

磁粒檢測 Magnetic Particle Testing

報告人：黃啟貞

台灣金屬材料品管有限公司

Tel: 07-8019312, 8019340 Fax: 07-8063017
WEB: www.tmqc.com.tw



1. 磁粒檢測

磁粒檢測係藉由磁力線在工件內分佈的情況，當遇到瑕疵而產生磁漏外洩時，該磁漏會吸引所施加的磁粒而形成顯示。而迅速、有效檢出物件表面及次表面瑕疵，其原理非常簡單，並不需要高深學問與技術，檢驗結果又能直接顯示在物件表面，一般人容易接受與學習，且設備花費較少。

1.1 應用與限制(Applicability And Limits)

任何一種檢驗方法都有它的特色及先天的限制，磁粒檢測也不例外。當我們決定選用這種方法之前，讓我們先瞭解磁粒檢測能幫我們做到什麼程度，那些又是磁粒檢測無法達到的。

1.2 應用範圍

- 1) 磁粒檢測只適合於檢測鐵磁性材料，如：鐵、鈷、鎳及其合金；
- 2) 能檢測表面及次表面瑕疵；
- 3) 無論鑄造、鍛造、軋延、熱處理、機械加工或研磨後之物件均可用此法檢驗，而且形狀大小都不受限制。

1.3 MT之優、缺點

※優點

1. 表面細淺裂紋狀瑕疵最可靠之檢測方法。
2. 簡易
3. 直接顯示，省時易判。
4. 易學，不必長期訓練，亦不必高深技巧。
5. 被檢物形狀無啥限制。
6. 可檢測異物填充之瑕疵。
7. 表面清潔度之要求不高(與PT比)。
8. 表面鍍膜或薄層油漆並不影響檢測。
9. 易自動化。

※缺點

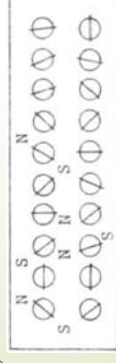
1. 只適用於鐵磁性材料之檢測。
2. 磁力線與瑕疵走向相互垂直才有良好的檢測靈敏度。
3. 接觸棒法(Prod)其接觸點應隨時處理乾淨，避免因電流過大及接觸不良所產生之弧擊。

2. 物理原則及相關知識

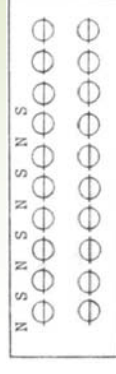
2.1 磁田

磁田(Domain)為磁的最小單位，在鐵磁性材料中，所有原子自旋角動量和磁矩皆自動指向同一方向，稱為一磁田。

常溫下每個磁田的磁矩方向並不相同，且分佈雜亂不規則如圖左所示。若將此鐵磁性材料予以磁化，則其全部或部分磁田磁矩將沿一方向整齊排列，如圖右所示。



雜亂不規則磁田



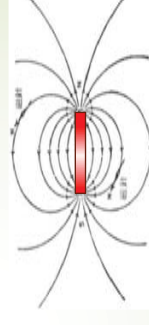
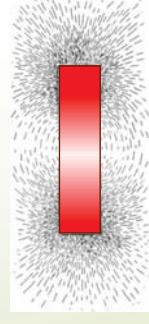
一定方向整齊排列磁田

2.2 磁極

- 凡物體具有吸引鐵片能力者稱之為磁鐵：
永久磁鐵(Permanent Magnet):凡永久性或多或少保有磁性者稱為永久磁鐵
暫時磁鐵(Temporary Magnet):僅當有磁化力作用時才具磁性者稱為暫時磁鐵。
 - 磁鐵具有相吸或相斥能力，並非均勻分佈在整個表面上，而是僅集中在局部區域裡，此具磁性相吸或相斥能力存在的區域稱之為磁極。磁極分南(S)、北(N)兩極，同極性相斥、異極性相吸。
- ## 2.3 磁力
- 若兩相同極性靠近，則有一定量的排斥力存在於兩磁極間。同樣的若兩相異極性靠近，則有一定量的吸引力存在於兩磁極間。
 - 事實上此一作用力與磁性材料的種類、形狀、大小、磁性強弱及作用的距離有關。此作用力與磁性強度成正比，與距離平方成反比。

2.4 磁場

- 在磁鐵或載流導體周圍的空間中，其影響所及處，稱為此磁鐵或載流導體的磁場範圍。
- 此磁場僅限於磁力所能辨別的空間，故磁場範圍的大小需視偵測儀器的靈敏度而定。儀器靈敏度愈佳，則磁場範圍愈廣；反之，則磁場範圍愈窄



棒形磁鐵磁場

2.5 磁通量與磁通密度

- 磁路中所有磁力線總數稱為磁通量，單由磁力線總數並不能描述出磁力線集中的程度，將每單位面積內含有磁力線的數目定為磁通密度；事實上磁通密度就是磁場強度的表示方法，其符號為B；單位為高斯(Gauss)。
- 一高斯相當於每平方公分有一馬克斯威爾(Maxwell)的磁通密度，另外有以韋伯/米平方(Weber/m²)表示或稱為特斯拉(T)， $1T=1Wb/m^2=10^4$ 高斯。

2.6 磁場強度

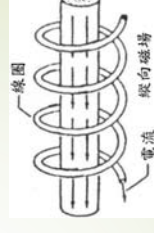
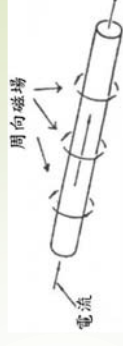
- 為量測磁場中一定點的磁場強度，磁針在棒形磁鐵磁場中，會受到一定大小的磁力作用，此磁場強度即為單位磁極所受力的大小。磁場強度之符號為H，單位以奧斯特(Oersted)或安培-匝/米(A-N/m)表示。一奧斯特相當於作用一單位磁極產生一達因(dyne)作用力的磁場強度，相當於每公尺有 $1000/4\pi$ (約80)安培-匝的磁力。

2.7 磁場方向

- 在電磁線路中磁極方向，是由通過被檢物之磁化電流方向決定，磁場方向常垂直於電流進行的方向。

2.8 磁場種類

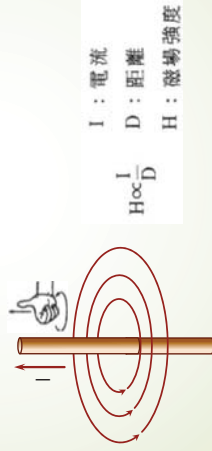
- 在磁粒檢測應用上，磁場種類可分為兩大類：
 - 周向磁場
 - 電流直接通過被檢物或經由中心導體所產生之圓周方向的一種磁場。
 - 縱向磁場
 - 磁場方向為與被檢物縱軸方向平行之磁場。



2.9 電路所產生的磁場(Magnetic Field Created By Electric Circuits)

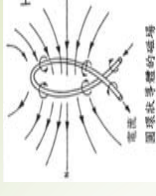
2.9.1 直線導體所產生的磁場

■磁是運動電荷(或電流)對外表現的一種現象。下圖為一載有電流直線導體所產生的磁場，呈現與導體垂直的同心圓排列。如果我們將磁針由不同方向靠近該導體，則可由磁針受力的情形了解磁場方向。更可進一步發現此磁場強度H與電流I成正比，與距離D成反比。

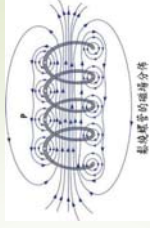


2.9.2 線圈內的磁場

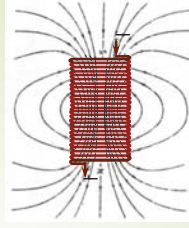
■將直線導體彎成一圓環狀，通電後其所產生磁場仍沿導體周圍呈圓形分佈，而磁場在此圓環內有一定方向，此環的一端為北極，另一端為南極，如圖右所示。



■將此直線導體繞成數圈即成為線圈，又稱為螺管(Solenoid)。圖右表示一鬆繞螺管的磁場外觀，由於線圈間空隙較大，反向磁場彼此抵消，故螺管內磁場強度較個別圈數總和要弱。當螺管緊密繞製，並假設螺管長度為無限長時，則螺管外之磁場應接近零。



■實際上螺管的長度有限，圈數間亦會有少許空隙，但圈內磁場強度仍比圈外大得多，此時磁場分佈與棒形磁鐵會相類似，如圖右所示。



2.9.3 右手定則

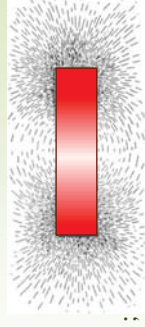
為易於記住圍繞導體的磁力線方向，電流所感應產生的磁場方向可用一簡單方法求出。將右手大拇指指向電流方向，則其餘四指所指方向即為圍繞導體的磁力線方向，也就是磁場方向，此稱為右手定則，如圖所示。



2.10 從磁性介質通過到非磁性介質磁通量的變化

2.10.1 磁力線

■把鐵粉灑在一張下面置有永久磁鐵白紙上，並略為震動紙張因鐵粉受磁鐵極性吸引所顯示的如。它呈現一封閉曲線，實際上磁場即是由這些磁力線所組成的，而磁場之作用力方向就是沿著這組曲線的方向。

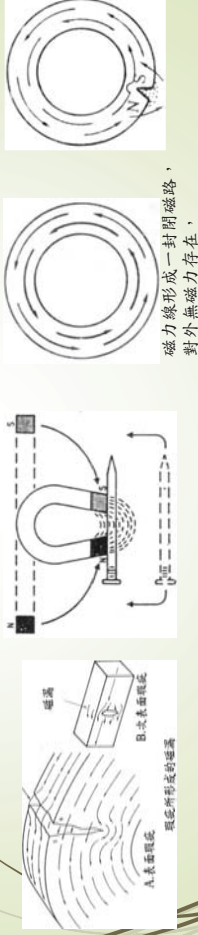


■磁力線具有下列特性：

- 所有磁力線均為封閉曲線；
- 磁力線由磁極處垂直進出磁鐵，永不相交；
- 磁力線尋求最低磁阻之途徑；
- 磁力線方向在磁鐵外由N至S，在磁鐵內由S至N；
- 磁力線以在磁極處密度最大。

2.10.2 磁漏

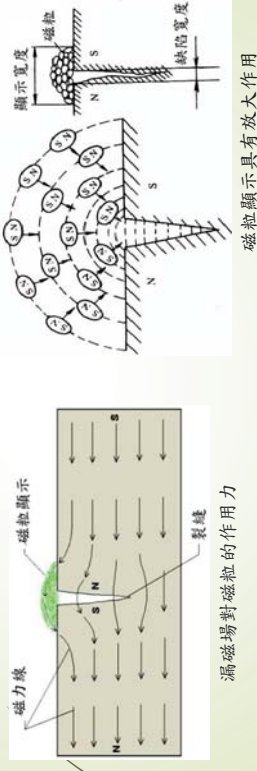
- 磁漏為在磁力線路中受到干擾而進出材料表面的一種現象。每一種材料均有其飽和磁通密度，也就是單位截面積所允許通過的磁力線數目有最大值的限制；亦即單位截面積所通過的磁力線數量一定。
- 當被檢物上有瑕疵，磁力線將尋求最低磁阻之路徑，會自行扭曲變形沿被檢物內部通過，使瑕疵附近單位截面積之磁力線數目增加，即磁通密度增加。如所作用之磁場強度夠強，使磁力線總數大於瑕疵附近允許通過磁力線數量時，磁力線便被排擠而跳出被檢物表面，造成磁漏現象，如圖所示。



2.11 磁間斷的磁通量

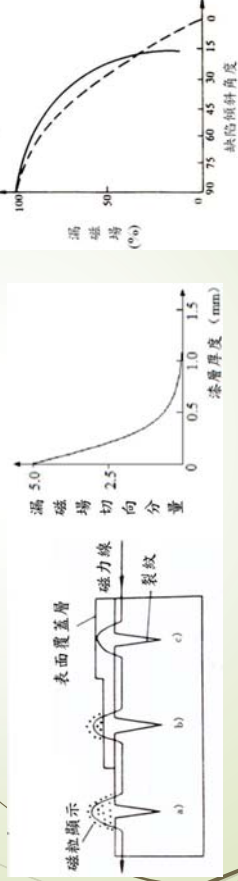
2.11.1 漏磁場對磁粒的作用力

- 瑕疵、間斷會造成磁阻增加，使局部磁場變形而吸附磁粒是磁極N極和S極的作用。磁粒在磁極區也被磁化，呈現出聚集現象，如圖2-17。
- 磁粒顯示具有放大作用，能將目視不可見的缺陷變成目視可見的顯示，如圖2-18所示。



2.11.2 檢測時缺陷深度與方向的影響

- 缺陷埋藏深度的影響
 - 工件表面時，產生漏磁場大；若位於工件表面很深處，則幾乎沒有漏磁場洩漏出工件表面，參考圖所示。
- 缺陷方向的影響
 - 缺陷垂直於磁場方向時漏磁場最大，也最有利於缺陷檢出。若與磁場方向平行則幾乎不產生漏磁場。下降曲線類似於正弦曲線由最大值降至零值，如圖所示。



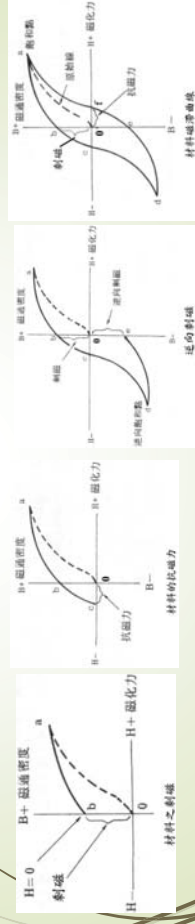
2.12 材料的磁化特性 (Magnetic Properties of Materials)

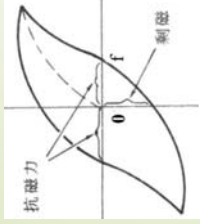
2.12.1 磁滯現象

- 當作用於鐵磁性材料之磁化力改變時，磁力效應無法即時隨之改變所呈現的一種遲緩改變現象，稱之為磁滯現象 (Hysteresis)。

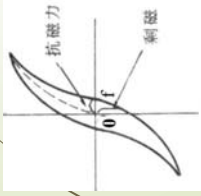
2.12.2 磁滯曲線

- 材料的導磁能力可由磁化力 (電流強度) 及磁通密度的關係求出。將未磁化的材料置於一磁場中，增加磁化力直到材料之磁通密度達到飽和點；每一種材料均有一磁通密度最高點 (飽和點)。





硬鋼之磁滯曲線



軟鋼之磁滯曲線

磁滯曲線特性

	特性	硬鋼或高磁鋼 此類材料其磁滯曲線較胖、寬大。	軟鋼或低磁鋼 此類材料其磁滯曲線較瘦小、細長。
1	導磁率	低---不易被磁化	高---容易被磁化；
2	磁阻	高---對外加磁場的阻抗大	低---對外加磁場的阻抗小
3	剩磁	大---保持較大剩餘磁場	小---不易保持剩餘磁場
4	保磁性	高---剩餘磁場大；	低---剩餘磁場小
5	抗磁力	大---需要較大反向磁化力以消除剩餘磁場。	小---需較小反向磁化力消除剩餘磁場

2.12.3 剩磁

- 當外加磁化力移除後，磁性材料本身所保存的磁力，稱為剩磁。磁性材料所保存之剩磁值與該材料的種類有關，細而長形狀比粗而短之形狀更易保有較多的剩磁。
- 碳鋼的剩磁與含碳量及硬度有密切的關係，一般而言含碳量在 0.95% 左右時，剩磁最大。經過熱處理後之合金鋼剩磁，亦比未經熱處理的大。

2.12.4 保磁性

- 當外加磁化力移除後，磁性材料仍保存剩磁的能力，稱為保磁性。通常導磁率高的材料保磁性較低，導磁率低的材料保磁性較高。

2.12.5 抗磁力

- 消除材料中剩磁所必須外加的反向磁化力，稱為抗磁力。高碳鋼由於剩磁較大，所以也需要較大的反向磁化力。

2.13 磁性材料、居里點 (Magnetic Materials, Curie Point)

2.13.1 磁性材料

- ① 鐵磁性材料置於外加磁場中，其磁通密度隨磁場強度增加而增加，然而磁性隨材料種類而異；
- ② 軟鐵易於磁化，即使在弱磁場下易可強烈地被磁化。
- ③ 高碳鋼則需要較強的磁場，才能夠被磁化至相同程度。
- ④ 鑄鐵、鈷、鎳雖易於被磁化，但其飽和磁通密度較低，當外加磁場移除後，剩磁較小，所需的反向抗磁力也較小。
- ⑤ 鐵磁性材料的磁性與原子結構、硬度、化學成分、物理性質及外加磁場的強度均有關係。
- ⑥ 居里點(居里溫度或磁性轉變點)，是指磁性材料中自發磁性強度降為零時的溫度，是鐵磁性材料轉變為順磁性材料的溫度臨界點，通常由材料化學成分和晶相組織結構而定。

2.12.6 非磁性材料 (Non-Magnetic Materials)

2.12.6.1 抗磁材料

- 1846 年法拉第 (M. Faraday) 發現一小塊鈹靠近強磁場區域時，會受到排斥力，稱此類材料具有抗磁性。所有物質都會對外加磁場作出不同程度的抗磁性反應；但對於同時擁有其他磁性性質如鐵磁性和順磁性的材料，抗磁性可以完全忽略不計。抗磁性材料有：鈹、水、石英、金、銀、銅等等，其導磁係數小於且接近於 1。

2.12.6.2 順磁材料

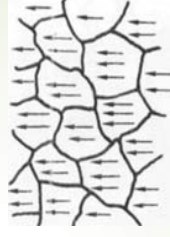
- 有些材料的結構具有永久性磁矩，其外加磁場方向向整齊排列的趨勢減弱。因此，沿磁場方向產生的磁性強度不大的順磁材料特性。如：鋁、鎂、鋰、鈹、鈾、鈾、氧等等，其導磁係數接近且大於 1。

2.13.2 鐵磁材料

■鐵磁材料在常溫下，每個磁田的磁矩方向並不一樣，且分佈也雜亂不規則，所以整塊材料平均起來，其磁矩幾乎等於零，如A所示。若加一強磁場，則所有磁矩沿一定方向整齊排列，此材料即具有磁性，如B所示。鐵磁性材料的導磁係數大且遠大於1，常見的材料有鐵、鈷、鎳及其合金。



A
鐵磁材料磁田雜亂列



B
磁田雜亂列外加磁場整齊排列

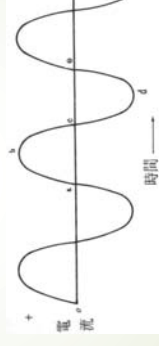
3. 磁化電流種類(Magnetizing Electric Current Types)

■磁粒檢測用以磁化物件的電流，視材料種類、形狀、大小和瑕疵種類、位置而定。

■通常可分為：交流電、直流電、半波直流電、全波整流電

3.1 交流電

- 交流電是磁粒檢測法中最常使用的電源，其電流變化如所示。
- 交流電可利用變壓器來改變電壓，通常磁粒檢測法中所使用的交流電源為110~440伏特60赫茲(Hz)之單相交流電。



3.1 交流電

■所感應磁場分佈趨向於物件表面，因此穿透能力差。

■使用交流磁化的特性：

- ① 交流電壓易於用變壓器調整，可適合於檢驗不同材料、形狀和大小之物件；
- ② 交流電之感應磁場集中於物件表面區域，對表面瑕疵出效果及靈敏度最佳；
- ③ 交流磁場，由於方向、強度不斷改變，增加磁粒流動性，易於顯示表面細微瑕疵；
- ④ 交流剩磁多集中於物件表面，容易使用交流電法去磁；
- ⑤ 交流電所感應磁場穿透力較差，對表面瑕疵靈敏度差，檢驗效果較差。

3.2 直流電

■直流電不易調整電壓，對物件尺寸調整電流大小的周向磁化並不適用，通常只用於螺管線圈和磁軛之磁化。

3.3 半波直流電

① 單相交流電經整流器整流而成為半波交流電，通常稱為半波直流電。半波直流電多使用低電壓，大電流的整流器供給。

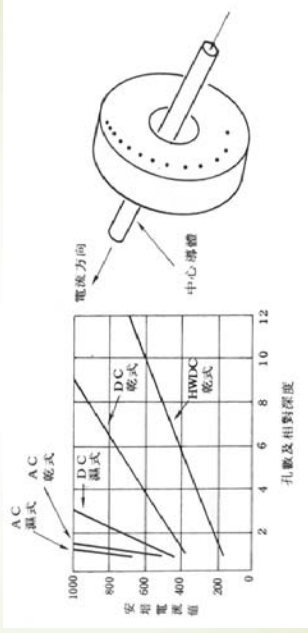
② 整流器串聯於交流電源和負載之間，由於僅容許正半波(或負半波)電流通過，所以電流具有脈動性。

③ 使用半波直流電磁化的特性：

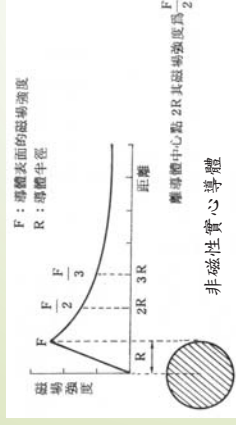
- 所使用之交流電源容易取得，同時可藉變壓器調整電壓之高低；
- 穿透能力較強，亦即可檢驗距離表面較深處的瑕疵；
- 由於半波直流電的脈動效果，可增加磁粒的流動性，容易形成顯示。

3.4 穿透特性

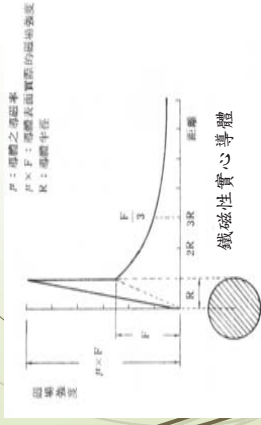
- 對表面瑕疵的檢驗，交流電較直流電或半波直流電具有更高的靈敏度；但論及穿透能力，則以半波直流電效果最好。
- 半波直流電較直流電穿透能力高，是由於半波直流電具有脈動效果，可增加磁粒流動性。



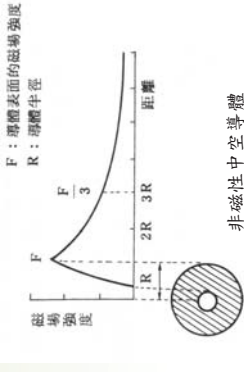
導體通電整體磁場強度分佈原則



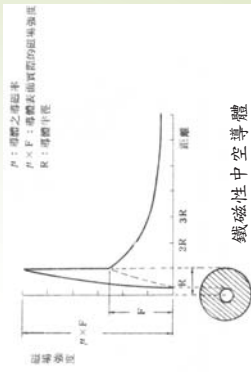
非磁性實心導體



鐵磁性實心導體

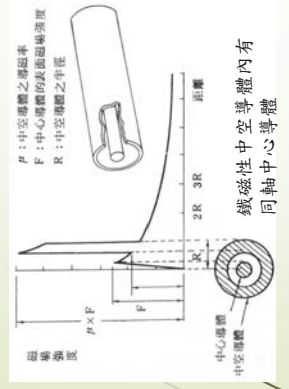


非磁性中空導體

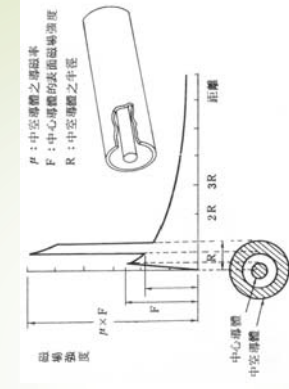


鐵磁性中空導體

鐵磁性中空導體內有同軸中心導體



鐵磁性中空導體內有同軸中心導體

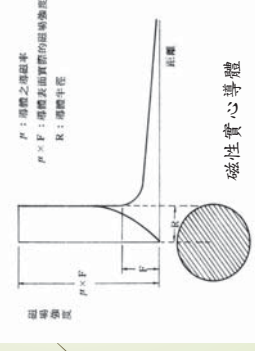


鐵磁性中空導體內有同軸中心導體

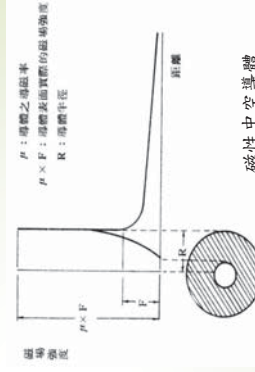
- 中心導體不論鐵磁性或非鐵磁性圓棒均能適用，而銅棒因具有較高的導電率，不易產生熱量，通常被做為中心導體的材料。

3.5 交流電之磁場分佈 (Magnetic Field Distribution Of Alternating Current)

在實際磁粒檢測應用上，交流電磁化較常用，當交流電通過時，磁場強度和方向都隨時在改變，由於交流電有集膚效應，使導體中電流大都集中在導體表面。所以交流磁場的分佈也都傾向於導體表面。



鐵磁性實心導體



鐵磁性中空導體

3.6 導體通電整體磁場強度分佈原則

- 上述各種不同電流與導體，鋼棒磁場分佈情形，可依下述原理解磁場分佈的狀況。
- 依據安培原理，因圓柱體為對稱，故沿圓周積分可得：

$$H = I / 2\pi R, \quad (H: \text{磁場強度}(A/m); A: \text{電流}(A); R: \text{圓柱體半徑}(m)).$$

① 圓柱體通電時，外部 $r > R$ ， $H = I / (2\pi r)$ ；

② 圓柱體通電時，內部 $r < R$ ， $H = Ir / (2\pi R^2)$ ；

r ：計算磁場強度點到導體中心的距離；單位：公尺(m)；

R ：導體半徑公尺(m)； I ：電流強度，安培(A)； H ：磁場強度，(A/m)。

③ 鋼棒通交流或直流，其磁場強度分佈皆為

中心處=0；在表面達最大值；離開表面，其強度皆隨 r 增加而下降；

④ 差異為

a) 直流電由中心到表面，直線上升至最大；

b) 交流電由於集膚效應，只有到近表面有磁場強度並緩慢上升，到接近表面更急速上升到最大。

4. 設備(Equipment)

4.1 磁化設備(Magnetizing Equipment)

- 磁粒檢測裝備由重型、自動化的複雜裝備到可攜帶式的簡易裝備，依要求給於被檢物一個適當強度和方向的磁場，使足以造成瑕疵的磁漏現象。一般情況下，均採用簡便、可攜帶式的磁化裝備。

4.1.1 裝備的選擇

- 考慮依被檢物形狀及檢驗要求程度。選擇適當的裝備，應考慮下列因素：

- ① 檢驗物品之形狀和尺寸；
- ② 退磁裝置；
- ③ 瑕疵種類、位置與方向；
- ④ 乾式或濕式檢驗法；
- ⑤ 磁化電流種類；
- ⑥ 電流強度；
- ⑦ 自動化程度；
- ⑧ 退磁裝置；
- ⑨ 輸入電源種類；
- ⑩ 壓縮空氣供應；
- ⑪ 濕式磁粒檢測裝備的磁浴槽容積；
- ⑫ 檢驗靈敏度；
- ⑬ 其他附屬裝備。

4.1.3 簡便型設備



永久磁軛



交/直流磁軛



固定式線圈



可繞式線圈

4.1.4 攜帶型裝備

- 攜帶型裝備由於輸出電流少，體積、重量均小，操作方便，易於攜帶，適合做現場檢驗，係一典型攜帶型磁化裝備，使用110或220V的單相交直流電源，輸出電流500~1000安培，包含交流或半波直流，重量約16Kg，可由面板接頭隨意選擇其輸出電流的形式，中間為接地接頭，右邊為半波直流接頭，左邊為交流接頭。

- 把電纜線繞成線圈形狀，通電流後產生縱向磁化，亦可以使用接觸棒產生周向磁化。此類裝備沒有馬達帶動之自動退磁裝置，退磁時須將物件由線圈內逐漸離開，或在交流電源的情況下將電流旋鈕緩慢轉至零，或利用其他退磁裝備進行退磁。



攜帶型交流/半波直流電源供應器

4.1.5 活動型裝備

■此型裝備通常使用110V或220V交流電源，輸出的電流值較大，使用週期(Duty Cycle)亦較高，重量約350Kg，此類裝備可輸出3000~6000安培之交流電或半波直流電，可利用數位電流錶顯示與微調電流輸出量，並具有自動調整電流控制之特性。此類磁化裝備具有自動退磁裝置，在交流電源的電流下會自動緩慢降低電流至零，達到退磁目的。



活動型交流/半波直流電源供應器

4.1.6 固定型裝備

■可以任意不同電流量的交流或直流電，具有自動退磁裝置，在交流電下可緩慢降低磁化電流，達到退磁目的。圖右所示為一種小型固定型裝備，可以進行濕式螢光或非螢光磁粒檢驗，檢驗後磁境還可回收繼續使用。在比較光亮的環境中進行螢光磁粒檢驗時，可加裝遮光罩以隔離白光，機台上方可裝置一具可移動之黑光燈，如圖4-7所示。該類型設備，最大可輸出10000安培之三相半波直流電。



固定型磁化設備

螢光磁粒檢測固定型磁化設備

4.1.6 高能率直流裝備

■當檢測大型而且形狀複雜的鑄件時，可適用如圖所示之裝備，將物件同時一次多方向磁化。此型裝備只需一個步驟，就可將二或三組獨立電路輸出磁化電流建立平衡的磁場，應用於被檢物以快速發現所有的瑕疵，來達成快速檢測與節省檢測時間的目的。藉由機電開關與電路將半波直流快速連續反向，或在交流電情況下自動緩慢降低電流至零，以達到退磁目的。



4.1.7 其他附件



左為銅製網狀接觸墊，右為鉛製板狀接觸墊

左為標準接觸棒，右為固定式接觸棒



電纜線



快斷測試器 (Short Breaker)



30加侖攪拌噴霧器



可攜式壓力噴霧器



沉澱管



乾式磁粒吹粉器

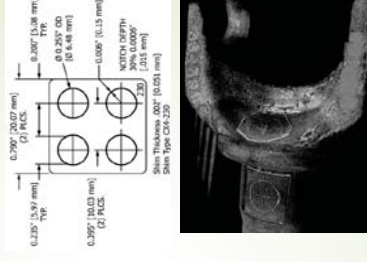
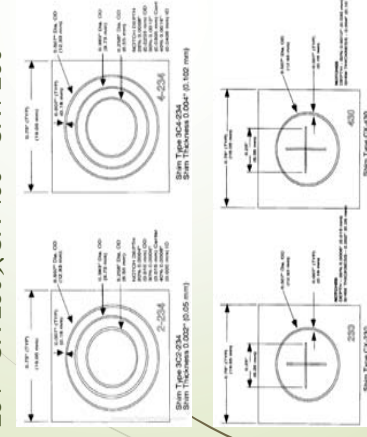


磁場指示器



磁場指示標準塊

- 墊片型標準片厚度可分為兩種0.05mm、0.10mm，較薄墊片用於當厚墊片無法貼合於工件表面時。
- 墊片型標準片尺寸分為19mm²、20mm²與10mm²，墊片種類如3C2-234與3C4-234、CX-230與CX-430、CX4-230。



4.2 觀察條件 (View Condition)

- 非螢光磁粒檢測時，檢測處應有充足的自然光或白光。採用螢光磁粒檢測時，要有適合的暗區或暗室。

4.2.1 可見光強度

- 非螢光磁粒檢測時，被檢工件表面照度應 ≥ 1000 lx。若現場條件有限可適當降低，但不能 ≥ 500 lx。可使用白光照度計測量。

4.2.2 黑光強度

- 螢光磁粒檢測時，黑光的黑光的波長範圍為3200~4000Å，其峰值為3650 Å。在工件表面黑光強度 ≥ 1000 mW/cm²，可以使用黑光強度計量測。檢測時，暗區環境光照度 < 20 lx。
- 當使用螢光磁粒檢測時，以黑光照射磁粒上之螢光染料數層，使其發生波長在5200~5500Å之間的黃-綠色可見光。

4.2.3 黑光燈

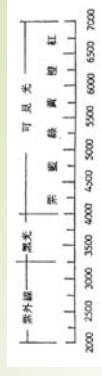
- 黑光燈由變壓器、外殼、燈泡和濾光片所組成。係水銀蒸氣型燈泡經加熱使水銀蒸氣完全氣化後才發出電弧光線，再透過濾光片過濾讓黑光穿透。
- 使用水銀黑光燈時，需經約五分鐘的預熱，才能達到正常情況。如電流通斷而熄滅時，需切除電源至少冷卻10分鐘後，再度接通電源繼續使用。
- 新型的LED黑光燈重量輕，操作電流量較小，可以使用電池，不需要額外連接電源線，檢測作業更為方便，黑光強度可達70000 mW/cm²。



水銀蒸氣型黑光燈



LED黑光燈



黑光白光照度計

4.3 量測與校正 (Measurement and Calibration)

- 電流錶查驗
磁檢設備的電流錶以比較標準電流錶與檢測設備上電流錶的讀數，其誤差值小於±10%為合格。
- 設備內部短路檢查
磁檢設備若發生內部短路，會造成磁粒檢測時成批工件的瑕疵漏檢。檢查方法是將磁化電流調整到經常使用範圍的最大電流，當磁檢設備兩夾頭之間未夾持任何導體時，電流錶的數值若沒有改變，則無短路。
- 電流負載查驗
磁檢設備的電流負載查驗方法是以400mm長，直徑25~38mm銅棒夾持在二夾頭之間通電，觀察電流錶。將磁化電流調節到最小和最大值，檢查最小電流值是否為零或足夠小；檢查最大電流值能否達到磁檢設備的額定輸出。

□ 快斷檢查

- 在三相整流流的感應磁場(如：線圈、繞線)檢測中，為了讓棒狀或環狀工件邊緣附近間斷形成更清晰的顯示，可以使用快斷功能將電流瞬間停止。電流停止後，線圈內會持續產生來回兩方向的暫態電流，工件表面也會隨著產生相對應的磁場，直到電流被線圈的電阻消耗完，此過程中產生的殘留磁場讓工件表面的瑕疵顯示更明顯。
- 使用一Go/No-Go功能的快斷測試器，如圖所示，放置在線圈內，當快斷功能啟動後，快斷測試器內的感應線圈產生電流驅動燈泡閃動，即表示快斷功能正常。



快斷測試器

■ 通電時間檢查

在三相整流流磁粒檢測設備上，用時間繼電器來控制磁化電流的持續時間，要求通電時間控制在0.5~1秒之間，至少每6個月檢查一次。

■ 磁軛吸舉力查驗

磁軛的吸舉力至少每6個月查驗一次，損傷修復後應重新查驗。永久磁軛在第一次使用前應進行吸舉力查驗。在磁軛最大間距時，交流電磁軛至少要有4.5Kg的吸舉力，直流電磁軛與永久磁鐵至少應有18.1Kg吸舉力。

4.4 退磁 (Demagnetization)

4.4.1 退磁裝備

- 退磁的二項要素為磁極交迭與磁場強度遞減，為專用退磁設備外，也可利用磁軛或線圈進行退磁。在不同的檢驗裝備上都附有不同的退磁裝置，可使用交流線圈法之退磁裝備。物件約略能填滿線圈之開口，則退磁效果最佳。另一為自動化退磁的設備，將工件放置在輸送帶上，緩慢穿過並離開線圈而達到連續自動退磁的目的，增進工作效率。



交流 (AC) 退磁線圈



具有輸送帶的自動化退磁設備

5. 檢測(Testing)

5.1 表面準備(Surface Preparation)

- a) 被檢工件表面應先清潔，去除污垢、水垢、鏽蝕、銲渣、油脂、油泥、潤滑油以及任何其他可能影響檢測靈敏度之異物。工件表面應準備至可以從錯誤顯示中清楚分辨出適切顯示。
- b) 非鐵磁性塗層厚度達 $50\mu\text{m}$ ，而緊密接合無破裂的塗漆層，正常情況下，靈敏度不受影響。若塗層厚度增加，將降低檢測靈敏度，檢測前應先驗證。
- 分解
 - 組件應先解後再進行檢測，因組件形狀與結構複雜，磁化與退磁比較困難；
 - 組合界面容易產生漏磁場形成不適切顯示，容易與瑕疵顯示互相混淆。
 - 封堵
 - 若工件有盲孔或內腔，磁粒懸浮液流進後難以清洗，檢測前應先將孔洞用非鐵磁性材料封堵。
 - 塗敷
 - 如磁粒與工件表面顏色對比小，或工件表面過於粗糙而影響磁粒顯示時，為提高辨識度可以使用對比漆。

5.2 對比漆的使用 (Use of Contrast Paint)

- 表面粗糙的工件上進行磁粒檢測，由於工件表面凹凸不平時，
- 磁粒與工件表面顏色的對比很低，容易使磁粒顯示難以識別，造成漏檢。
- 為了提高瑕疵磁粒顯示的可視性，可以增加磁粒與工件表面顏色的對比，檢測前，可先在工件表面塗上一層白色薄膜，厚度約為 $25\sim 45\mu\text{m}$ ，乾燥後再磁化工件，噴灑黑色磁粒懸浮液，其磁粒顯示就會清晰易見，這一層白色薄膜就是對比漆。
- 對比漆可採用浸入或局部檢測時用噴灑或塗刷法等施加於被檢表面。對比漆成份主要為工業丙酮，可浸泡清洗或以棉紗布料沾工業丙酮擦拭清除。
- 噴罐式對比漆具有攜帶方便、薄膜形成迅速、附著力強、顏色潔白、無強刺激性氣味等優點。

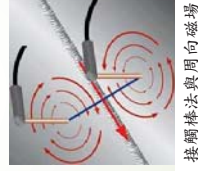
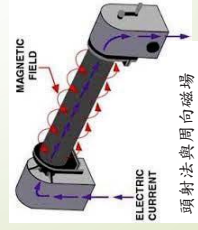
5.3 磁化 (Magnetization)

磁粒檢測可依磁場特性、施加方法、電流種類、磁粒種類等分類選用：

- 依所使用的磁化磁場特性選用周向磁化法或縱向磁化法；
- 施加磁性介質時是否施加磁力選用連續法或剩磁法；
- 依磁化電流種類選用交流磁化法、直流磁化法或半波直流磁化法；
- 依磁性介質種類選用濕式法或乾式法。

5.3.1 周向磁化

- 將電流直接通過被檢物或經由中心導體，又分為直接磁化法和間接磁化法，均為產生周向磁場的一種磁化方法。



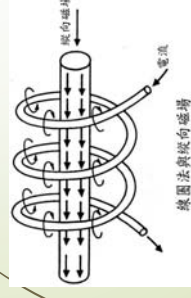
接觸棒法與周向磁場

5.3.2 縱向磁化

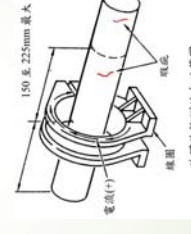
縱向磁化係使電流通過線圈或磁軛，產生縱向磁場，藉以磁化被檢物，可分為線圈法和磁軛法。

■ 線圈法

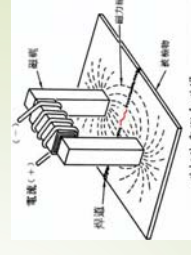
- 使用線圈法時，係以電纜線圍繞成線圈，電流在線圈內流動，導線旁的磁力線合成一縱向磁場，其磁通量以在電纜線表面的密度最大，也就是說，線圈內表面的磁通密度最大。若被檢物長度較其直徑或截面對角線長度大很多時，將此被檢物縱向置於線圈內即可磁化，如圖示。



線圈法與縱向磁場



線圈法檢測的有磁範圍



磁軛法與縱向磁場

5.3.3 剩磁法

■ 在磁粒檢測時，當磁化電流中斷後，才施加磁性介質的方法，稱為剩磁法。剩磁法是利用被檢物本身的剩磁在瑕疵處產生磁漏，吸引磁性介質附著在該處形成顯示。

■ 剩磁法只適合於檢驗高碳鋼等高保磁性的材料，此法由於剩餘磁場較弱，靈敏度亦較差，不適合於檢驗次表面瑕疵。剩磁法檢驗之基本步驟：

- ① 施加磁性介質，濕式法可用浸入或流注方式，乾式法則可用噴灑方式。
- ② 施加磁化電流上磁；
- ③ 停止磁化電流；

5.3.4 連續法(Continuous Technique)

1) 不論乾式或濕式，當磁化電流流通的同時，施加磁性介質於被檢物表面的一種檢測方法。它對表面瑕疵檢出靈敏度高，也適合於表面瑕疵的檢驗。

2) 連續法不但適合於高保磁性之高碳鋼，也適合於低保磁性低碳鋼等材料，其形成顯示較清楚。

a) 濕式連續法檢驗之基本步驟：

- ① 將磁浴噴灑於被檢物上，且能完全涵蓋被檢物的待檢測表面；
- ② 停止磁浴的噴灑；
- ③ 在磁浴噴灑停止的瞬間啟動電源，施加磁化電流(上磁)；
- ④ 停止磁化電流。

b) 乾式連續法檢驗之基本步驟

- ① 啟動電源，施加磁化電流(上磁)；
- ② 噴灑磁粒於被檢物受磁化部位的表面上；
- ③ 清除被檢物上過量的磁粒(吹除)；
- ④ 停止磁化電流。

5.4 磁性介質之特性

■ 連續法-在上磁前與過程中施加磁粒懸浮液，在磁粒懸浮液停止後仍須持續磁化2秒鐘，讓磁粒能夠在磁漏處吸附形成顯示，磁粒懸浮液以滴流或流淋方式施加較佳，磁粒懸浮液在使用前應該充分的混和。

■ 在磁粒檢測的過程中，有兩項必要因素①提供被檢物一個適當的磁化，包括適當的磁場強度和正確的磁化方向；②使用適當種類的磁性介質以確保最佳的瑕疵顯示。

■ 磁性介質分為乾式和濕式，乾式磁粒多由細長型及球型磁粒混合而成，濕式磁粒較細小且呈多面型球體，經磁化後相互吸引而呈長鏈狀顯示。

■ 流動性

➢ 乾式磁粒僅噴灑磁粒在物件表面，有間斷時，因磁漏吸附該處而形成顯示；磁粒噴灑在物件後亦可震動物件而增加磁粒的流動性。

➢ 使用交流磁化時，因磁場方向、強度均不斷改變，促使磁粒躍動，可增加其流動性。

➢ 濕式法中的磁粒懸浮在磁浴裡，具有相當高的流動性且使用的液體具有較低的黏滯性。

■ 可視性

- 可視性是磁粒檢測重要的特性之一，為使顯示容易觀察清楚，先決條件是檢視處的光線應充足；磁粒顏色的選擇以能和被檢物表面背景形成顯明對比，常見的磁粒顏色有灰、紅或黑色。灰色磁粒適合多數情況，但經噴砂或研磨處理後呈現銀灰色的物件表面，則選紅色或黑色磁粒。現代磁性介質中常加入螢光劑以增加可視性，但使用螢光磁性介質須使用黑光燈進行觀察。

5.5 施加方法

- 施加磁性介質時，以能均勻覆蓋在物件待測表面為原則，過多或過少的介質都不易形成清晰的顯示。乾式磁粒使用篩罐或乾式磁粒吹粉器，但不易均勻。採空氣噴嘴或自動噴灑裝置，是經濟有效的方法，但空氣壓力與噴灑速度均不宜太大。
- 濕式懸浮液採用噴灑、浸入或流注方式施加，連續法多採用流注方式；剩磁法多採用浸入方式。壓力噴灑則使用噴灑方式施加磁浴。

1) 濕式懸浮液

- 磁粒的懸浮液所用液體為水、煤油、柴油或其他輕油。使用水當作媒質時，需加分散防腐劑、防泡劑及潤滑劑。此液體須不具螢光性、無毒性、低揮發性及高閃點。懸浮液可為螢光或非螢光性，應保持適當磁粒濃度；濃度不足形成的顯示不清晰；濃度過高，容易掩蓋適切顯示，造成錯誤的判斷。
- 使用磁浴前需徹底攪拌均勻，使磁粒充分懸浮，攪拌常用馬達帶動泵，使磁浴循環流動；並隨時補充。
- 磁浴污染嚴重影響到檢驗結果，更換磁浴應將容槽徹底清乾淨後才可裝入新的磁浴。
- 壓力噴灑出廠前已經過品質檢驗，符合相關規範的品質要求。壓力噴灑在密封狀態下，磁浴不會受到污染，濃度也不會改變，使用前必須充分搖晃，使磁粒均勻懸浮。

2) 磁浴濃度之測試

- 磁浴濃度查核:將攪拌均勻的磁浴取出100cc裝入梨形沉澱管內，靜置30分鐘後讀出管底沉澱物的體積，即表示磁浴濃度。螢光磁粒濃度應為0.1~0.4 mL/100mL。非螢光磁粒濃度為1.2~2.4mL/100mL。
- 磁浴濃度可藉加入磁粒或液體而調整；

3) 乾式法與濕式法之比較:

濕式法之特點

- ▶ 懸浮液流動性佳，易均勻覆蓋被檢表面；
- ▶ 施加方便，速度快，適大量物件的檢驗；
- ▶ 容易控制磁浴濃度，作業易於標準化；
- ▶ 用流注方式施加，適合連續法檢驗；
- ▶ 濕式磁粒顆粒較小，配合螢光磁粒檢測可檢查表面極細微之瑕疵；
- ▶ 濕式法所形成的顯示，清晰而易判釋；
- ▶ 濕式法所能適用之最高溫度為57°C。

乾式法之特點

- ▶ 配合接觸棒法適合於檢驗次表面瑕疵；
- ▶ 適合於大型鍛件、鑄件及鉚件的檢驗；
- ▶ 乾式法所能適用之最高溫度為315°C。

5.6 顯示判讀

5.6.1 適切顯示

- 真正由瑕疵或內部破裂所形成的顯示稱為適切顯示。

□ 表面瑕疵

如冷斷、熱裂、表面疊痕、鉚道收縮裂縫、熱處理裂縫、研磨裂縫和疲勞裂縫等所形成之顯示，由於係實際表面破壞所造成的，其顯示呈現尖銳、清晰和緊附的線條，由磁粒堆積情形很容易辨別。

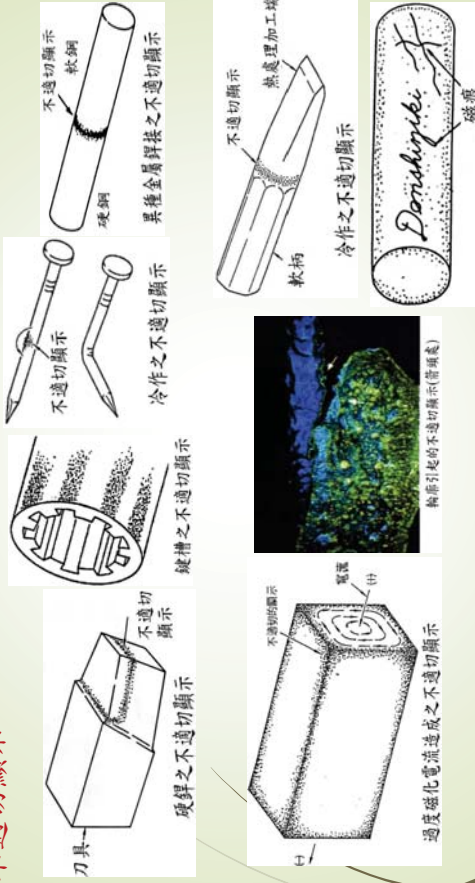
□ 次表面瑕疵

如非金屬夾渣物或覆蓋電鍍薄層之母材表面裂縫等，由於瑕疵未裂至表面，所造成的磁漏較弱，其顯示通常較不明顯，呈現模糊、鬆散、寬且不規則的顯示。

5.6.2 不適切顯示

- 不適切顯示:磁漏現象非因瑕疵或材料內破裂所引起，而是因設計上結構特性、物件製作或是檢驗操作所引起，使磁粒在磁路中受到干擾而導致堆積聚集的現象。引起不適切顯示的原因有：
 - ▶ 過度的磁化電流；
 - ▶ 物件本身的結構特性一截面突然改變(鉚道兩邊鉚間、T接填角鉚的根部)
 - ▶ 物件內部導磁率發生變化。
- 不適切顯示通常不是模糊不顯著而且方向與大小都很均勻。該發生不適切顯示之處，往往會有真正的瑕疵存在，檢測時必須小心確認。
- 過高磁化電流產生磁場強度太強而引起不適切顯示，檢測時，應從較小電流開始磁化，並以磁場指示標準塊求取適當磁化電流，以防不適切顯示的發生。
- 磁痕(Magnetic Writing)
強磁工件互相碰觸或摩擦，如角部摩擦表面形成尖銳明顯的顯示，而誤判瑕疵顯示，應先退磁再磁化即可將之消除。

不適切顯示



5.6.3 錯誤顯示

- 錯誤顯示多為
 - 表面清潔不當: 如油污、粉塵、棉絮、油漆或鏽皮殘留或
 - 表面輪廓所造成的磁粒顯示, 例如: 銕道兩側或螺絲齒溝處皆是容易因表面輪廓造成過多磁粒聚集。
 - 磁性介質濃度錯誤: 當磁浴內磁粒濃度過高, 將造成過多顯示背景濃度, 使檢測面上出現顯示, 造成無法判斷。宜重新調整磁浴濃度。

5.7 瑕疵紀錄(Recording Of Discontinuities)

- 磁粒檢測結果是直接顯示, 直接由磁粒在物件表面上分佈的圖形判別瑕疵的位置、形狀、大小和方向。正確的判別需熟悉物件材料之特性、製程、使用狀況以及瑕疵產生的原因和特性。評估是依據判別所提供的資料決定此瑕疵嚴重的程度以及該物件是否可繼續使用。相同的瑕疵, 在不同的受力方向與狀況就有不同的接受標準, 應依規範要求規定。
- 非螢光磁粒檢測時, 被檢工件表面應有充足的自然光或人工光源, 可見光強度應不小於1000 lx。於現場檢測時, 可使用手電筒補充照度, 以符合規範要求。
- 螢光磁粒檢測時須使用黑光燈照明, 並應在照度小於20 lx的黑暗區域進行, 被檢工件表面的黑光強度應大於或等於1000mm/cm², 或符合使用規範之規定。檢測人員進入黑暗區域後, 至少應經過5分鐘的黑暗適應後, 才能進行螢光磁粒檢測的操作, 適應時間可依檢測人員的年紀或身體狀況適度延長。辨識細小的磁粒顯示時, 可用放大倍率2~10倍的放大鏡進行觀察。

5.7.1 顯示保存

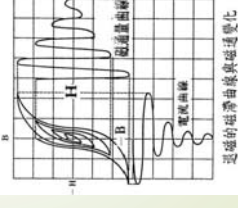
- 1) 直接照相法
 - 直接照相以呈現顯示(瑕疵)特徵及與整體工件相對位置, 特別是高應力集中的區域。
 - 若使用黑色磁粒, 最好在工件表面噴上一層很薄的對比漆, 以增強拍攝顯示對比。使用螢光磁粒時, 應適當調整光圈與快門, 或加裝淡黃色濾光片, 以取清晰影像。由於手機、數位相機使用方便, 廣為檢測人員採用。
- 2) 透明膠帶法
 - 待乾燥後以透明膠帶黏貼複印磁粒顯示, 此透明膠帶可直接黏貼於紀錄或報告上存檔。
- 3) 噴透明漆法
 - 噴透明漆以固定磁粒顯示。使用此法之物件表面顯示附近不得有殘留油漬。
- 4) 繪圖法
 - 以筆和紙將顯示之位置、尺寸和形狀並對顯示之相對位置加以紀錄。

5.8 殘留磁場與退磁(Residual Field)

- 當鐵磁性材料被磁化後，即使去除外加磁場，某些磁田仍會保持原來的方向，不會回復到原本隨機方向的状态，因此該工件就保留了剩磁。剩磁大小與材料的磁性、磁化過程、施加磁場強度、磁化方向與工件幾何形狀等因素有關。
- 因剩磁方向與磁化方向一致，當受兩種或以上的磁化方向磁化時，譬如被檢物先周向磁化再受縱向磁化時，其第二次磁場須能完全涵蓋第一次磁場，亦即縱向磁場強度必須大於周向磁場強度；否則，如縱向磁場強度小於周向磁場強度，則被檢物上將產生周向-縱向剩磁。
- 如不退磁則縱向磁化會在工件兩端產生磁極，故縱向磁化較周向磁化產生的剩磁影響較大。周向磁化(如對圓鋼棒磁化)的磁路完全封閉在工件中，不產生漏磁，但是在工件內的周向剩磁較縱向磁化大。若把經過周向磁化的工件加工一深槽，以高斯計量測磁場後，深槽內的磁場強度會遠大於於表面。

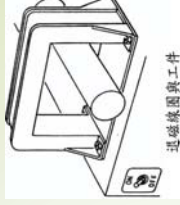
5.8.1 退磁的基本原則(Basic Principle of Demagnetization)

- 當外加磁場停止後，完全退磁是很難做到，實際上只能將剩磁降低至合理的程度。退磁時，將材料置放於一反覆改變方向並逐漸減弱的磁場中，材料則依其磁滯曲線而將剩磁減至最低，如圖下左。
- 經周向磁化的圓棒，因其磁力線並未真正地離開，即周向磁化的磁力線在圓棒上沒進出口端，所以很難確定是否已被退磁；然縱向磁化的圓棒，因其磁力線對該圓棒有進出口端，較易分辨出是否仍有剩磁，如圖下右。所以經周向磁化的被檢物，若要進行退磁，通常會先進行縱向磁化，然後再進行退磁。



5.8.2 交流電線圈法

- 利用交流線圈退磁是最簡便的退磁方法，如圖右將物件置於線圈內逐漸移離線圈，或物件靜止逐漸減少線圈內的交流電流；由於磁場方向不斷改變，強度逐漸減弱，可消除大部分的剩磁。又因交流電具有集膚效應，不易深入物件內部，因此使用交流線圈法退磁(尤其對於大件、形狀複雜的物件)比較不容易達到完全退磁。



5.8.3 直流電退磁法

- 直流退磁由於能深入物件內部，所以視為最有效、最徹底退磁方法，直流退磁原理和交流電相同，但需不斷改變電流方向並降低其電流值，退磁程序較為複雜。有些磁粒檢測設備附有直流退磁裝置，可使退磁程序更簡單。大量小型物件之退磁，應分件逐一進行退磁，以獲得較好的效果。

5.8.4 磁軛退磁法

- 使用磁軛退磁時，有時磁軛退磁會比線圈式退磁設備有效率，尤其是大型被檢物的局部退磁，交流或直流磁軛均可使用，但一般多使用交流磁軛來退磁。
- 使用磁軛退磁時，磁場僅局限於相當小的區域內，即使高抗磁材也能退磁。一般磁軛退磁均受限於較小型之物件使用，在退磁時，當磁軛之磁化電流正流通之際，使物件平穩地通過兩磁極間之區域。
- 大型物件之局部磁軛退磁，是將兩磁極極置於物件欲退磁部位之表面上，啟動電源，並於磁化電流正流通之同時將磁極逐漸移離該部位45cm以上。

5.8.5 地球磁場的影響

- 地球本身是一個非常大的磁鐵，其四周均有磁場存在，且磁力線為南北走向；在退磁的過程中，為獲得完全地消除剩磁，退磁磁場必須採用東西走向，亦即物件的長軸必須東西方向放置。

5.8.6 退磁的步驟

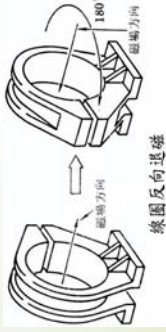
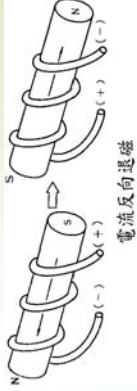
■退磁步驟是逐次降低磁場強度且反向磁場，逐漸減弱工件中的剩餘磁場。

□磁場強度減弱的方法：

- 減低磁化電流；
- 移動物件遠離退磁線圈；
- 移動退磁線圈遠離物件。

□磁場反向的方法：

- 在磁場中將工件反向，如圖所示；
- 將退磁線圈中的電流反向，如圖所示；
- 將退磁線圈之線圈方向相反，如圖所示。



5.8.7 退磁的需求

■需要退磁的狀況:包括以下狀況，但不以此為限：

- 剩磁會影響附近儀器(如羅盤、精密儀具等)的準確度；
- 活動零組件(如軸、軸承等)剩磁、極易吸引鐵屑附着，造成零組件之磨損；
- 剩磁會影響材料的加工，例如：強烈剩磁會使電弧銲接過程產生弧吹，導致銲道位置偏移與品質不良或切屑附着在刀具上，造成加工精度不佳或表面刮傷；
- 剩磁會使物件表面吸附鐵粉不易清理乾淨；
- 油路系統的剩磁會吸附鐵屑與鐵粉，影響供油系統的暢通；
- 滾珠軸承上的剩磁會吸附鐵屑與鐵粉，造成滾珠軸承磨損；
- 電鍍工件上的剩磁會使電鍍電流偏離預定的流通的區域，影響電鍍品質；
- 依據規範需要退磁。

5.8.8 不需要退磁的狀況

■有些工件上雖然有剩磁，卻不影響進一步的使用或加工，此時可以不退磁。

不需要退磁的理由包括：

- 低保磁性高導磁率材料，如軟鐵、軟鋼等；
- 檢驗後，物件需經熱處理，且熱處理溫度高於該物件之居里點或居里溫度 (Curie Point Or Temperature)，鋼鐵材料約700°C；
- 剩磁對大型鑄件、鋁件不會產生影響者；
- 有剩磁也不會影響後續使用者；
- 工件將置於強磁場附近；
- 物件須以較大電流從另一方向磁化；
- 工件將受強磁體夾持或接觸。

5.8.9:退磁之量測

■大多數的物件於磁粒檢測後均無需退磁，但必要時仍需量測。磁場指示器是目前最簡易用來量測磁場相對大小的儀器，其特性為：

- 量測磁場相對強度，並顯示磁場正負值；
- 所測量的只是物件磁場強度和指示器內部固定磁場的相對值，並非物件磁場強度絕對值，如圖下左所示；
- 可用來確認物件是否完全退磁。
- ASME的鍋爐與壓力容器規範「SE-709即要求退磁後的剩磁應小於3G (240A/m)。



5.9 零件的清洗 (Cleaning of The Components)

- 磁粒檢測後，為不影響工件的後續使用與加工，應以溶劑、壓縮空氣、擦拭或其他方法移除工件上殘留的磁粒、磁粒懸浮液與其他物質。除非對後續工作無影響，檢測後對工件後處理內容包括：
 - 清洗工件表面，包括孔、裂縫、磁路中的磁粒；
 - 使用水性磁粒懸浮液，為防止工件生鏽，應使用脫水防鏽油處理；
 - 檢測過程中，若有堵塞孔洞，應清除；。
 - 不銹鋼、鎳基材料或有裂縫工件的清潔不可用鹵素或硫化物含量大的溶劑，避免產生腐蝕。

6. 檢測參數之決定

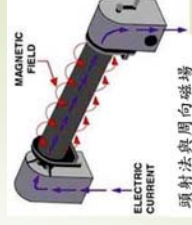
6.1 磁化電流之決定

- 磁化電流強度與物件種類、形狀、導磁率及瑕疵種類等密切相關，對被檢物而言，最佳的測試法是使用適當電流量而能獲得清晰瑕疵顯示。
- 物件長度過長，電阻及磁阻亦隨之增加，因此需更大的磁化電流。當被檢物包括數個不同截面時，磁化順序應由小而大，亦即先以較小的電流磁化較小截面部份，再逐漸增加電流磁化較大的截面部份。
- 磁化電流以恰能使欲測之瑕疵形成清楚顯示原則，過大的電流可能燒毀物件表面，甚至會造成磁粒的過度聚集而形成不適切顯示；太小的電流無法提供足夠的磁漏，以致無法吸引磁粒以顯示出瑕疵。

6.1.1 周向磁化

1) 頭射法

- 磁化電流可用直流電或半波直流電，利用下列規定來決定所要求的電流量：
- 被檢物之外徑在125mm以內，則每25mm外徑時，使用700至900安培；
- 被檢物之外徑超過125mm至250mm時，則每25mm外徑使用500至700安培；
- 被檢物之外徑超過250mm至375mm時，則每25mm外徑使用300至500安培；
- 被檢物之外徑超過375mm時，則每25mm外徑使用100至300安培；
- 若被檢物外型並非圓形，則以與通過電流方向垂直之最大橫截面的最大對角線長度，為計算電流量之基準。
- 若使用交流電對表面瑕疵之檢驗，則所需電流量為上述值之半即可。



例：有一鋼棒長1500mm，直徑200mm，今使用直流電磁化，試問需要多少電流量才能檢出其上的縱向瑕疵？

答：

直徑為200mm鋼棒，每25mm直徑所需要500至700安培，則200mm直徑需要500~700安培 $\times(200/25)=4000$ 至5600安培

2) 中心導體法

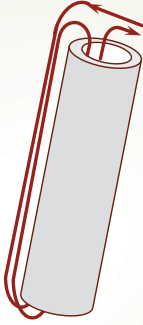
- 中心導體法所要求的磁場強度須等於第1項的規定。且穿過中空被檢物之中心導體可以電纜圈代替，若電纜圈數愈多，則磁場強度亦成正比地增加。
- 例：用一根導體來作中心導體法，經計算需用6000安培，現用2圈電纜來代替導體，則只需要3000安培，今若使用五圈電纜，則試問其所需電流量為多少？

答：

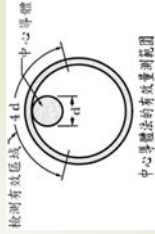
$$N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2$$

$$2 \times 3000 = 5 \times I_2$$

$$\text{則 } I_2 = 1200 \text{ 安培}$$



中心導體法與周向磁場



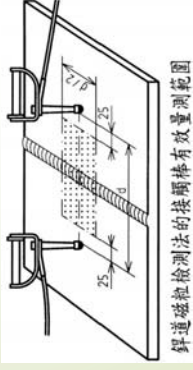
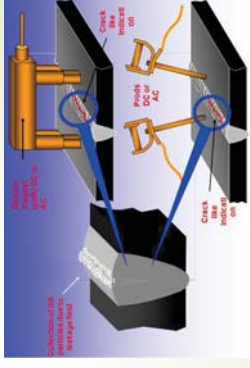
檢測有效區域

中心導體法的有效測量範圍

- 使用中心導體磁化被檢物，檢驗環件或圓筒之內外表面時，若其直徑非常大，則中心導體須盡量接近環件或圓筒之內表面而且要求分區磁化。

3) 接觸棒磁化法

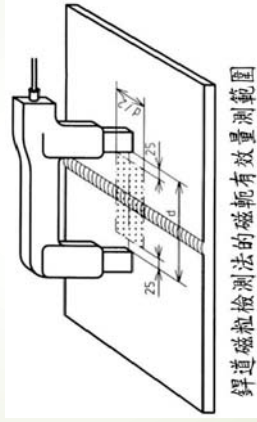
- 接觸棒須放在清潔的檢測面上，再按開關磁化，再按關閉磁化，當電流關閉後再移開接觸棒，以防損害檢測面。
- 磁化電流可用交流電、直流電或半波直流電，當被檢物厚度為19mm或以上時，每25mm之接觸棒間距須用電流100至125安培；當厚度小於19mm時，每25mm之接觸棒間距須用電流90至110安培。
- 接觸棒間距不得超過200mm，當檢驗面外形受限制或欲增加靈敏度時，可用較小之間距，但不得小於75mm。接觸棒尖端需保持清潔，必要時還可套上適當的接觸墊。



斜道磁化檢測法的接觸棒有效測量範圍

4) 磁軛法

- 斜道檢測時，當接觸棒或磁軛的有效檢測區域長度P須大於斜道寬度+二側熱影響區寬度，其量測間距d須再加上2a=50mm，須大於75mm，有效測量區域寬度均須小於量測間距d的一半(d/2)，如圖6-17與圖6-18所示。



斜道磁化檢測法的磁軛有效測量範圍

5) 縱向磁化線圈法

- 使用線圈磁化時，可用多重固定線圈或電纜纏繞被檢物以產生縱向磁場；若線圈或電纜圈之直徑大於被檢物截面直徑的10倍，則被檢物應盡量接近線圈內表面磁化。如果被檢物為非均勻之圓筒形，可以被檢物橫截面的最大對角線長度作為直徑。
- 當線圈之內徑比被檢物之直徑大很多時被檢物之L/D比值介於3與15之間，可利用下列公式計算其所需之電流值。
- 被檢物靠近線圈內表面時

$$NI = \frac{45000}{L/D} (\pm 10\%)$$

N：線圈匝數
I：電流(安培)
L：被檢物長(mm)
D：被檢物直徑(mm)



- 被檢物位置接近線圈中心時

$$NI = \frac{1720R}{6L/D-5} (\pm 10\%)$$

R：線圈半徑(mm)

- 當線圈內徑和被檢物直徑相當時，被檢物之L/D比值在3或以上時

$$NI = \frac{35000}{L/D+2} (\pm 10\%)$$

- 若因被檢物之尺寸或形狀不適用於上述方法時，則應改用其他磁化方法要求其適當的電流值。

例：被檢物長400mm直徑50mm，使用直徑為600mm之線圈5匝以產生縱向磁化，求電流需求量？

答：

- 當被檢物靠近線圈內表面時：

$$NI = \frac{45000}{L/D} (\pm 10\%)$$

$$5I = \frac{45000}{400/50} (\pm 10\%)$$

$$\therefore I = 1125(\pm 10\%) \text{ 安培}$$

- 當被檢物置於線圈中心時：

$$NI = \frac{1720R}{6 \times L/D - 5} (\pm 10\%)$$

$$5I = \frac{1720 \times 300}{6 \times 400/50 - 5} (\pm 10\%)$$

$$\therefore I = 2400(\pm 10\%) \text{ 安培}$$

7. 接受基準

7.1 規範與標準(Specification And Standards)

- 目前國內磁粒檢測作業，常被各檢測業界所引用CNS檢測標準為依據；
 - 以磁粒檢測法通則(CNS 11048 Z8049)、
 - 鑄件及鍛件磁粒檢驗法(CNS 11377 Z8057)、
 - 鋼道磁粒檢測(CNS 11378 Z8058)等檢測標準，
- 國外則有AWS、ASME、JIS、GB、ASTM、ISO、EN等規範針對磁粒檢測皆有其常用規範與標準。
- 若有其必要時，雇主或高級檢測師可依據其需求，設計或制定檢測規範與標準。

7.2 顯示的區分(Classification of The Indications)

- 顯示(Indication)：所觀察的訊號、色彩顯現或影像；
- 間斷(Discontinuity)：於物理結構或輪廓上的中斷；
- 瑕疵(Flaw)：接受或剔除標準內之不規則或不適合的間斷；
- 缺陷(Defect)：受間斷尺寸、形狀、方向、所在位置影響，超過接受/剔除基準，造成不利於整體結構。
- CNS磁粒檢測標準為例，瑕疵顯示分為三類：
 - 線形顯示：瑕疵顯示其長度為寬度大於三倍以上；
 - 圓形顯示：瑕疵顯示其長度為寬度小於三倍以上；
 - 群集顯示：數個瑕疵顯示分佈於特定區域內者，特定區域則規定在2500mm²以內；

7.3 AWS D1.1 承受動態載荷接頭VT、MT 瑕疵類別與接受基準

瑕疵類別與接受基準		VT	MT
(1) 裂紋	任何形式裂紋或應痕，不管其大小或位置，均不予接受。	X	X
(2) 鋼材與母材間之熔合	相鄰焊接金屬層間及焊道與母材間必須完全熔合。	X	X
(3) 焊池斷面	焊池之整個斷面必須填滿，但斷續填角焊道其有效長度以外之末端不在此限。	X	X
(4) 焊道外觀	1) 填角焊道之外觀，如圖1、圖2、圖3，最大凸出(C)不得超過表1之規定。 2) 對接焊道之外觀，如圖4、圖5，其焊冠(R)不得超過3mm。	X	X
(5) 欠焊	1) 任一連續填角焊道其欠尺寸(如圖3)則在下列總量(U)下可以比規定之公稱尺寸(L)小，而不必修補： U: 自L中零件之減量 L: 規定公稱尺寸	X	X
	$\leq 3/16(5)$		
	$\leq 1/4(6)$		
(6) 焊蝕	厚度 $<25\text{mm}$ 焊蝕深度不得超過1mm。焊道的焊蝕深度不得超過1mm。但主要構件承受與張應力垂直之焊道，其焊蝕深度不得超過0.25mm。 a) 填角焊道若有管狀氣孔，在100mm長的焊道內，氣孔數量最多一個，且其長度不得超過2.5mm。若為連接加勁板與腹板之填角焊道，在25mm長的焊道內，管狀氣孔長徑之和不得超過10mm，且在300mm長的焊道內，管狀氣孔長徑之和不得超過20mm。 b) 承受與張應力垂直之全透透對接開槽焊道，不得有管狀氣孔。其他開槽焊接，若有管狀氣孔，在100mm長的焊道內，氣孔數量最多一個，且其長度不得超過2.5mm。填角焊道之類在每100mm焊道長度內不可超過1個，其最大直徑不得超過3/8"(10mm)，且在任意12英寸長焊道內不能超過3/4"(20mm) c) 在全透透對接焊道中，對焊接頭垂直張應力方向應無肉眼可見之管狀氣孔。	X	-
(7) 氣孔		X	X

7.4 CNS 11377 MT 瑕疵類別與接受基準-鍛造品(鉤頭)

表1 線形及圓形瑕疵顯示等級區分

等級	瑕疵顯示長度 (mm)
1 級	超過1至2
2 級	超過2至4
3 級	超過4至8
4 級	超過8至16
5 級	超過16至32
6 級	超過32至64
7 級	超過64

接受基準:

被檢物經判定為有關顯示，而有下列情況者不予接受。

12.1. 線形及圓形瑕疵顯示等級為1級以上者。

12.2. 群集形瑕疵顯示等級為1級以上者。

12.3. 線形瑕疵經判定為裂縫者。

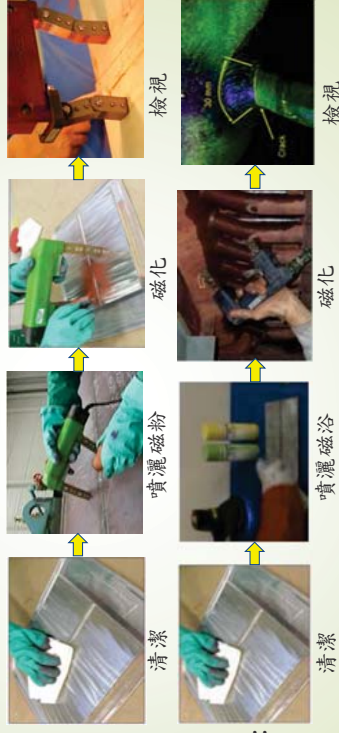
表2 群集形瑕疵顯示等級區分

等級	瑕疵顯示長度之和 (mm)
1 級	超過2至4
2 級	超過4至8
3 級	超過8至16
4 級	超過16至32
5 級	超過32至64
6 級	超過64至128
7 級	超過128

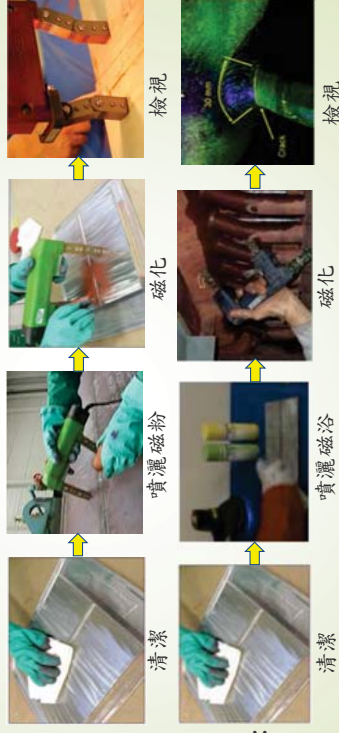
7.5 結構鋼道常用之磁軛法之檢測流程:

- 磁軛的磁化力由其吸舉力來決定，常用交流電或半波直流電之電磁軛來磁化被檢物；當標準時兩磁軛所張開的距離，即為檢驗時所能使用的最大磁軛間距。若增加檢驗靈敏度，可使用較小之間距，但不得小於75mm。

乾式
色比法



濕式
螢光法:



Thanks for Your Attention



台灣金屬材料品管有限公司
公司地址: 高雄市小港區漢民路702號7樓
公司網址: <http://www.tmqc.com.tw>