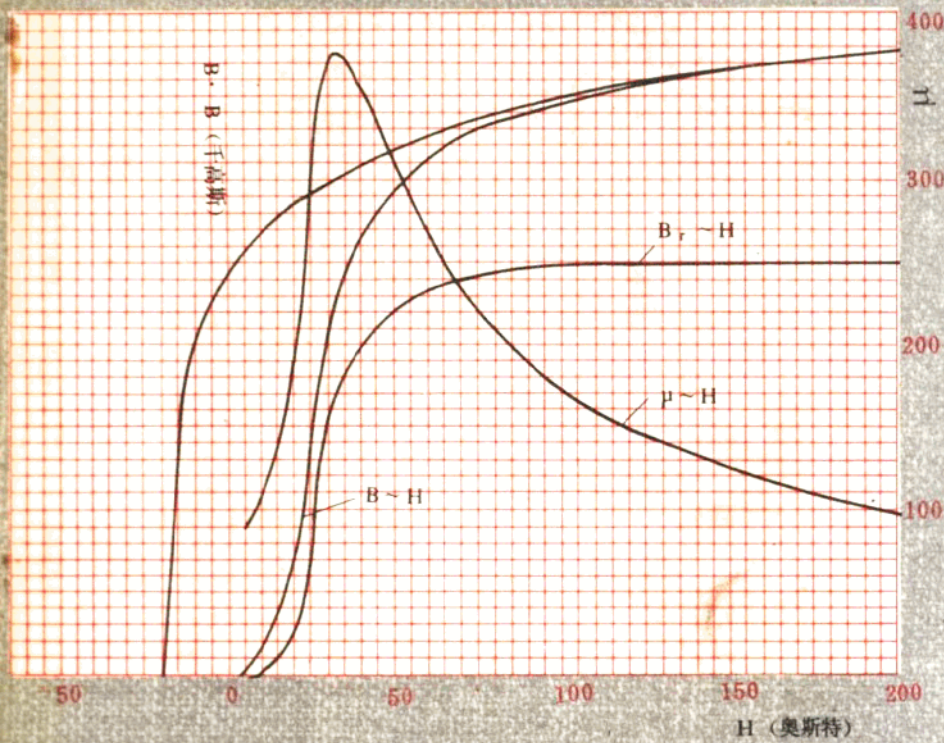


525483



常用钢种磁特性曲线汇编

兵器工业部新技术推广所编

常用钢种磁特性曲线汇编

兵器工业部新技术推广所

前 言

随着科学技术及生产的迅速发展,机械、冶金、石油化工、宇航、原子、军工等工业部门都对产品的可靠性及性能提出了越来越高的要求,这就需要采取更合理的探伤方法来保证其质量。

磁性是铁磁性材料的基本物理属性之一,它和材料的状态、结构、机械性能等存在着一定的关系。人们往往采取测定某些材料的各种磁特性参数来决定其状态、硬度、连续性等。

磁粉探伤就是利用测定材料(或工件)的磁场分布状况来决定材料(或工件)的完整性的最常用的无损检测方法之一。由于目前国内各部门所使用的磁化规范中磁化电流的选择,是以被探工件的直径的多少倍来决定磁化电流的大小,它忽略了由于材料及热处理状态的不同,而导致磁参数的不同所带来的影响。事实证明,这种影响对某些材料来说是很大的。要合理地解决磁化电流的选择,必须要考虑材料的磁特性。为此,我们组织测试了我国常用的90种钢材246个不同热处理状态下的磁特性参数,并绘出磁特性参数曲线图。

本书给出246个不同状态下的全部磁特性参数及246幅磁特性曲线图,应用这些参数及曲线,可以更合理地选择磁粉探伤方法及制订合理的磁化规范,从而有效地把被探对象的表面缺陷的大小及性质判断出来。为让广大磁粉探伤工作者更好地使用这些曲线去解决实际探伤中的电流选择等问题,我们加写了文字说明。

为保证测量的精度,我们采用三个测量系统对同一试样进行反复测定,三个系统所得的数据及每次的重复性,和国家计量院测量同一试样所得的数据的综合误差均在3%以内。

本书由三个部分组成:

第一部分为文字说明。包括:概述、磁特性曲线、磁特性曲线的测量、磁特性曲线的应用等四章。

第二部分为磁特性曲线图谱,共246幅图。

第三部分为磁特性参数表格及换算附录。

本书测量及编写工作,是在兵器工业部新技术推广所组织领导下进行的。参加测量及编写的有:苏李广工程师、章恒光工程师、朱万富工程师、唐鸿章工程师、叶代平助理工程师以及钱成跃和阎波同志。陈玫和张萍同志为本书描图。

本书在测量和编写的过程中,得到了247厂、296厂、616厂、167厂、624厂、5133厂等单位的大力协助;北京工业学院袁连生副教授及航空工业部621所郑文仪工程师的热情支持。在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限,错误之处在所难免,望广大读者批评指正。

兵器工业部新技术推广所

一九八二年六月三十日

目 录

第一章 概述

第一节	磁场、磁感应强度的基本概念	1
第二节	物质按磁性分类	1
第三节	磁畴简述	3
第四节	技术磁化的基本过程	3
第五节	磁场的边界条件	4
第六节	磁粉探伤原理	5

第二章 磁特性曲线

第一节	技术磁化曲线	7
第二节	磁导率曲线	9
第三节	磁滞回线	9
第四节	剩磁曲线	11
第五节	退磁曲线、最大磁能积	12
第六节	影响磁特性曲线的主要因素	14

第三章 磁特性曲线的测量

第一节	冲击法测磁原理	15
第二节	磁特性曲线的测量	16
第三节	影响磁特性曲线测量的因素	20

第四章 磁特性曲线的应用

第一节	磁粉探伤中的应用	21
第二节	其它方面的应用	26

第五章 常用钢种磁特性曲线

附录一 常用钢种磁性参数表.....	277
附录二 本书使用的磁学物理量的名称、符号、单位制以及单位制之间的换算.....	290

第一章 概述

第一节 磁场, 磁感应强度的基本概念

众所周知, 运动电荷, 载导体或磁体周围的空间, 存在着一种特殊的物质, 此种特殊的物质叫作磁场。磁场具有物质通有的属性。具体表微磁场存在的客观事实就是, 它对运动电荷或载导体有力的作用。

为了形象描述磁场, 通常人们假想在磁场中存在着一些曲线, 在这些曲线上各点的切线方向即代表该点的磁场方向, 这些曲线称之为磁力线。而描述磁介质中磁场性质的曲线称为磁感应线。

为使磁力线能够定量地描述磁场, 人们规定穿过与磁力线正交的单位面积 (每平方厘米) 的磁力线条数 (即磁通量) 就等于该点的磁感应强度 B , 其方向与该点的磁力线的切线方向相同。

$$\text{即 } B = \frac{\Phi}{S}$$

式中 B — 磁感应强度

Φ — 磁通量 (磁力线条数)

S — 面积

在 S I 单位制中, 磁感应强度的单位为:

韦伯 / 米² (特斯拉)。

在 C G S 单位制中, 磁感应强度的单位为: 高斯。

1 高斯表示与磁感应线方向垂直的每平方厘米的面积上, 有 1 麦克斯韦的磁通量通过, 即通过一条磁感应线。

当将物质 (磁介质) 置于磁场中, 要受到磁化, 这种现象称作磁感应现象。由于磁感应现象的存在, 物质中的磁感应强度 B 的大小不仅与产生磁场的电流有关, 还与置于磁场中的物质本身有关。这是由于物质被磁化后对磁场发生的影响所致。为此我们引入一个辅助的物理量—磁场强度来表示磁场。它与磁感应强度 B 的关系为:

$$B = \mu H$$

式中 μ — 物质的磁导率, 是表微物质对磁场呈现磁性的物理量。

磁场强度 H 的方向与磁感应强度 B 的方向相同。

在 S I 单位制中, 磁场强度的单位为: 安 / 米。

在 C G S 单位制中, 磁场强度的单位为: 奥斯特。

第二节 物质按磁性分类

磁性是物质的基本属性之一。各种物质在外磁场作用下, 都受到不同程度的磁化, 从而呈现出不同的磁性来。其磁化强度 J 和外磁场强度 H 的关系为:

$$J = \chi H$$

式中 χ 称为物质的磁化率，由高斯定理可以导出 χ 和磁导率 μ 的关系为：

$$\mu = 1 + 4\pi\chi$$

磁化率 χ 是物质磁性参量之一。由于不同的物质的磁性各不相同，故可根据磁化率 χ 的大小，将物质大体分为三大类。

一、磁化率 $\chi < 0$ （负值）的物质称为抗磁性物质，其磁化强度与磁场强度的方向相反。如金属铍、锌、铜、银、镁和非金属硫、磷、硅、惰性气体，以及许多有机化合物都是典型的抗磁性物质。抗磁性物质的磁化率 χ 的绝对值，其数量级大约在 10^{-5} 左右，它与磁场的强弱及温度的高低无关。

二、磁化率 $\chi > 0$ （正值，但很小）的物质称为顺磁性物质，其磁化强度与磁场强度的方向相同。如分子态氧、气态一氧化氮、多数稀土金属和铁族元素的盐类，以及碱金属钾、钠等都是顺磁性物质。顺磁性物质的磁化率 χ ，其数量级一般在 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 的范围。大多数顺磁性物质

的磁化率与温度有密切的关系。

顺磁性物质与抗磁性物质，统称弱磁性物质或非磁性物质。其磁化曲线均为一条直线，如图1-1所示。

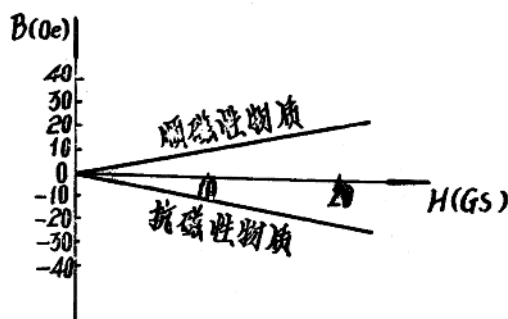


图1-1. 弱磁性物质的磁化曲线

三、磁化率 $\chi \gg 0$ 的物质称为铁磁性物质，其磁化强度与磁场强度不是线性函数，关系较为复杂。如铁、钴、镍及它们的合金和化合物（铁氧体），以及铬、锰的一些合金都是铁磁性物质。它的磁化率 χ 的数量级一般在 $10^{-1} \sim 10^5$ ，故在外磁场的作用下，对外可呈现出宏观较强的磁性来。必须指出：当温度升高到居里温度以上时，铁磁性物质就转化为顺磁性物质了，这是铁磁性物质的一个重要特性。各种铁磁性物质的居里温度是不相同的。习惯上把铁磁性物质称为强磁性物质。

工程上实用的磁性材料属于强磁性物质。根据其特性和应用的不同，通常分为软磁材料和硬磁材料（永磁材料）两大类。

软磁材料的主要特点是：磁导率高，矫顽力低。这类材料在较低的外磁场作用下，就能产生很高的磁感应强度，随着外磁场的增大，磁感应强度很快达到饱和；当外磁场去掉后磁性又基本消失了。硬磁材料的主要特点是：矫顽力高，一经饱和磁化后再去掉外磁场时，将储存一定的磁能量，并能在较长时间内保持强而稳定的磁性。工业上常用的钢材其磁特性介于二者之间。

第三节 磁畴简述

铁磁性物质在不大的外磁场作用下，就能获很高的磁感应强度，根源在于磁性物质内部存在着磁畴。因为组成磁性物质的原子磁矩，在没有外磁场作用时，早已在一个个微小的区域内（ $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 毫米）按某特定的方向互相平行整齐排列，使每一个微小区域磁化达饱和的程度，从而形成一个合磁矩。这样的磁化称为自发磁化。根据铁磁学论证，存在于铁磁性和亚铁磁性物质中的原子或离子之间有交换作用存在，从而导致了自发磁化的产生。铁磁性物质是由许许多多这样的微小区域所组成，在没有外磁场作用的情况下，这些小区域中磁畴磁矩的取向各不相同，对外作用互相抵消，所以磁性物质在技术磁化前，对外界宏观显现呈磁中性状态。我们把这样的微小区域称为磁畴。图 1—2 表示磁畴结构的示意图。

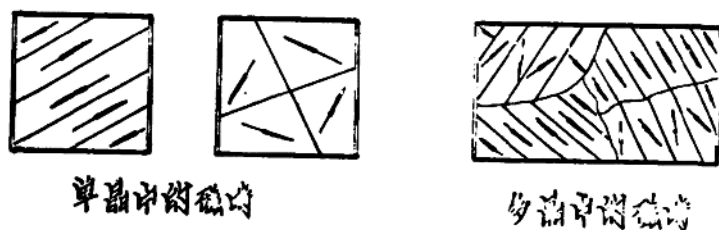


图 1—2 磁畴结构的示意图

箭头方向代表每一个磁畴磁矩的方向。

相邻磁畴的分界面叫作磁畴壁，简称畴壁。

第四节 技术磁化的基本过程

处于磁中性状态的磁性物质，在外磁场的作用下，把已经高度自发磁化的许多磁畴的磁矩，从各个不同的方向改变到外加磁场方向或接近外加磁场方向上来，从而对外呈现出较强的磁性，这一过程称为技术磁化过程，简称磁化。

技术磁化过程是通过使畴壁的位移和磁畴磁矩的转动磁化两个过程来完成的。每个铁磁体在非磁化状态下，都自发地分成许许多多磁畴，这些磁畴的磁矩取向杂乱无章，不呈现出宏观的磁性。如图 1—3 (a) 所示。

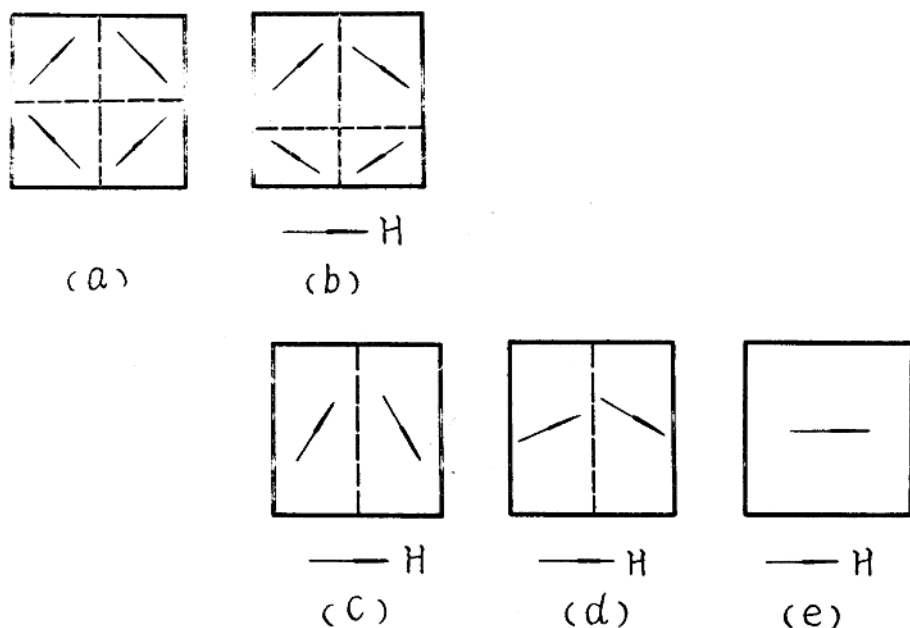


图 1-3 畴壁位移和磁畴磁矩转动磁化示意图

在弱磁场作用下，那些与外加磁场的方向一致的或比较接近的磁畴的体积逐渐扩大，而同这些磁畴相邻，但它们的磁矩方向同外磁场方向相差较大的那些磁畴的体积则逐渐缩小。因此扩大体积的磁畴和缩小体积的磁畴之间的畴壁相当于向一个方向移动，这就是畴壁的位移。如图 1—3 (b)，(c) 所示。

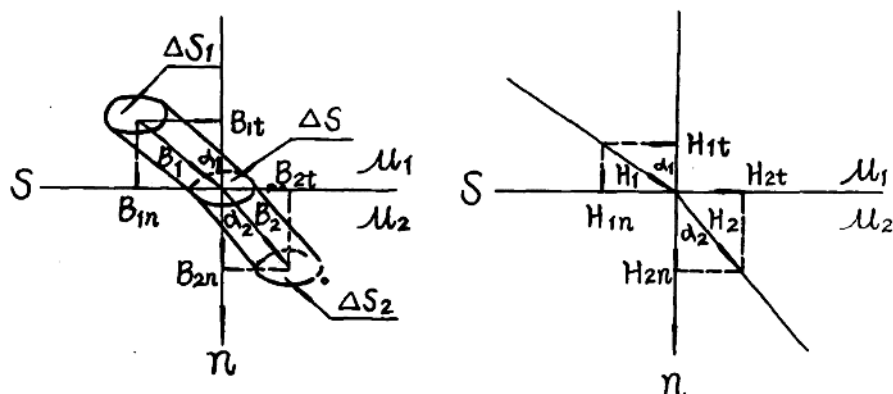
畴壁位移的过程比磁畴磁矩转动磁化过程所消耗的能量少，所以在弱磁场中主要是畴壁位移的过程。随着外加磁场的逐渐增大，磁畴磁矩将逐渐转向到外磁场方向上来，从而实现磁畴磁矩的转动磁化过程。如图 1—3 (d)，(e) 所示。

应该指出：畴壁的位移和磁畴磁矩的转动磁化两个过程都要受到阻力，要克服这种阻力，外界必须对它做功，通常用能量来表示。若磁化时所需的能量小这表明畴壁位移和磁畴磁矩转动磁化二过程易于实现，磁性材料容易磁化。反之就难于磁化。

第五节 磁场的边界条件

如前所述，磁场是一种特殊的物质，可由磁感应强度 B 与磁场强度 H 来定量描述。下面谈一下在两种不同的磁介质界面上， B 和 H 的变化情况。

如图 1—4 所示， S 表示磁导率分别为 μ_1 和 μ_2 的两种磁介质的分界面。在分界面上取一小平面 ΔS ，其法线以 n 表示。在两种磁介质中的磁感应强度分别为 B_1 和 B_2 ，它们的方向与法线 n 之间的夹角分别为 α_1 和 α_2 。以 ΔS 为公共底面，用平行于 B_1 和 B_2 的线作母线，各作一斜圆柱面，从而组成一个封闭柱面，其中 ΔS_1 和 ΔS_2 与 ΔS 平行而且面积相等。



a) 磁感应强度法向分量不变 b) 磁场强度切向分量不变

图 1—4 磁场的边界条件

一、根据磁场中的高斯定理可得:

$$B_{1n} = B_{2n} \quad \dots\dots\dots (1-5-1)$$

上式表明: 通过两种磁介质的分界面时, 磁感应强度的法线分量是不变的, 即在交界面上 B 的法向分量是连续的。

二、根据安培环路定律可得:

$$H_{1t} = H_{2t}$$

$$\frac{B_{1t}}{B_{2t}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad \dots\dots\dots (1-5-2)$$

上式表明: 在两种磁介质的分界面处, 磁感应线将发生“折射”现象, 即在两种磁介质中磁感应强度与法线所成的倾角的正切之比, 等于这两种介质的磁导率之比。当磁感应线从磁导率较大的磁介质通过分界面进入磁导率较小的磁介质时, 磁感当线将“折向”法线, 而且变得稀疏。亦即通过与磁感应垂直的单位面积的磁感应线的数目减少。反之, 磁感应线则“折离”法线, 而且变得密集, 致使垂直于磁感应线的单位面积内所通过的磁感应线的数目增多。若分界面与入射磁感应线垂直, 则它将无折射地全部进入第二种介质, 其磁感应强度保持不变。

第六节 磁粉探伤原理

材质均匀的铁磁性物质被磁化后, 其内部的磁感应线呈均匀分布。若在其表面或近表面存在缺陷(异性介质)时, 将会造成磁感应线的重新分布, 如图 1-5 所示。

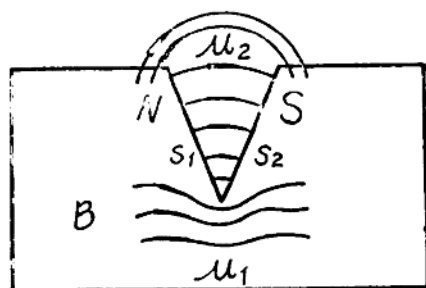
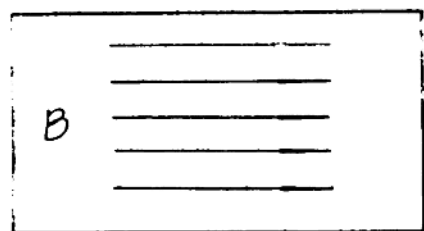


图 1-5 异性介质对磁感应线分佈的影响

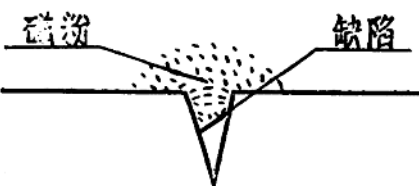
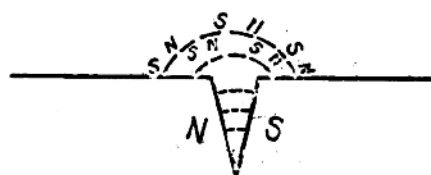
这是因为缺陷（如裂纹、气孔、分层、非金属夹杂物等）一般多属于非磁性物质，其磁导率远较铁磁性物质小得多（ $\mu_1 \gg \mu_2$ ），因而在分界面处形成磁阻的急剧突变。当磁感应线通过缺陷时，将出现如下三种情况。

一、缺陷底部附近的磁感应线，由于缺陷所在部位的磁阻增大，迫使这部分磁感应线被压缩变得弯曲后从缺陷底部绕过。

二、处于分界面处的磁感应线要发生“折射”现象，从缺陷介面 S_1 面“折出”，再从另一面 S_2 “折入”。其折射程度取决于两种介质的磁导率之比。

三、缺陷顶部边缘附近的磁感应线被折射后，从缺陷一侧泄漏到空间，然后再从另一侧进入铁磁体。

由于缺陷的存在，导致了磁感应线的大小和方向发生改变，因而在磁感应线离开和进入铁磁体的地方分别出现N极和S极，从而形成了局部漏磁场。这种漏磁场可使高磁导率的磁粉（ Fe_3O_4 ）磁化并呈现极性。当磁粉两极与漏磁场两极相互作用时，就会被吸引在漏磁场区域，从而把缺陷的形状、大小和方向显示出来。这就是磁粉探伤的基本原理。如图 1-6 所示。



a) 漏磁场与磁粉间的相互作用

b) 缺陷处磁粉堆积情况

图 1-6 磁粉探伤原理示意图

第二章 磁特性曲线

磁特性曲线是反映磁性材料的基本磁学性能的一些曲线。从这些曲线上可以分别得到确定材料磁特性的一些重要参数，这些参数对磁粉探伤来说是非常有意义的，它对选择正确的探伤方法和制订合理的探伤规范提供了可靠的理论依据。我们选择常用的一些钢种，经不同的热处理规范处理后测绘出本书中的一系列曲线。这些钢种对国内其他部门，也具有一定的代表性。

每幅图上有四条曲线，即基本技术磁化曲线（ $B-H$ 曲线）、剩余磁感应曲线（ B_r-H 曲线），磁导率曲线（ $\mu-H$ 曲线）和磁滞回线。

应当指出的是：这些曲线都是静态磁特性曲线，静态磁特性曲线同动态磁特性曲线相比，动态磁特性曲线要发生畸变，而且随着磁化电流交变频率的增加，畸变就愈大。严格说来两者不能互相取代。如图2-1所示。

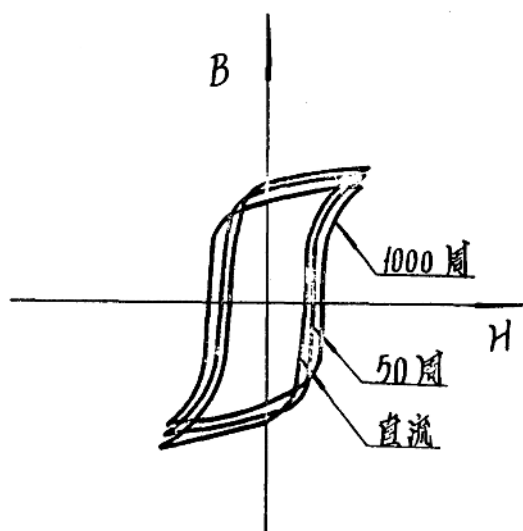


图2-1 不同频率下的磁滞回线

但是，对于磁粉探伤来说，磁化时所用的交流电频率一般为50赫芝。在这种频率下动态特性曲线的畸变很小，从工程技术的实际出发，可将其影响忽略不计。

第一节 技术磁化曲线（ $B-H$ ）曲线

当一个处于宏观磁中性状态的物质，置于外磁场中将受到磁化，而使物质内部的磁感应强度 B 远远大于外磁场强度 H ，其值并随 H 的变化而变化。表征物质内部磁感应强度 B 随外磁场 H 变化

规律的关系曲线，称为该物质的技术磁化曲线，或称起始磁化曲线。如图 2—2 所示。

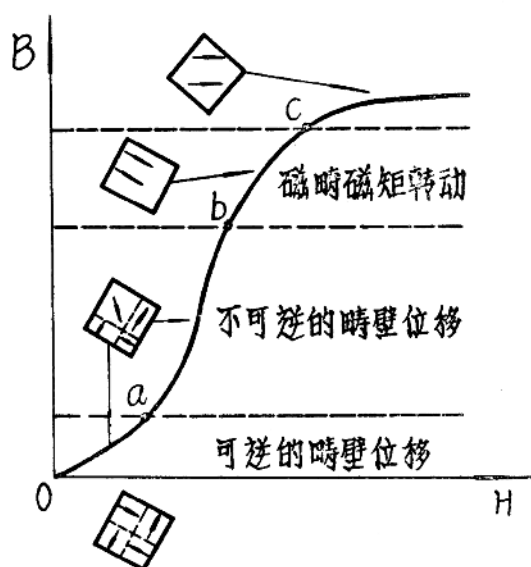


图 2—2 技术磁化曲线示意图

在技术磁化过程中，当外磁场从零逐渐增加时，磁感应强度也随之逐渐增加，直至饱和状态为止。整个变化过程大致可以划分为如下三个阶段

一、图 2—2 中的 $0a$ 阶段，表示磁感应强度 B 随外磁场 H 的增加而缓慢的增加。对软磁材料而言称 $0a$ 阶段为可逆磁化阶段。（所谓“可逆”就是说，在这个阶段上如果把磁场强度减退到零，磁感应强度也几乎完全减退到零）。磁化在这个阶段上主要是可逆的畴壁位移起作用，而磁畴磁矩的可逆转动作用则很小。

二、图 2—2 中的 ab 阶段，表明磁感应强度随着磁场强度的增加而急剧增加。这个阶段称为不可逆磁化阶段。在这个阶段上主要是不可逆的畴壁位移占主导作用，同时尚有大批的磁畴磁矩开始逐渐转向外磁场方向，因而出现剧烈磁化。其最大磁导率 μ_m 就出现在这个阶段上。

三、图 2—2 中 bc 阶段，表明磁感应强度随磁场强度的增加而变化开始减慢，在这个阶段中起主要作用的是磁畴磁矩的转动。超过 C 点以后磁化趋近饱和，此时磁畴磁矩已基本转到外磁场方向或接近外磁场的方向上来了，故称 C 点为膝点。

不同的铁磁性材料其技术磁化曲线是不一样的。软磁材料（工业纯铁、低碳钢等）的磁化曲线就比较陡峭，表示该种材料易于磁化。而硬磁材料（高碳钢、高合金钢等）的磁化曲线就不那么陡峭，表示该材料较难磁化。

磁感应强度 B 值的大小是决定零件能否保证探伤灵敏度的重要因素。欲使工件上的缺陷充分

地被显示出来, 其B值大小的数量级应保证在 10^3 高斯以上。

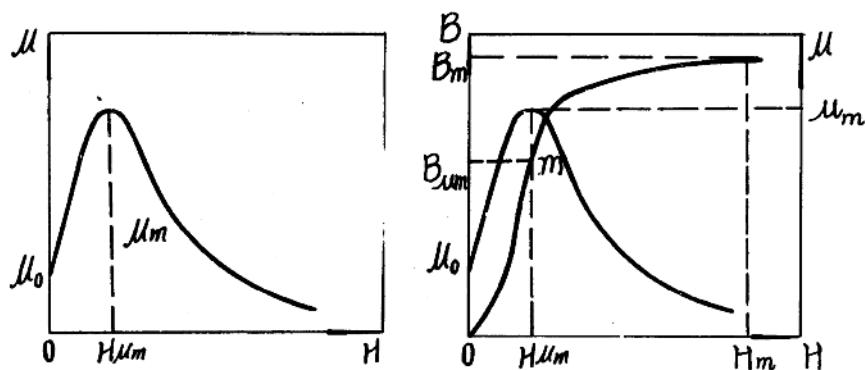
第二节 磁导率曲线 ($\mu-H$) 曲线

如前所述磁感应强度与磁场强度间存在如下关系:

$$B = \mu H$$

式中 μ 称为磁导率, 它是磁场强度H的函数, 是一个变量, 其值可直接从B-H曲线上求得。

图2-2 (B-H) 曲线上任何一点的B与H之比 (即曲线的斜率), 就是在该磁场强度下磁性材料所对应的磁导率。为此可根据B-H曲线绘出 ($\mu-H$) 曲线。如图2-3(a)所示。



a) $\mu-H$ 曲线示意图

b) $\mu-H$ 与B-H关系示意图

图2-3 磁导率、磁感应强度与磁场强度的关系

μ_0 称为起始磁导率

μ_m 称为最大磁导率

图2-3 (b) 表示 ($\mu-H$), (B-H) 的关系曲线。由图可知: 随着H的增大, μ 值迅速增大。当磁场强度增至 $H\mu_m$ 时, 磁导率出现极大值 μ_m , 此时表明磁性物质受到强烈磁化, 从而在磁性物质内部获得的磁感应强度为 $B\mu_m$ 值 (此时磁化不充分, 尚未饱和)。再继续增大H值时, 磁化继续进行, $B\mu_m$ 逐渐靠近饱和磁感应强度 B_m 点, 而磁导率 μ 值则从 μ_m 开始逐渐下降, 最后趋近于1。

(B-H) 曲线上的m点称为磁化曲线的拐点, 在拐点处 (B-H) 曲线的斜率最大, 其所对应的 $\mu-H$ 曲线上将出现最大值。

起始磁导率 μ_0 。对磁粉探伤并不是重要的参数, 而重要的是出现最大磁导率 μ_m 所对应的磁场强度 $H\mu_m$, 它表明材料在此外磁场附近被强烈的磁化。

第三节 磁滞回线

当一个处于宏观中性状态的铁磁性物质, 置于外磁场中磁化时, 铁磁质内的磁感应强度B

随稳定增加的外磁场 H 变化的关系，如图 2—4 中所示。

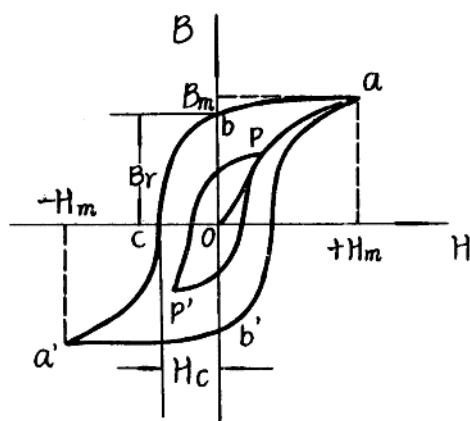


图 2-4 磁滞回线

如果从饱和状态开始，外磁场由 $+H_m$ 逐渐减小时，磁感应强度 B 并不沿 aO 曲线减小，而是沿着另一条曲线 ab 的方向比较缓慢的减小，这种 B 的变化落后于 H 变化的现象，叫作磁滞现象，简称磁滞。由于存在磁滞的缘故，当外磁场强度减退到零时，磁感应强度 B 并不等于零，仍保留有一定的数值 B_r （相当于图 2—4 中的 $O b$ 线段）。称 B_r 为剩余磁感应强度，简称剩磁。

磁滞现象是一切铁磁质所具有的特定现象，为了消除剩磁（使 $B_r = 0$ ），必须加一反向磁场。随着反向磁场的增加， B 值逐渐减小。当 $H = H_c$ 时， B 值等于零，通常把使剩余磁感应强度 B_r 等于零时的磁场强度 H_c 值叫作矫顽力（相当于图 2—4 中的 $O c$ 线段）。它表示铁磁质保存剩磁的能力，是衡量铁磁质磁性稳定的重要参数。当反向磁场继续不断增加到 $-H_m$ 时，材料的反向磁化同样能达到饱和点 a' ，此时若使反向磁场减弱到零， $(B-H)$ 曲线沿 $a'b'$ 变化。以后再增强正向磁场到 $+H_m$ 时， $(B-H)$ 曲线沿 $b'a$ 变化而完成一个循环。将此循环过程所形成的闭合曲线叫作磁滞回线。

在技术磁化曲线 $O a$ 上任取一点 P ，使其所对应的磁场强度变化一周，可以得到一个相应的磁滞回线。随着所选取点的不同，所得到的磁滞回线所包围的面积也不同。磁饱和状态下所对应的磁滞回线面积最大，称为极限磁滞回线，也称主磁滞回线或最大磁滞回线。

磁滞回线所包围的面积物理意义是，单位体积的铁磁质循环磁化一次时所消耗的功（或能量）与磁滞回线所包围的面积成正比。不同铁磁质的极限磁滞回线所包围的面积是不同的。软磁材料的磁滞回线形状狭窄，所包围的面积小，故磁化时所消耗的功就少，则易于磁化。硬磁材料的磁滞回线形状肥大，所包围的面积大，故磁化时所消耗的功就多，磁化时就比较困难。

铁磁质产生磁滞现象的原因，是由于磁畴间存在着相互的作用，使之不能恢复初始状态的结果。

应当声明的是，本书中所描绘出来的磁滞回线仅是完整磁滞回线的第一、第二两个象限部分。第三和第四两个象限部分，没有绘出。

第四节 剩磁曲线 (B_r-H) 曲线

由于铁磁性物质存在着磁滞现象，故用不同的外磁场对它反复磁化一周时，就可以得到一系列面积大小不等的磁滞回线。如图 2-5 所示。

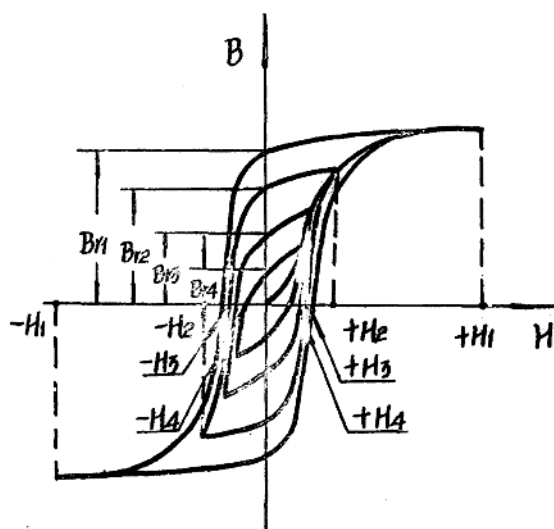


图 2-5

不同外磁场下获得的磁滞回线系列

当外磁场在 $\pm H_1$ 范围内缓慢变化一周，可得到一个较小的磁滞回线，其所对应的剩余磁感应强度为 B_{r1} 。然后分别增大外磁场，使之各自在 $\pm H_1$ 、 $\pm H_2$ 及饱和磁场 $\pm H_1$ 范围内缓慢变化一周，便可得到一系列包围面积逐渐增大的磁滞回线，所对应的剩余磁感应强度分别为 B_{r1} 、 B_{r2} 、 B_{r3} 。取各自相应的磁场强度和剩余磁感应强度作图，即得图 2-6 所示的 (B_r-H) 曲线，它表示剩余磁感应强度随磁场强度变化规律的曲线，故称剩磁曲线。

由图 2—6 可以看出，剩磁曲线与技术磁化曲线具有基本相同的形状。同样具有初始（I）、急剧变化（II）、基本饱和（III）三个阶段。（ B_r-H ）曲线出现平直部分时，表示磁化已达饱和状态，这对磁粉探伤来说极为重要。因为（ B_r-H ）曲线的饱和阶段较技术磁化曲线更为平坦，这样就可以从（ B_r-H ）曲线上开始出现平直的部分，再参考（ $B-H$ ）曲线所对应的场强，便可极为方便的确定出饱和磁化所需要的磁场强度来。

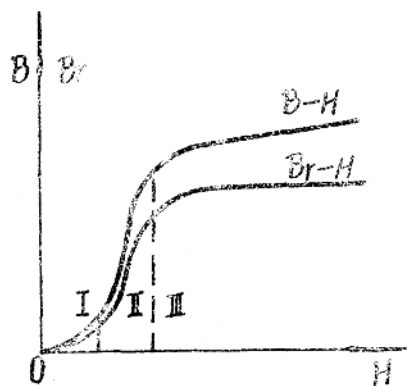


图2-6 技术磁化曲线与剩磁曲线

第五节 退磁曲线，最大磁能积

欲使铁磁质由于磁滞现象而造成的剩余磁感应强度减退到零，必需施加一个反向磁化场。当反向磁化场的强度达到某一特定值时，磁感应强度方才减退到零。这段过程就是反向磁化过程的前阶段，表示在这段过程中 B 和 H 关系的曲线称为退磁曲线。不难看出退磁曲线是指极限磁滞回线在第二象限中的部分。如图 2—7 中 $BMNP$ 线段。

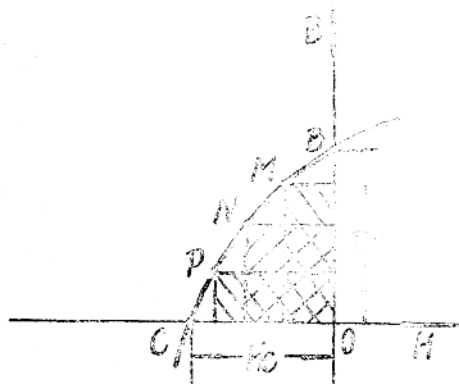


图2-7 退磁曲线

在退磁曲线上的任意一点所对应的 B 与 H 的乘积，是标志磁性材料在该点上单位体积内所具有的能量。因为乘积 BH 的量纲是磁能密度，所以把它叫做磁能积， BH 的乘积正比例于图中划斜线的矩形面积。在退磁曲线上总可以找到一点（ N 点），其所对应的 B 与 H 的乘积具有最大值（此时所对应的矩形面积最大），称为最大磁能量，用 $(BH)_{max}$ 表示。 N 点称为最大磁能积点。

由电磁学得知，磁能积在数值上是磁体磁能密度的两倍。它是 B_r 与 H_c 的综合参数，是标明工件磁化后所保留磁能的具体特征。磁能积愈大，表明磁化后保留在工件中的磁能越多。

确定最大磁能积点的方法有两种，现分别介绍如下：

一、等磁能曲线族法

如图 2—8 所示：