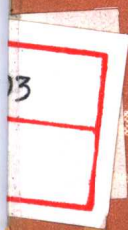
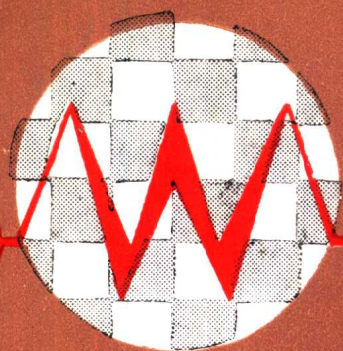


无损检测技术丛书

磁粉检验

国防工业出版社



无损检测技术丛书

磁 粉 检 验

孙万铃 戴树春 编

国防工业出版社

内 容 简 介

磁粉检验是工业上应用较早的无损检测技术之一。由于它具有设备简单、操作方便、快速、直观,对发现零件表面和近表面缺陷有较高灵敏度的优点,因此在工业生产中被广泛地应用。

本书简要地介绍了磁粉检验技术的主要内容,包括磁粉检验的物理基础、磁粉检验设备、磁粉和磁悬液、磁粉检验方法及应用、磁痕分析、磁粉检验的环境要求与技术安全,并附有磁特性曲线图及重要磁性参数,供与磁粉检验有关的工作人员查阅。

本书可供从事无损检测专业的工人和技术人员阅读,也可供有关专业工程技术人员参考。

无损检测技术丛书

磁 粉 检 验

孙万铃 戴树春 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张3¹/₄ 68千字

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷 印数: 0,001—1,756册

统一书号: 15034·2970 定价: 0.71元

前 言

无损检测是一门新兴的综合性科学技术。它以不损坏被检对象的使用性能为前提,应用物理和化学知识,对各种工程材料、零部件和产品进行有效的检验和测试,借以评价它们的完整性、连续性和其它物理性能。无损检测是实现质量控制、保证产品安全可靠、节约原材料、改进工艺、提高劳动生产率的重要手段,目前已成为产品制造和使用中不可缺少的组成部分。

现代科学技术的发展,为无损检测提供了新的理论和物质基础。目前能够在生产中应用的已有五十多种检测方法,在一些领域还实现了由电子计算机控制的自动化。在我国四个现代化的进程中,无损检测技术的应用日益受到重视,并有着广阔的发展前景。

为普及、推广无损检测技术,我们编写了一套《无损检测技术丛书》。这套丛书有如下十一个分册:

- 超声检测;
- 射线检验;
- 磁粉检验;
- 涡流检测;
- 渗透检验;
- 声发射检测;
- 激光全息检验;
- 微波检测;

红外检测；

胶接结构与复合材料的无损检测；

无损检测自动化与信息处理。

编写这套丛书所选取的资料，一部分来自生产、科学实践；一部分参阅了国内外有关的技术书刊。本分册附录 I、II 选用了刘东瀛、申如林、马芳银等同志执笔的《磁粉探伤》一书中部分实验数据；在编写过程中，钟仕维、林道平同志审阅了书稿，提供了宝贵意见和资料；在定稿时还得到了郑文仪、于维栋、陈积懋、苏李广等同志的帮助，在此一并表示感谢。

由于水平所限，书中缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

《无损检测技术丛书》编写组

目 录

磁粉检验概述	1
磁粉检验的物理基础	3
一、磁的基本概念.....	3
二、磁场的几个物理量.....	6
三、铁磁性材料的磁化特性.....	11
四、磁粉检验法的基本原理.....	19
磁粉检验设备	21
一、磁粉探伤机的结构与功能.....	22
二、磁粉探伤机的分类与选择.....	26
三、磁粉检验常用的其它设备.....	30
四、磁粉探伤机的安装调试、使用和维修.....	31
五、磁粉检验设备的效能控制.....	33
磁粉检验用的器材介质	35
一、磁粉.....	35
二、磁悬液.....	39
三、灵敏度试片和试块.....	43
磁粉检验方法及应用	45
一、磁粉检验的分类及应用范围.....	45
二、磁化电流的种类和特点.....	47
三、零件的磁化方法和特点.....	48
四、制定磁化规范的方法.....	56
五、磁粉检验的操作程序.....	63

六、退磁方法.....	68
磁粉痕迹分析.....	70
一、裂纹.....	70
二、其它冶金缺陷.....	74
三、伪缺陷.....	79
磁粉检验的环境要求与技术安全.....	81
一、磁粉检验的环境要求.....	81
二、安全注意事项.....	81
附录 I 磁特性曲线.....	82
附录 II 重要磁性参数.....	95

磁粉检验概述

磁粉检验这个名词对于许多人来说并非熟悉，但它却为人类服务了几十年啦！人们用它来检验钢铁零件表面和近表面缺陷既迅速又可靠，而且操作简单、成本低，所以工业生产部门都愿意采用它。

顾名思义，磁粉检验这个词中“磁”是核心、是基础。对于磁从古到今没有一个人亲眼看见过它，但现在不会有人怀疑磁的存在。我国是世界上应用磁性物质最早的国家，在春秋战国时代就有磁石吸铁的记载。我们的祖先很早就利用磁性物质作成指南针。

随着生产力的发展和科学技术的进步，磁性——作为物质的普遍属性之一也越来越被广泛应用了。今天，磁对人类来说，其重要性几乎不比电逊色。在发电站里，如果没有强磁性的磁铁，那是发不出电的；原子能工业的庞大无比的粒子加速器，也是应用数千、甚至上万吨的磁铁才得以将粒子加速到足够的能量；电话听筒能够发出声音，电报机能够滴滴答答地作响，电铃可以发出滴铃铃的响声，电动机能够快速的转动，收音机的喇叭能奏出乐曲……所有这一切都离不开磁。利用磁性来检查零件的质量，这仅是这些应用中的一个方面而已。

磁粉检验也称为磁粉探伤或磁力探伤。它的基本方法一般有以下几个步骤：

1. 在被检零件里建立一个磁场。

2. 把磁粉均匀地撒在被检零件的表面上。

3. 观察磁粉在被检零件表面的堆积情况，以此来判断零件有否缺陷及其性质。

4. 将在建立磁场的过程中，零件上所产生的剩磁减少到不影响使用或进一步加工的程度，即对零件进行退磁。

磁粉检验方法只适用于能够被强烈磁化的铁磁性物质，这种物质包括铁、镍、钴和它们的许多合金制件。对钢铁等强磁性材料的表面缺陷检验特别适宜，而对于表面没有开口但深度很浅的裂纹也可以检验出来。而对于铝、镁、铜、铅、钛和奥氏体不锈钢及非金属等非铁磁性物质，则不能应用此法。

磁粉检验是无损检测技术中应用较早的一种方法，在第二次世界大战以后，由于军事工业的急剧发展，不仅磁粉检验技术本身得到了很大的发展，而且在此基础上产生了漏磁检验，磁性检验等新技术。

为了保证磁粉检验结果的可靠性，从事此项工作的专业人员应对磁粉检验的基本原理，检验设备的性能，器材介质的技术要求，根据不同的检验对象选择合适的检验方法和磁化规范，缺陷判断等方面熟练地掌握，下面就这几方面的主要内容加以简单介绍。

磁粉检验的物理基础

一、磁的基本概念

1. 磁的基本现象

某些物体具有能够吸引铁、钴、镍等物质的特性，我们称这些物体具有磁性；具有磁性的物体叫做磁体。能够被磁体吸引的物质，叫做铁磁性物质。使原来不带磁性的物体具有磁性，叫做磁化。磁体有天然存在的磁铁矿，通常我们叫它吸铁石，化学成分是 Fe_3O_4 ，这种矿石是天然磁石。也有用磁化的方法制成的磁铁，叫做人造磁铁。天然磁石和人造磁铁都能比较长期地保持磁性，我们称它为永磁体。磁体各处的磁性大小不相同，在它的两端最强，这两端则称为磁极。一个能够自由转动的磁体在静止时，总是一个磁极约指向北方，另一个磁极则约指向南方。指北的一端叫做指北极，简称北极，以 N 表示（通常涂上颜色）；指南的一端叫指南极，简称南极，以 S 表示。

磁体的南极和北极具有不可分割的性质。即使将任何一个磁体进行多次分割，其分割出的任何一部分，总是南极和北极同时存在。

磁体还有一个很重要的特性，就是磁极之间存在着相互作用：同性磁极相互排斥；异性磁极相互吸引。磁极之间的相互作用力叫做磁力。而磁力作用时，磁体之间或磁体与铁磁物质之间都用不着彼此接触，这说明磁体周围空间存在着

有力作用的一种特殊物质，这种物质被称为磁场。空间有没有磁场存在，可用小磁针是否受有磁力作用来检验。

为了形象地描述磁场，人们采用了磁力线这个概念。所谓磁力线，就是在磁场中画出许多曲线，使曲线上每一点的切线方向，与放在这点的的小磁针北极所指的方向一致。小磁针北极所指的方向就是该点的磁场方向。图 1 为条形磁铁的磁力线。图 2 为用铁屑显示所得到的两个同性磁极之间的磁力线。

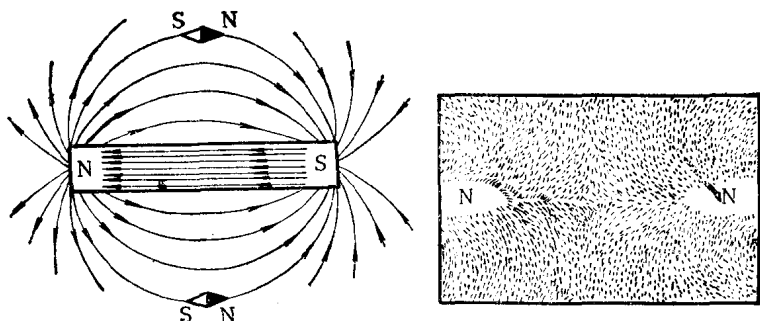


图 1 条形磁铁的磁力线 图 2 铁屑显示同性磁极间磁力线

根据磁力线图形，可知磁力线有如下两个特点：

(1) 磁场中某点的磁场方向是确定的（小磁针在磁场中各点，只可能有一个确定的方向），因此，磁力线互不相交。

(2) 每一根磁力线均由磁铁的 N 极出发，经由外面空间到达 S 极，再由 S 极经磁铁内部回到 N 极，形成闭合曲线。

2. 电流的磁场

1820 年丹麦科学家奥斯特做了一个实验，如图 3 所示。在磁针的上面或下面放一根与磁针平行的导线，当导线上有

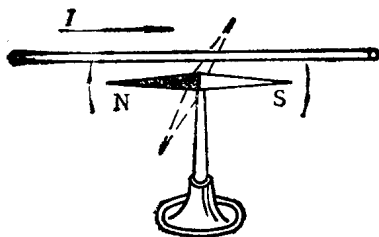
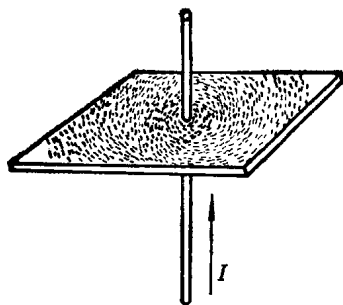


图3 奥斯特实验

图4 铁粉显示通电导线
周围的磁力线

电流通过时，磁针就发生偏转。当电流 I 的方向如图3所示时，如果导线在磁针的下面，磁针的北极转向读者；如果导线在磁针的上面，则磁针的北极向离开读者方向转动。如果电流的方向与图3所示相反时，那么磁针的转动方向也与上述的转动方向相反。这种现象说明电荷的流动可以产生磁现象，即“电生磁”。

为了进一步证明电可以产生磁的结论，我们可以做如图4所示的实验。使导线垂直穿过硬纸板，并在板上撒些细铁粉，当导线中通过电流 I 的时候，轻轻敲击硬纸板，这样铁粉就会在与导线垂直的平面上，排列成许多以导线为圆心的同心圆。

由上述的两个实验可以得出一个结论：在电流周围存在磁场。

磁铁的磁力线方向可以用磁针来测定，而电流周围的磁力线方向可以用右手定则来判断。其方法是：若用右手握导线，大拇指伸直并指向电流的方向，则其余四指所指的方向

就是磁力线的方向，如图 5 所示。

对于磁粉检验常用的通电螺管线圈内的磁力线方向，也可用右手定则来判断。其方法是：以右手握螺管线圈，使四指指向电流 I 的方向，则伸直的大拇指所指的方向就是线圈内部磁力线的方向，如图 6 所示。

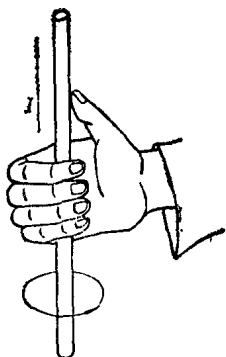


图 5 用右手定则判断
通电导线周围磁力线方
向的方法示意图

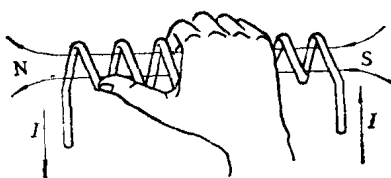


图 6 用右手定则判断通电
螺管线圈内部磁力线方向
的方法示意图

二、磁场的几个物理量

1. 磁感应强度和磁通

为了研究磁场中各点的强弱和方向等性质，我们可作如下实验：在一个永久磁铁的磁场中，垂直于磁力线方向放一条长为 L 的直导体，并在导体中通以电流 I ，此时，导体将受到力 F 的作用而向外移动，如图 7 所示。导体的有效长度越长，通过的电流越大，则受力 F 越大。可见，导体在磁场中某一位置受力的大小，与导体的有效长度和通过的电流大小成正比。

我们用载流导体在磁场中某点所受的最大作用力 F ，与导体中通过的电流 I 乘上导体长度 L 的积的比值，来表示该点的磁场性质，叫做该点的磁感应强度 B ，即

$$B = \frac{F}{IL} \quad (1)$$

磁感应强度在法定计量单位中是特斯拉 (T) 或韦伯/米² (Wb/m²)，在电磁单位制中是高斯 (Gs)。其关系为

$$1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}$$

实际上，当载流导体与磁力线相平行时，载流导体所受到的力 F 等于零。随着载流导体与磁力线的夹角增大，力 F 也随着增大，其方向垂直于载流导体与磁力线所决定的平面。当夹角增大到 90° 时，力 F 值达到最大值。由此可见，磁感应强度不但有大小，而且也有方向，它是一个矢量。磁力线上某点的切线方向，就是该点磁感应强度的方向。

对磁场中某一固定点，磁感应强度 B 是个常数；而对磁场中位置不同的各点， B 可能是不相同的。因此可以用 B 的大小、方向来描述磁场中各点的性质。若磁场中各点的 B 完全相同时，这种磁场叫做均匀磁场。若磁场中各点 B 都不相同时，这种磁场称为非均匀磁场。在均匀磁场中磁力线是等距离的平行直线。长直螺管线圈中部的磁场是常见的均匀磁场；永磁体的磁场就是非均匀磁场。

为了表示磁场在空间的分布情况，我们不仅用磁力线来表示磁场的方向，而且可以用磁力线的疏密来表示磁场中各

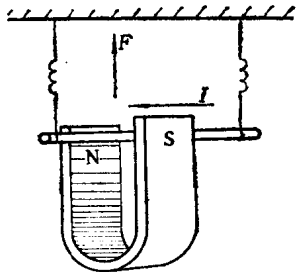


图7 载流导体在磁场中受力运动示意图

点磁感应强度的大小。为此，我们引出了一个新的物理量——磁通量。在磁感应强度为 B 的均匀磁场中，若与磁力线垂直的截面用 S 表示，则磁感应强度 B 和截面积 S 的乘积，叫作通过面积 S 的磁通量，简称磁通，用 Φ 表示。即

$$\Phi = BS \quad (2)$$

在法定计量单位中，磁通的单位为韦伯 (Wb)。在电磁单位制中其单位为麦克斯韦 (Mx)。其关系为

$$1 \text{ 韦伯} = 10^8 \text{ 麦克斯韦}$$

根据 (2) 式，在均匀磁场中

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (3)$$

即磁感应强度 B 等于单位面积的磁通量。因此，有时磁感应强度也称为磁通密度。通常规定，垂直通过单位面积的磁力线数目等于该点磁感应强度的数值。可见，通过某一面积的磁力线总数就等于该面积的磁通量。

当截面垂直于磁场方向时，其磁通量最大；而截面平行于磁场方向时磁通量为零。若某一面积 S 的法线与磁感应强度 B 的夹角为 β ，则在计算磁通时，必须首先求出 B 在法线方向上的分量 B_n ，即

$$B_n = B \cos \beta$$

根据定义，可知通过面积 S 的磁通为

$$\Phi = B_n S = BS \cos \beta \quad (4)$$

在非均匀磁场中，只有把平面取得非常小时，按公式 (4) 计算出的数值，才能精确反映这一小范围（近似于一点）的磁通量。

2. 磁导率和磁场强度

磁感应强度不仅决定于电流大小和导体的形状，而且与

磁场内媒介质的性质有关。由实验结果得知，各种物质对磁场的影响是不同的，在其它条件相同的情况下，某些媒介质中的磁感应强度要比真空中强一些，而另一些媒介质中的磁感应强度要比真空中弱一些，这是由于一方面电流通过它周围的磁场对其媒介质具有磁化作用，另一方面磁场中的媒介质也在不同程度上影响着电流所激发的磁场。通常把能够影响磁场的媒介质称为磁介质。

磁导率 μ 就是一个用来表示媒介质磁特性的物理量，对于不同的物质具有不同的磁导率。

在法定计量单位中，磁导率 μ 的单位是亨利/米或韦伯/安培·米，在这种单位制中，规定真空中的磁导率是一个常数，用字母 μ_0 表示

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ 亨利/米}$$

在电磁系单位制中，磁导率 μ 为纯数，在真空中 $\mu = 1$ 。

由于 μ_0 是一个常数，所以将其它媒介质磁导率与它对比是很方便的。任一媒介质磁导率与真空的磁导率的比值叫做相对磁导率，用 μ_r 表示，因此

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \text{ 或 } \mu = \mu_r \mu_0$$

相对磁导率是没有单位的，它表明在其它条件相同的情况下，媒介质中的磁感应强度是真空中多少倍。

根据各种物质磁性的不同，可把物质分为三种类型，即反磁性物质，顺磁性物质和铁磁性物质。

$\mu_r < 1$ 的物质叫做反磁性物质，也就是说，在这类物质中所产生的磁场要比真空中弱一些。 $\mu_r > 1$ 的物质叫顺磁性物质，也就是说在这类物质中所产生的磁场要比真空中强一些。铁磁性物质的 $\mu_r \gg 1$ ，而且 μ_r 不是一个常数，在其它条件相同的情况下，这类物质中所产生的磁场往往比真空中

产生的磁场要强几千甚至几万倍以上，铁、钨、钴、镍及某些合金都属于这一类。

顺磁性与反磁性物质的相对磁导率都接近于1，因而在工程计算中，除铁磁性物质外，其它物质的相对磁导率均可认为等于1，并称这些材料为非磁性材料。

由此可知，由于铁磁性物质的磁导率很高，在外磁场作用下其磁化能力很强，所以这类物质是磁粉检验的主要对象。而非磁性物质，由于其磁导率很低，所以在外磁场作用下其磁感应强度也是很弱的，因此磁粉检验是难以对这些物质制成的零件进行检查的。

磁场中各点磁感应强度的大小不仅与电流的大小及导体的形状有关，而且与媒介质的性质有关，这样在计算磁场时就比较复杂。为了使计算简单，我们常用磁场强度这个物理量来表示磁场的特性。在均匀的媒介质中，磁场强度的数值只与电流大小及导体形状有关，而与媒介质的性质无关。

磁场中某点的磁感应强度 B 与媒介质磁导率 μ 的比值，称为该点的磁场强度，用 H 表示，即

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

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (5)$$

磁场强度在法定计量单位中为安/米，在电磁单位制中为奥斯特，其关系为

$$1 \text{ 奥斯特} = \frac{1000}{4\pi} \text{ 安/米} \approx 80 \text{ 安/米}$$

磁场强度也是一个矢量，在均匀的媒介质中，它的方向是和磁感应强度的方向一致的。它与媒介质的性质无关，只与产生磁场的电流强度有关的物理量。但一般情况下，磁场