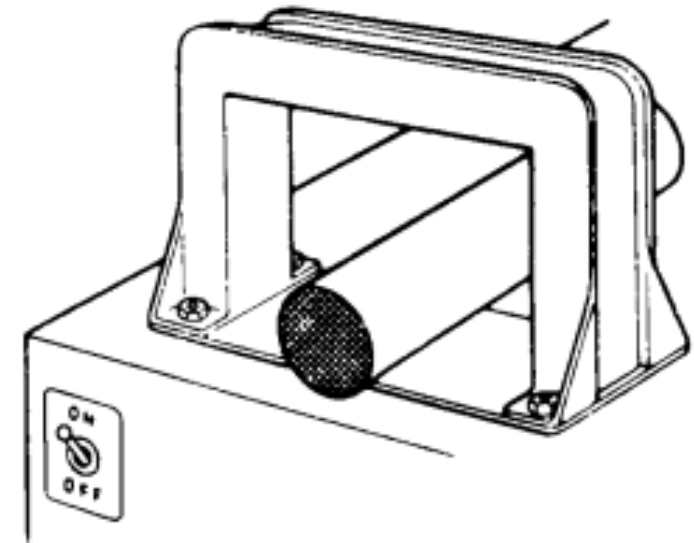
# مغناطیس زدایی قطعه





مغناطیس زدایی

***Demagnetization***



H0402011

**Figure 3-30. Part in Demagnetizing Coil**

## ذرات مغناطیسی

### ■ 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

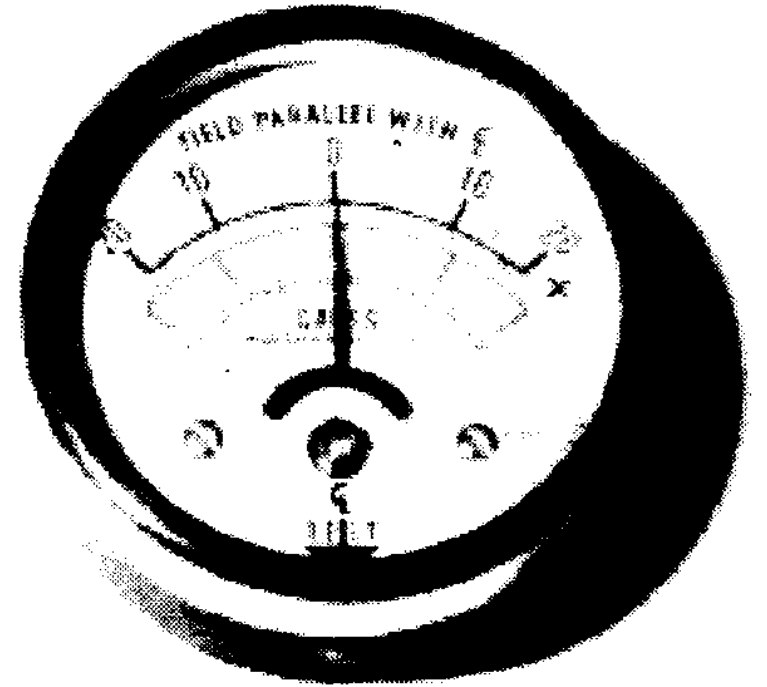
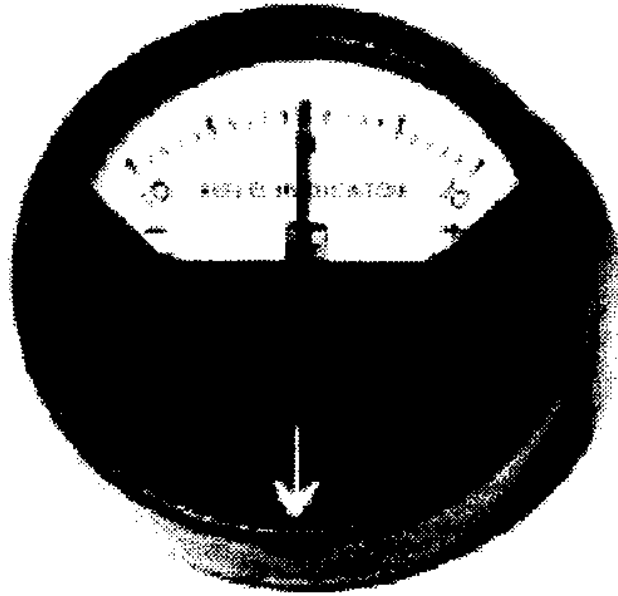
□ ذرات دو منظوره - هم زیر نور مرئی و هم زیر نور **UV** قابل مشاهده هستند.

□ تقسیم بندی ذرات مغناطیسی

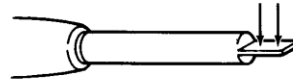
■ خشک - به صورت پودر

■ تر - معلق در آب یا ماده نفتی رقیق

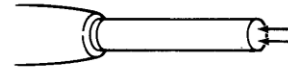
**Typical Field  
Indicators**



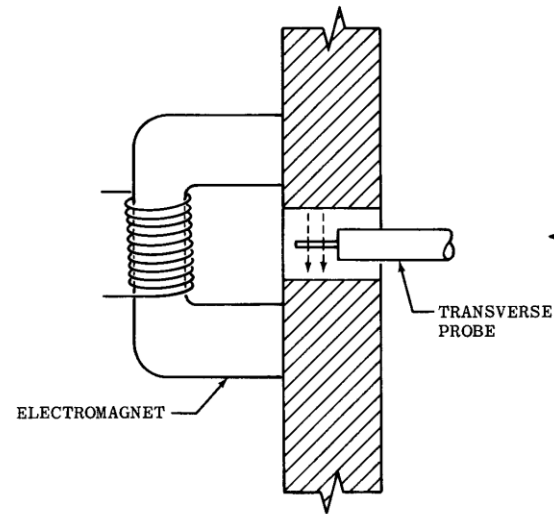
H0402002



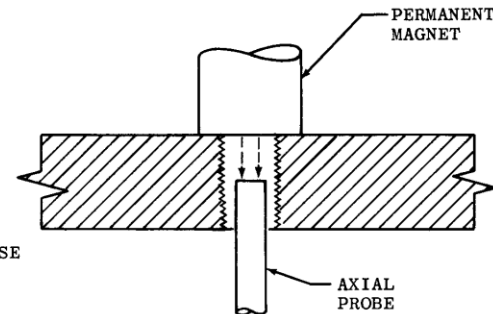
TRANSVERSE PROBE MEASURES  
COMPONENT NORMAL TO PLANE  
OF THE SENSING ELEMENT.



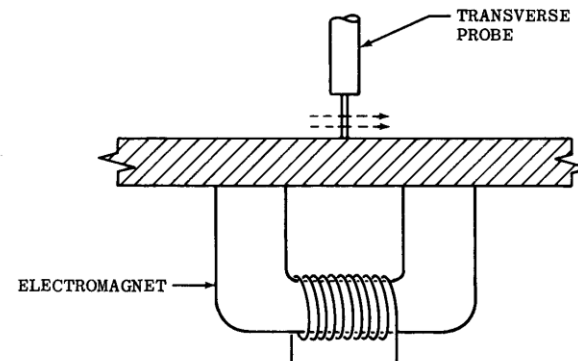
AXIAL PROBE MEASURES  
COMPONENT WHICH IS PARALLEL  
TO THE AXIS OF THE PROBE.



USE OF TRANSVERSE PROBE  
TO MEASURE FIELD IN HOLE.



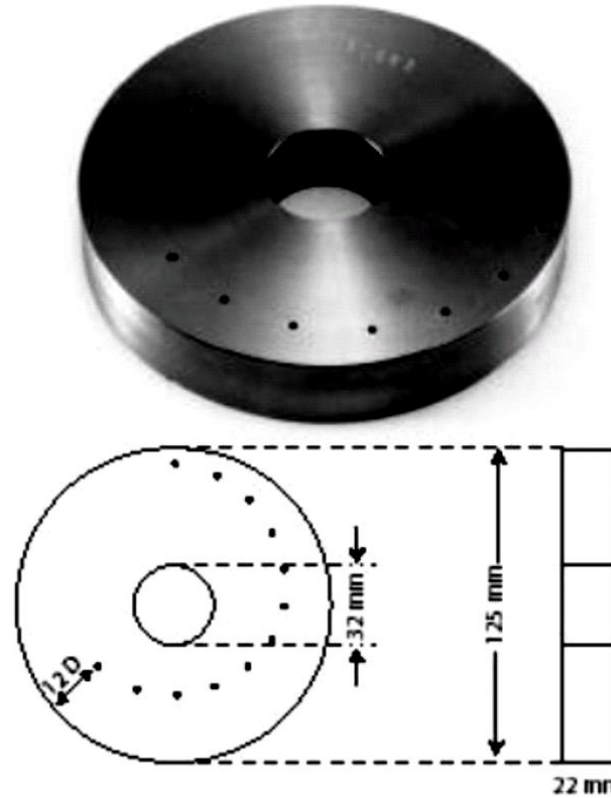
USE OF AXIAL PROBE TO  
MEASURE FIELD NORMAL  
TO THREADS IN A HOLE.



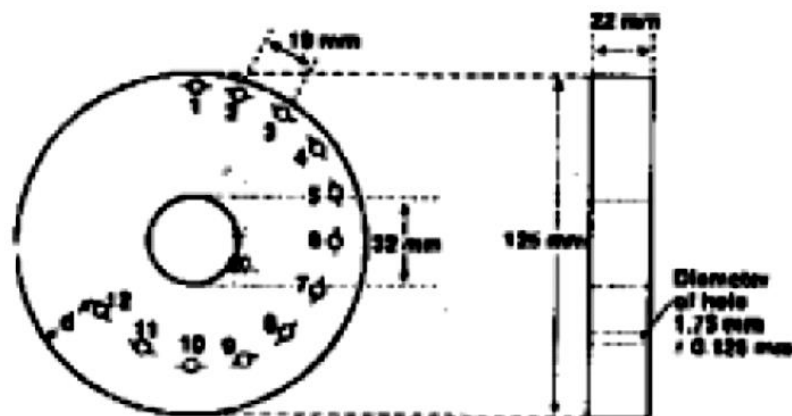
USE OF TRANSVERSE PROBE TO  
MEASURE FIELD ON SURFACE

**گوس متر. Gauss Meter**  
گوس متر اثر هال (تسلا) دارای  
پروب های قابل تعویض برای  
اندازه گیری میدان مغناطیسی  
موازی یا عمود بر محور کاوشگر  
است. پروب را مطابق شکل در  
سوراخ یا روی سطح قرار دهید.

## کنترل کیفیت MT – حلقه کیتوس (Ketos Ring)







(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

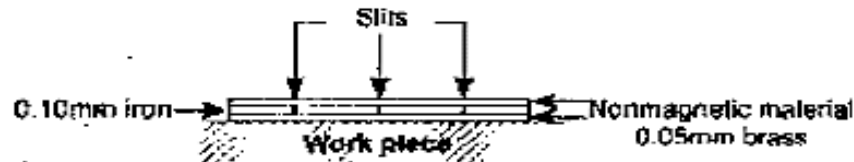
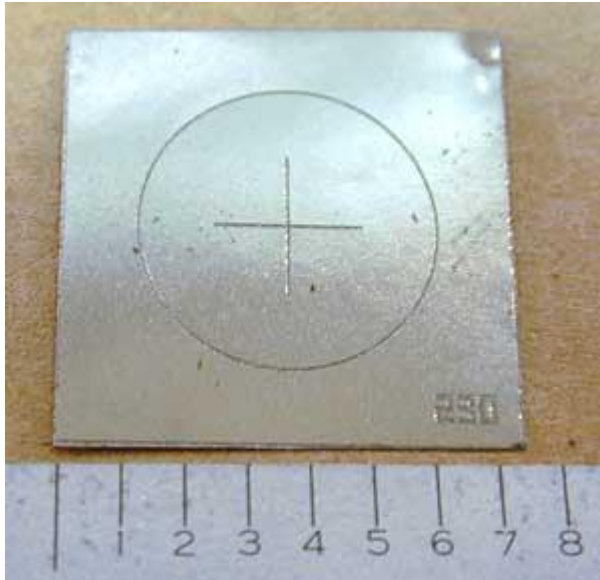
1400	4
2500	6
3400	7

Fluorescent suspension (wet)

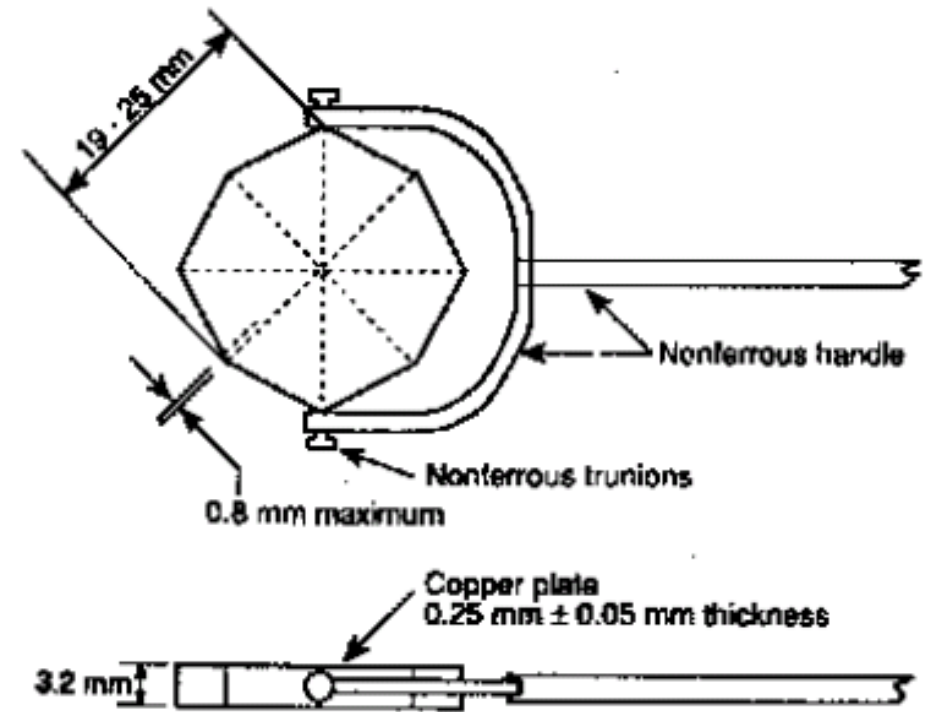
1400	3
2500	5
3400	6

Source: Ref 64

(c)



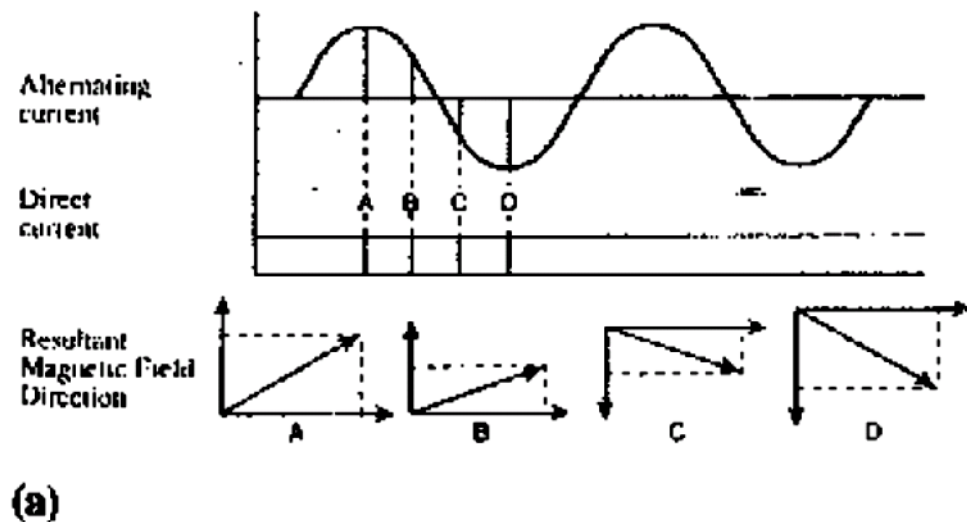
**Shim**



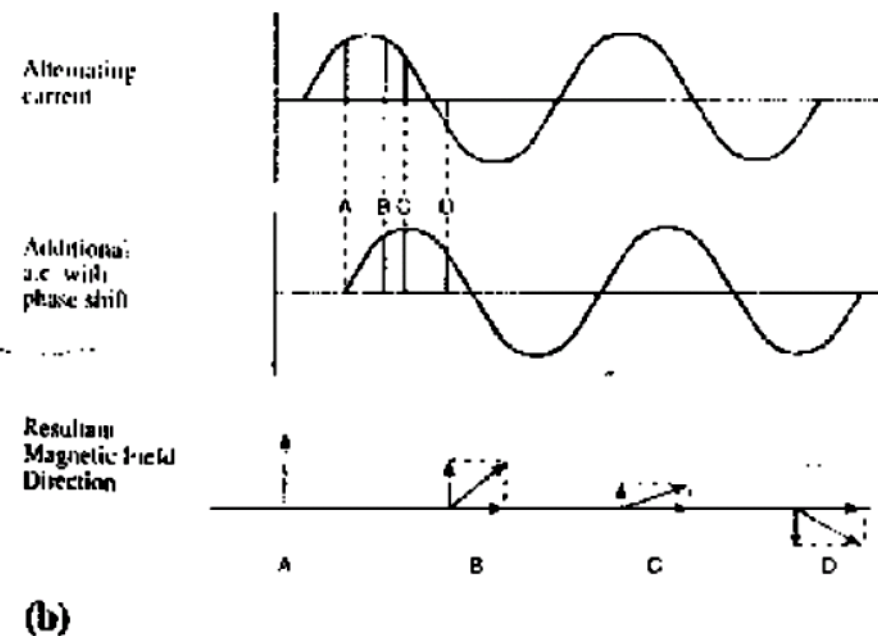
**Fig. 5.10** Pie gage magnetic field indicator. The gage is a disk of high magnetic permeability, divided into six or eight segments separated by gaps containing a non-magnetic material of different thicknesses. The pie gage is placed in contact with the test surface, and the magnetic particles spread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

**Pie Gage**

# میدان چرخان



ترکیب جریان ac و dc



ترکیب جریان جریان ac که  
اختلاف فاز کمی دارند

**TABLE 4.1** Advantages and Disadvantages of MPI

Advantages	Disadvantages
<p>Accurate and reliable</p> <p>Simple to operate</p> <p>Indications are produced directly on the surface of the part</p> <p>Little training needed for operators</p> <p>Almost no limitation on size or shape of the part being tested</p> <p>Works well through thin coatings of paint, or other nonmagnetic coverings such as plating</p> <p>Detects cracks filled with foreign material</p> <p>Provides some crack depth information</p> <p>Low cost</p> <p>Forgiving of mistakes</p> <p>Some subsurface sensitivity</p> <p>Lends itself well to automation</p>	<p>Requires ferromagnetic material</p> <p>Only detects surface-breaking and near-surface cracks</p> <p>For maximum sensitivity the surface should be thoroughly cleaned and dried</p> <p>Demagnetization is often necessary</p> <p>Exceedingly large currents are sometimes required for the testing of very large castings and forgings</p> <p>Can heat and burn highly finished parts at the points of electrical contact</p> <p>Individual handling of parts for magnetization is often necessary</p> <p>Contact with the surface is sometimes required</p> <p>Some parts require multiple inspections</p>

- Benefit of Magnetic Particle Inspection. MPI is the method of choice on ferrous materials instead of liquid penetrant because it is faster, requires less surface preparation, and in some instances is able to locate subsurface flaws.

- **Fluorescent dyes** on particles in a liquid suspension are used to find **very tight** surface flaws.
- **Visible dyes** on dry particles are **less sensitive** to tiny surface defects, but are better for finding **sub-surface flaws**.