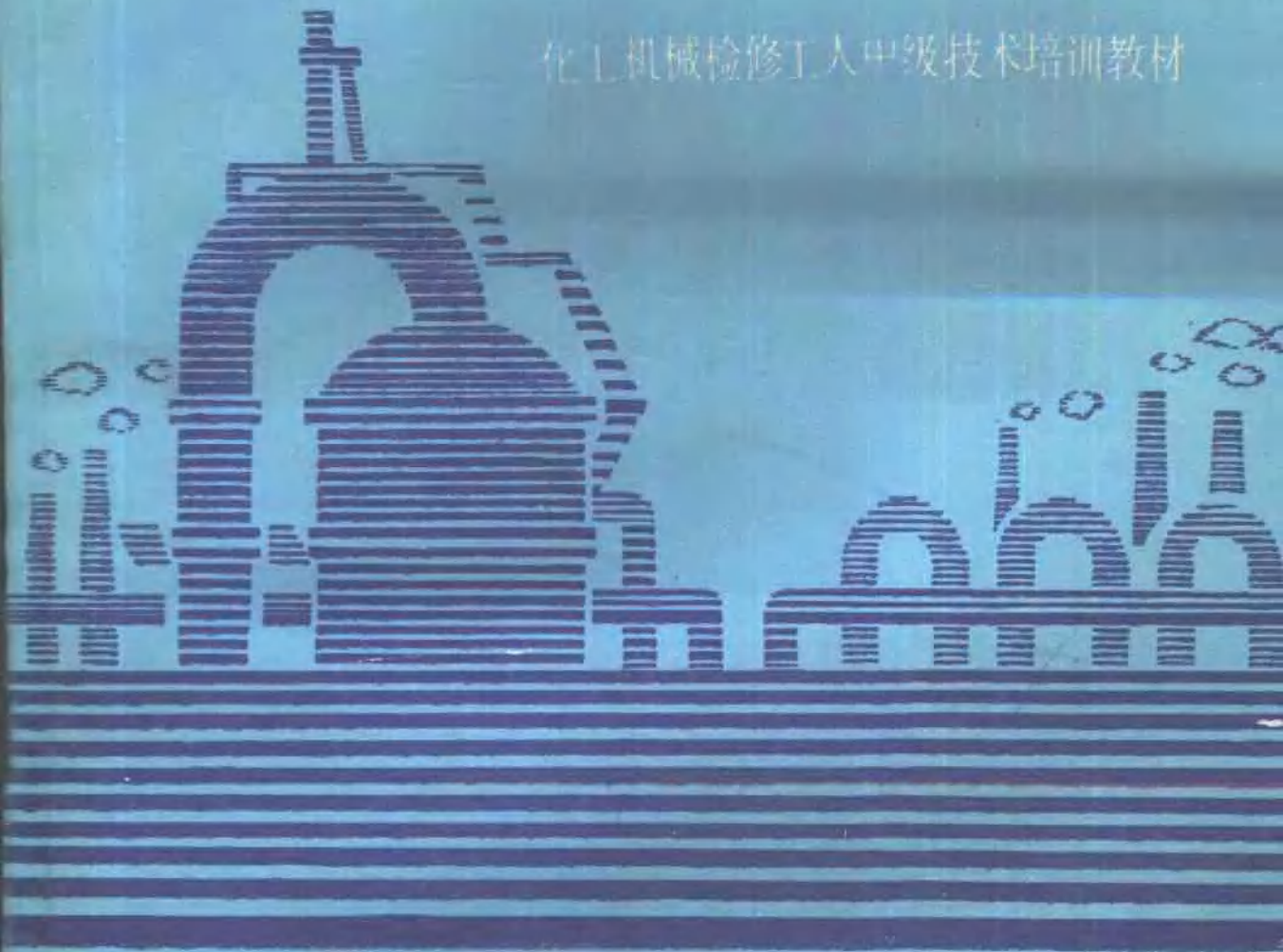


化工机械检修工人中级技术培训教材



化工无损探伤工艺学

翁长淦 主编

成都科技大学出版社

化工无损探伤工艺学

翁 长 淦

成都科技大学出版社

一九八八年三月

内 容 提 要

本教材主要由五部分组成，一至四部分讲述了磁粉探伤、渗透探伤、超声波探伤、射线探伤的物理基础、探伤原理、探伤工艺及设备、各类缺陷的质量评定。第五部分讲述了在役锅炉、压力容器和管道的无损探伤要求以及探伤工艺的制定和无损探伤的安全防护。

本教材是4～6级无损探伤工的培训教材，也可供有关技术人员和工人学习参考，并可作Ⅰ级无损探伤人员理论培训教材。

化工无损探伤工艺学

翁长淦 编

责任编辑 罗光华 周树琴

成都科技大学出版社出版发行

四川省新华书店经销

四川教育学院印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：15.75

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

印数 1—7000 字数：393千字

ISBN7—5616—0133—6/TQ·20 (课)

定价：4.20元

前 言

对广大工人进行比较系统的技术理论培训，是一项战略任务。开展这项工作，教材是个关键。为了统一培训目标及教学内容，逐步建立起比较正规的工人技术教育制度，我们在全国化工技术培训教材编委会的领导下，根据化工部颁发的《化工检修工人中级技术等标准》和《化工机械检修工作中级技术理论培训教学大纲》，组织编写了化工机械检修九个工种〔检修（综合）钳工、机泵检修钳工、橡胶设备检修钳工、管工、铆工、电焊工、气焊工、起重工、无损探伤工〕用的五门技术基础课教材：《工程制图》、《机械基础》、《金属工艺基础》、《化工生产过程及机器设备》、《橡胶制品机械》和七门专业课教材：《化工检修钳工工艺学》、《化工管工工艺学》、《化工铆工工艺学》、《化工焊工工艺学》、《化工起重工艺学》、《化工无损探伤工艺学》、《橡胶设备检修钳工工艺学》。

这套教材主要用于化工机械中级检修工人培训，也适用于技工学校、职业学校的相关专业，还可作为中专、大专院校有关专业实践性教学的参考书。考虑到在职培训的特点，同时也为了便于教学，这套教材在内容上贯彻“少而精”的原则，力求做到结构合理、份量恰当、联系实际、学用结合、由浅入深、循序渐进，在将基本概念、基本理论、基本技能阐述清楚的前提下，注意到知识的科学性、系统性和适合读者自学的需要。各门教材之间既注意相关的联系衔接，又使有一定的独立性和灵活性，使用单位既可用整套教材对工作进行系统培训，又可选用其中的一种或几种进行短期的、专门的单项技术训练。

在编写过程中，吸取了不少职工教育工作者的意见。有很多市化工厅（局）、企业、学校和研究单位提供了大力支持和许多方便。出稿完成后，又在全国范围内组织了在工厂、学校、研究设计单位的许多同志进行审阅。对于参与编写工作和审稿工作的同志，我们致以诚挚的谢意。

编写化工机械检修工人技术理论培训的统一教材，建国以来还是第一次，由于时间仓促和编写经验不足，书中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望使用单位和广大读者批评指正，以便进一步修改完善。

化工部技术培训教材编委会

西南、西北地区组

1987年8月

编 者 的 话

本书是化学工业部统编的化工机械检修工人中级理论培训教材，是根据化学工业部《化工检修工人技术等级标准》和按劳动人事部、全国职教委要求，结合化工行业的实际需要，并根据教材编审委员会审定的教育大纲编写的。教材的编写得到了省化工厅、省劳动人事厅、成都科技大学、四川化工机械厂、什邡化机厂的支持与帮助。由季敬培、陈锡钧、周会林等同志审阅，由辛忠仁任主审工作，在此表示衷心地感谢！

由于编者水平有限，时间仓促，错误之处在所难免，请读者提出宝贵意见。

翁长淦

一九八八年二月

绪 言

无损探伤是在不损坏被检验对象的前提下,对工件(设备)的外表缺陷和内部缺陷进行检验的一种非破坏性方法。随着生产的发展和生产技术日益提高,对重要设备如锅炉、压力容器的要求越来越高。由于它们的工作条件恶劣,介质属于高温高压,具有潜在的易燃性、爆炸性和腐蚀性,结构上属于典型的焊接结构,使用上量多面广,所以对它们的制造质量控制和在役容器的定期检验已日益受到重视。容器的制造质量和在役设备定期检验主要内容是:原材料的无损探伤,零部件的制造质量,焊缝的焊接质量以及内部缺陷的稳定性。只有在确认其不存在超标缺陷,制造质量符合相应技术标准时,才能使用和运行。所以无损探伤是确保产品质量,保证设备安全运行,延长产品使用寿命,降低制造成本必要而且可靠的技术手段。

无损探伤是一门以物理学、力学、电子学、材料学为基础的新兴科学技术,所涉及的知识领域宽、范围广,对探伤人员素质要求高。目前检验手段,以五大常规为主:射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤和涡流探伤。

无损探伤是一门新兴的学科,所涉及到的内容广泛、探伤人员必须根据受检对象的结构特点、制造工艺、焊接方法、材料特性以及所选用的探伤方法的特点,对缺陷进行综合评定,才能对缺陷的有无、缺陷的大小、缺陷的性质下结论。

无损探伤具有多种方法,每种方法具有各自特点。例如射线探伤对于某些方向的危险性缺陷(如裂纹)是不敏感的,而对于体积性缺陷(如气孔,夹渣等)具有较高的灵敏度。超声波探伤法与其相反,对裂纹、未熔合等缺陷尤其敏感,而对气孔夹渣类缺陷的探测能力较弱。两种方法可以互相补充,发挥其特长。但需要说明的是对同一工件探伤,两者的探伤结果由于探伤的原理不同,及对缺陷的敏感程度不一样而可能不吻合。如超声波探伤发现危险性缺陷的信号,在用射线复查验证时,可能发现不了。在这种情况下就不能片面地认为不存在缺陷。同样道理,某种探伤方法的探伤结果如果未发现缺陷,则只能下“未发现缺陷”的结论,而不能下“无缺陷的结论”。

至于磁粉探伤和渗透探伤,只适用于表面和近表面(表层)缺陷的探测,使用上都有一定的局限性。涡流探伤目前使用并不广泛,本教材不作重点教学内容。

目 录

第一篇 磁粉探伤..... (1)

第一章 磁粉探伤物理基础..... (1)

第一节 磁场的特性..... (1)

第二节 磁化..... (2)

第二章 磁粉探伤基本原理..... (5)

第一节 漏磁通..... (5)

第二节 外磁场种类..... (7)

第三节 磁化方法..... (8)

第四节 磁化规范..... (12)

第三章 磁粉探伤设备及材料..... (15)

第一节 磁粉探伤装置..... (15)

第二节 磁粉和磁悬液..... (17)

第三节 灵敏度试块..... (19)

第四章 磁粉探伤工艺..... (21)

第一节 磁粉探伤应用范围..... (21)

第二节 磁粉探伤操作..... (21)

第五章 磁粉探伤实例..... (26)

第一节 螺柱磁粉探伤..... (26)

第二节 焊缝的磁粉探伤..... (27)

磁粉探伤习题..... (28)

第二篇 液体渗透探伤..... (31)

第六章 渗透探伤法基础..... (31)

第一节 表面张力..... (31)

第二节 弯曲液面的附加压强..... (32)

第三节 液体的润湿作用..... (32)

第四节 毛细现象..... (33)

第五节 溶剂的溶解作用..... (34)

第六节 乳化作用..... (34)

第七节 荧光..... (35)

第七章 液体渗透探伤基本原理

及工艺..... (35)

第一节 探伤原理..... (35)

第二节 探伤方法分类..... (35)

第三节 渗透方法及工艺步骤..... (38)

第四节 渗透探伤灵敏度的影响 因素..... (39)

第五节 探伤灵敏度试块..... (41)

第八章 着色探伤法..... (43)

第一节 前处理..... (43)

第二节 渗透处理..... (43)

第三节 乳化处理..... (47)

第四节 清洗处理..... (48)

第五节 显像处理..... (49)

第六节 干燥处理..... (52)

第七节 观察评定..... (52)

第八节 显示图像的判别..... (52)

第九节 后处理..... (53)

第九章 荧光探伤法..... (53)

第一节 荧光及荧光物质..... (53)

第二节 荧光渗透液..... (54)

第三节 荧光显像液..... (56)

第四节 缺陷图像的评定..... (57)

第十章 工件探伤实例..... (57)

第一节 焊缝表面探伤..... (57)

第二节 叶片表面探伤..... (58)

第三节 检漏检验..... (59)

渗透探伤习题..... (60)

第三篇 超声波探伤..... (62)

第十一章 超声波探伤..... (62)

第一节 机械波..... (62)

第二节 超声波..... (64)

第三节 超声场..... (73)

第四节 分贝的概念..... (77)

第五节 缺陷对超声波的反射..... (78)

第十二章 仪器、探头及试块 (81)	第十七章 管材探伤(138)
第一节 超声波探伤仪..... (81)	第一节 钢管中常见缺陷.....(138)
第二节 超声波探头..... (85)	第二节 钢管探伤特点和探伤方法.....(138)
第三节 试块..... (88)	第三节 钢管的水浸探伤法.....(140)
第四节 探伤仪及探头组合性能..... (93)	第四节 灵敏度调整以及评定标准.....(141)
第十三章 超声波探伤工艺 (96)	超声波探伤习题.....(142)
第一节 探伤方法分类..... (96)	第四篇 射线探伤 (145)
第二节 晶片、折射角及频率..... (98)	第十八章 射线探伤物理基础(145)
第三节 时间扫描线的调整..... (99)	第一节 射线的种类.....(145)
第四节 灵敏度及其调整..... (99)	第二节 射线的基本特性.....(146)
第五节 反射波高度的影响因素.....(101)	第三节 射线的产生.....(146)
第六节 缺陷的定位.....(102)	第四节 射线与物质的作用及衰减.....(150)
第七节 缺陷的定量.....(103)	第十九章 α射线探伤设备(153)
第八节 水浸探伤法.....(107)	第一节 α 射线探伤机装置原理.....(153)
第九节 联合双探头探伤法.....(108)	第二节 α 光管构造.....(153)
第十节 非缺陷回波和噪声.....(108)	第三节 产生 α 射线的典型线路.....(155)
第十四章 斜探头探伤(110)	第四节 α 射线探伤设备.....(158)
第一节 斜探头探伤基础.....(110)	第五节 r 射线探伤机.....(160)
第二节 斜角探伤方法及操作.....(113)	第十二章 射线探伤工艺(161)
第十五章 焊缝探伤(120)	第一节 射线探伤原理.....(161)
第一节 探伤面准备.....(120)	第二节 射线照相灵敏度与象质计.....(162)
第二节 探头 K 值的确定.....(121)	第三节 几何不清晰度.....(167)
第三节 时间扫描线的调整.....(122)	第四节 射线能量选择.....(169)
第四节 距离—波幅曲线制作.....(122)	第五节 增感屏及其选择.....(170)
第五节 探伤灵敏度的调整.....(126)	第六节 胶片及其选择.....(172)
第六节 缺陷的定位、定量.....(127)	第七节 固有不清晰度.....(175)
第七节 缺陷的定性.....(128)	第八节 散乱射线的屏蔽.....(176)
第八节 判废标准.....(130)	第九节 透照厚度差控制及有效长度计算.....(177)
第十六章 板材探伤(131)	第十节 曝光曲线及其应用.....(181)
第一节 钢板中的缺陷.....(131)	
第二节 钢材的探伤方法.....(132)	
第三节 探伤灵敏度确定.....(135)	
第四节 探伤范围及探伤图形.....(135)	
第五节 缺陷的评定.....(136)	

第十一节	胶片的暗室处理·····	(184)
第十二节	射线照相灵敏度影响 因素·····	(193)
第十三节	不同类型焊缝及工件 透照方法·····	(195)
第十四节	射线照相操作及有关参数 测定·····	(198)
第二十一章	射线照相质量评定·····	(199)
第一节	底片质量要求·····	(199)
第二节	典型缺陷在底片上的影像 特征·····	(200)
第三节	底片上的伪缺陷·····	(202)
第四节	底片的评定·····	(203)
	射线探伤习题·····	(211)
第五篇	锅炉、压力容器、管道无损 探伤及完全防护···	(214)
第二十二章	锅炉、容器、管道无损 探伤·····	(214)

第一节	锅炉的无损探伤·····	(214)
第二节	压力容器的无损探伤·····	(215)
第三节	管道的无损探伤·····	(221)
第四节	典型容器的在役检验·····	(223)
第二十三章	探伤工艺规范的 制订·····	(229)
第一节	无损探伤工艺的作用·····	(229)
第二节	无损探伤工艺的基本 内容·····	(231)
第三节	典型设备的无损探伤 工艺·····	(233)
第二十四章	无损探伤安全防护·····	(234)
第一节	射线对人体的伤害 作用·····	(234)
第二节	剂量的基本概念·····	(234)
第三节	射线的防护·····	(236)
第四节	其它探伤方法的防护·····	(240)
	射线防护习题·····	2(41)

第一篇 磁粉探伤

磁粉探伤是无损检测中使用较早的一种方法，它可以用来探测铁磁性材料表面及近表面的裂纹和其它缺陷。它对表面缺陷的灵敏度很高，随缺陷埋藏深度增加而急剧下降。所以它属于表面探伤范围。由于磁粉探伤灵敏度高、操作方便、结果可靠、缺陷重复显示性好，所以用途极其广泛。

第一章 磁粉探伤物理基础

第一节 磁场的特性

一、磁场强度

常见的磁场有磁铁产生的磁场和通电导线产生的磁场。

如果在通电导线垂直方向放一张硬纸，并使导线通过硬纸，纸上放有铁屑，铁屑就会排列成一个以导线为圆心的同心圆图像。靠近导线的同心圆密集，离导线愈远则同心圆愈稀疏。这说明磁场强度的分布随它与导线的距离不同而相异。

通过理论推导，通电导线的磁场强度由下式确定：

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (1.1)$$

式中 H —磁场强度， A/m （或奥斯特）；
 I —流过导线的电流， A ；
 r —距导线距离， m 。

表征磁场强弱的物理量称为磁场强度，它有大小和方向，故称为矢量。国际单位制用安/米作度量单位。磁场强度的另一单位是奥氏特，它们之间关系是

$$1 \text{ 奥斯特} = \frac{1000}{4\pi} \cdot A/m = 0.08kA/m$$

当通电的导线绕成螺旋形线圈时（图1—1），则线圈内部的磁场强度用下式计算：

$$H = N \cdot \frac{I}{L} \quad (1.2)$$

式中 H —磁场强度， A/m ；
 N —线圈匝数；
 I —流过线圈电流 A ；
 L —线圈长度 m 。

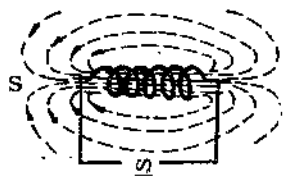


图1—1 通电线圈内磁场

螺旋管端面的磁场强度只有管内中心处磁场强度的一半（图1—2）。

二、磁力线

为了研究磁场，通常可以用一些假设的线来描绘磁场，描绘磁场特性的线称为磁力线。磁力线上任一点的切线方向为该点的磁场方向，磁力线的密度表示其磁场强度大小。参看图1—1。

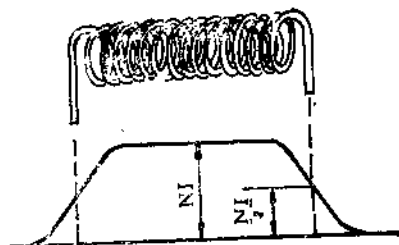


图1—2 载流螺线管的磁场

现在着重分析一下长螺旋管通电时磁场特点，在螺旋管内部，磁力线平行管轴线而且均匀分布；接近管端面时，磁力线散开，在外部空间中相接（或有相接趋势），而且出现磁力线不均匀现象（图1—1）。

分析比较各种磁力线图形，它们具有下列特征：

- (1) 磁力线互不相交；
- (2) 通电导线周围的磁力线都是围绕导线的闭合曲线。
- (3) 磁力线具有缩短长度的倾向，或者说按磁阻最低方向穿行的倾向。

三、磁场方向

从上面分析可知：磁场是有方向的，通电导线所形成的磁场方向与电流方向之间的关系可以用右手定则来确定。



1. 直线电流磁场的磁力线；2. 环形电流的磁场方向；3. 螺线管电流磁场的磁力线。

图1—3 磁场方向

对于通电导线，用右手握住导线，使大拇指表示电流方向，其余四指则表示磁场方向（图1—3）。

对于通电螺线管，用右手握住线圈，四指表示电流方向，则拇指表示螺线管线圈内的磁场方向（1—3）。

第二节 磁 化

一、磁感应强度和磁导率

在讨论载流线圈产生磁场时，都假设导体以外是真空，或者是非铁磁性物质。但在磁粉探伤时将铁磁性物质放置在磁场内进行磁化，使原来无磁性的工件内部产生磁场。这类使物体产生磁性的现象称磁感应现象，被磁化的物质称磁介质。铁磁性物质本身磁特性所决定的磁化强度值与外加磁场迭加在一起，就得到了该物质的磁感应强度，用字母 B 表示。

磁感应强度 B 的大小与外磁场强度和被感应物体的性质相关，其大小表示为

$$B = \mu H \quad (1.3)$$

式中 μ —物料的磁导率；

H—磁场强度。

在国际单位制中， B 的单位是特斯拉， H 的单位是安/米。在电磁单位中， B 的单位是高斯，它同特斯拉的关系是

$$1\text{特斯拉} = 10^4\text{高斯}$$

磁导率 μ 是物质磁性的重要参数，它表示材料在一定的磁场下被磁化的难易程度。

在电磁单位中，真空磁导率 $\mu = 1$ ，空气的磁导率近似为1，所以在一般情况下，可以把空气中的磁场看作真空中磁场。

各种物质的磁性不同，按其磁导率 μ 的大小，可以分为三类：

(1) 抗磁性物质： $\mu < 1$ ，这类物质称抗磁性物质，也称逆磁体。金属如 Bi 、 Zn 、 Cu 、 Ag 和非金属 Si 、 P 、 S 等都是典型的抗磁性物质。

(2) 顺磁性物质： $\mu > 1$ 但接近于1，这类物质称为顺磁性物质，又称顺磁体。碱金属 Na 、 K 、奥氏体钢、 Cr 、 Mn 、 Pb 等都属该类。金属 Fe 、 Co 、 Ni 在较高温度（高于居里点）亦具有顺磁性。

无论是顺磁性物质和抗磁性物质，由于其磁导率 μ 小，都无法进行磁粉探伤。

(3) 铁磁性物质：当材料的磁导率 $\mu \gg 1$ 时，($10^3 \sim 10^5$)这类物质称为铁磁性物质，也称铁磁体。 Fe 、 Co 、 Ni 以及它们的合金和化合物， Cr 及 Mn 的一些合金都属此类。

磁粉探伤的对象就是铁磁性物质，由于其 μ 值大，在外磁场 H 的作用下，会产生很大的磁感应强度 B 。

二、磁化曲线和磁滞回线

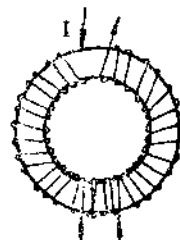
从上段内容中，讨论了不同材料由于 μ 值不同，在磁场 H 的作用下所反应出 B 值的不同特点。对于铁磁性物质， H 与 B 值关系又是如何呢？现作一实际测定，测定装置如图1—4所示：把待测材料作成—个闭合环，上面均匀绕以导线，形成一个充满铁芯的螺旋环，由控制电流 I 的大小产生不同值的磁场强度

$$H = NI \quad (1.4)$$

因为 I 值是已知的，线圈匝数 N 是一个常数，则 H 值是已知的。关于磁感应强度 B 可以用一个接在冲击电流计的次级线圈来测量。

如果铁芯材料未经任何磁化，当电流从零开始逐渐增加，直至磁感应强度达到饱和点（图1—5） S 点。 S 点的磁场强度 H_m 称为饱和磁场强度， S 点的磁感应强度 B_m 称为饱和磁感应强度。图中 OS 曲线表示了 H 与 B 之间关系，称作钢的原始磁化曲线。从图中看出 OS 为一曲线， H 值与 B 值不呈直线关系，所以其磁导率 μ 是一个变量，其值大小可用该曲线上对应点的切线斜率来表示。

从 S 点减小 H 值，磁感应强度值 B 也随之降低，但其返回路线并非沿着 OS ，而是沿着 OK ，



冲击电流计
图1—4 H—B实验测定装置

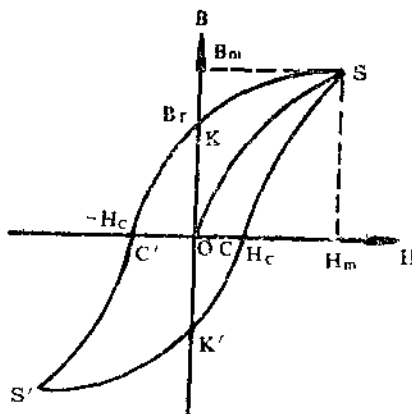


图1—5 磁滞回线图

当线圈中电流降至零而使 H 值为零时,磁感应强度不降至零而是降至 K 点。 OK 的数值代表剩磁大小,把它称之为剩余磁感应强度,用符号 B_r 表示。

要使 B_r 值下降至零,必须进行反向磁化,加上一个反磁场 $-H_c$,此时曲线由 K 降至 C' 。这个反磁场的磁化力数值称为矫顽力。

若把反磁场强度继续增大,使磁感应强度 B 达到反向饱和状态,到达图中 S' 点,此时 S 与 S' 所代表的绝对值相等。如再一次下降磁场强度,直至零值,则得到一个负的 B_r 值(K' 点),此时如重新开始磁化,逐步增大磁场强度,则曲线通过 C 点后到达 S 点,形成一条闭合曲线。

从闭合曲线看出,磁感应强度滞后于磁场强度,这一现象称之为“磁滞现象”,而此闭合曲线称之为磁滞回线。磁滞回线表示了材料的磁特性:磁导率、顽磁性和矫顽力。

三、铁磁性材料分类

铁磁性物质其磁特性不完全相同,它的磁滞回线形态也有区别。按材料的剩磁和矫顽力大小将材料分为硬磁材料和软磁材料两类,其磁滞回线见图1—6。

通常情况下,矫顽力小($H_c \approx 0.8 A/m$)称软磁材料;矫顽力大($H_c \approx 8 \sim 800 K A/m$)称硬磁材料。

从磁滞回线看出,软磁材料有以下特性:

- (1) 磁导率高、易磁化。
- (2) 顽磁性低,剩磁弱。
- (3) 矫顽力低,只需较低的反向磁化力即可消除剩磁。

磁。

常见的软磁材料有:纯铁、低碳钢、低合金钢以及退火状态的中碳钢。

硬磁材料有以下特点:

- (1) 磁导率低,材料难以磁化。
- (2) 顽磁性强,剩磁值 B_r 高。
- (3) 矫顽力高,需要高的反向磁化力才能消除剩磁。

常见的硬磁材料有:铬钢、钴钢以及经过淬火处理从而获得较高剩磁和矫顽力的某些结构钢和中碳钢。

不同化学成分及热处理状态不同的材料磁特性测定结果表明,随着钢中碳和合金元素含量的提高,则其硬磁性愈明显,而钢材正常组织属软磁材料,随着淬火组织(不平衡组织)硬化程度提高,材料硬磁性特性愈加明显。

四、反磁场和去磁因子

如果将直径相同而长度不同的工件放在线圈内磁化,以相同的磁场强度 H 磁化工件,然后分别测定工件中心表面处的磁感应强度值,发现其数值各不相同。长度大的其磁感应强度值也大,长度愈短,则其磁感应强度值愈小。经测定发现,在线圈磁化工件时,在它的两端产生了 N 极与 S 极,这个 $N-S$ 极所产生的磁场总是与通电线圈产生的磁场相反,此磁场称为

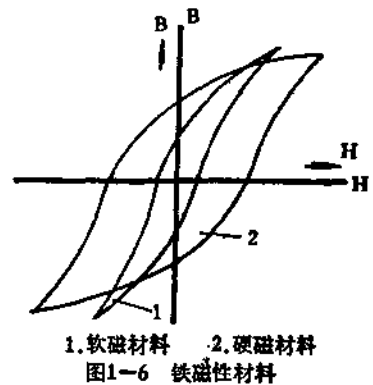


图1—6 铁磁性材料

反磁场。经测定反磁场其值大小为

$$H_d = -NM \quad (1.5)$$

式中 M —工件的磁化强度

N 定义为退磁因子, 也称去磁因子。负号表示此磁场与外加磁场方向相反。

去磁因子的大小与工件形状有关。设另件长度为 L , 直径为 d (此时另件长度方向与外加磁场方向一致, 直径方向与外磁场方向垂直), 则 N 的大小与 L 和 d 的比值成反比, L/d 愈大, 则 N 值愈小, 反磁场也小。 L/d 愈小, 则 N 愈大, 反磁场也大。

当另件长度大于线圈长度, 此时另件处于局部磁化状态, 在另件位于线圈端面处同样会产生反磁场。

由于反磁场与磁化场方向相反, 因此削弱了外加磁场的大小, 在另件磁粉探伤时, 必须考虑此因素。

第二章 磁粉探伤基本原理

第一节 漏磁通

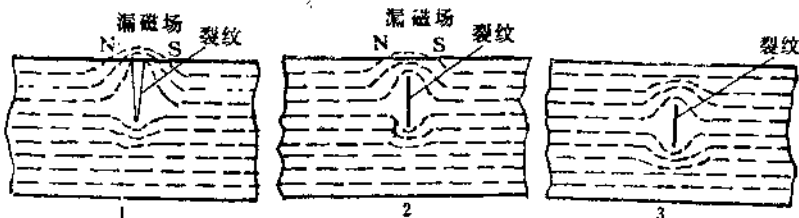
一、漏磁通的形成

铁磁材料在外磁场作用下被磁化, 如果材料表面无缺陷, 其形状规则完整, 则其磁力线就会均匀分布。当其表面布满颗粒小而且磁导率高的铁粉 (磁粉), 由于磁力线是均布的, 所以磁粉也是均布的。如果在零件表面存在一个与磁力线垂直的非连续性缺陷, 则磁力线在此处发生弯曲, 磁力线一部分被挤到缺陷下方, 另一部分挤出材料表面后再进入材料。从而在非连续处产生漏磁通, 形成了 S 极和 N 极, 即漏磁场 (图2—1)。从图中看出, 漏磁场的宽度往往是缺陷实际宽度的数倍或数十倍, 它所吸附的磁粉形成的磁痕形成了可用肉眼观察的缺陷图像。这就是磁粉探伤的基本原理。

二、漏磁通的影响因素

1. 外磁场的影响

铁磁性材料磁化时的磁场强度大, 则材料中的磁感应值也高, 材料中磁力线也密集, 在缺陷处溢出工件表面形成的漏磁场也将随之增加。



1. 表面裂纹形成的漏磁场; 2. 近表面裂纹形成的漏磁场; 3. 内部裂纹形成的磁力线弯曲。

图2-1 漏磁场的形成

从图1—5铁磁性材料磁滞回线中看出 H 与 B 之间是曲线关系，它显示出材料磁导率 μ 随 H 值变化关系也是成曲线关系（图2—2）。那么磁化至什么程度最为有利呢？

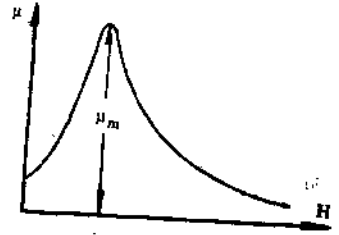


图2—2 μ 与 H 之关系曲线

磁场强度如选在磁导率最大值附近，钢材的磁导率将是空气磁导率的数百倍甚至上千倍，加上磁场强度不高，磁力线极易从钢材中通过，几乎不泄漏于空气。磁化时若磁场强度比最大磁导率的磁场强度大时，钢材磁导率变小，磁路中磁阻增加，泄漏于空间的磁力线就会增加。当磁化接近于饱和时，钢材磁导率降低，当其接近于1，缺陷空间和钢材回路中磁阻差值变小，于是泄漏于空间的磁通急剧增加。而与此同时无缺陷处的漏磁通也会增加，缺陷磁痕也难以识别了。

2. 缺陷的埋藏深度

从图2—1中看出，当缺陷位于材料表面时，逸出材料表面的磁力线最多。随着缺陷埋藏深度增加，逸出材料表面的磁力线急剧下降，当达到某一深度后，漏磁通消失。磁粉探伤就无法发现该缺陷了。

3. 缺陷的方向

当缺陷方向与磁力线方向一致时，阻挡的磁力线就最少，漏磁通也最低。而当缺陷与磁力线方向垂直时，阻挡的磁力线最多，逸出材料表面的磁力线也最多，漏磁场也最强。

4. 缺陷的磁导率

如果缺陷本身磁导率与材料磁导率相差不大，则磁力线较容易通过缺陷而不易弯曲，也就不会产生漏磁场。这种情况往往出现在缺陷内部存在金属夹杂物，由于其磁导率相当，在磁化时漏磁场较小。

5. 磁化电流

不同类型的电流通过铁磁体所产生磁化效果是不同的。现在分析直流电通过长圆柱体的情况。图2—3就是铁磁性圆柱体内外磁场变化情况。

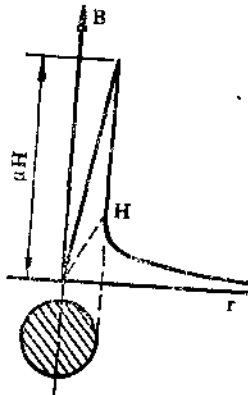


图2—3 直流电形成的磁场分布

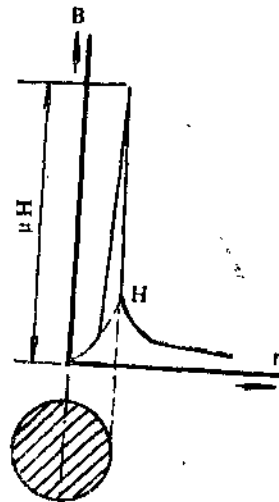


图2—4 交流电的磁场分布

从图中看出：圆柱体中心处磁场强度为零，离开中心随着距圆心距离增大磁感应强度也按比例增加，呈线性关系。在圆柱体表面达到最大值，离开表面由于空气的磁导率远远小于钢的磁导率，其磁感应强度值骤然变小到 H 值（空气 $\mu = 1$ ， $B \doteq H$ ）。随着离表面距离增加，磁场强度值逐渐变小。

当钢制圆柱体通以交流电时，就得到图2—4的磁场分布曲线。从曲线中看出：圆柱体中心处 H 值为零，随着离开圆心距离增加接近表面时，磁感应强度值呈曲线增加。开始时缓慢增加，接近表面时，其值骤然增加。离开表面磁场强度的变化规律与直流磁化曲线相同。

两种不同的电流所形成的磁场，表现出不同的磁化效果。直流电磁化，其表层具有较大的磁感应强度，进行磁粉探伤时有利于表层缺陷的发现。交流磁化时，由于交流电具有集肤效应，对表面缺陷的探测，交流电磁化比直流磁化具有较高的灵敏度。

6. 缺陷的几何形状

缺陷的几何形状是指缺陷的高度、宽度对探伤灵敏度的影响。缺陷高度与宽度比值愈小，引起的漏磁场愈小。磁力线通过时极易从缺陷下而通过，在表面形成很小的漏磁场，磁粉探伤时，不易显示。相反，缺陷的高度与宽度比值大，则造成漏磁场大，磁粉探伤时容易发现。

第二节 外磁场种类

从上节分析中可知，只有缺陷与磁力线方向交角大于某一角度值时，才能形成较大的漏磁场，而二者垂直时探伤灵敏度最高。由于加工工艺不同，其形成的表面缺陷方向是变化的。例如焊接裂纹就其方向有纵向裂纹、横向裂纹、和其它方向裂纹。为了迅速有效地检验另件缺陷，首先必须掌握各种磁化方法所产生的磁场方向，合理地加以选用，避免在探伤中造成误判漏检。

一、周向磁场

图2—5是电流通过导体时产生的典型磁场。按右手定则，其磁场方向是围绕导体形成的同心圆。它不但在导体周围产生磁场，而且在导体内部也产生磁场。

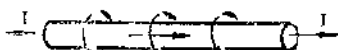


图2—5 通电导线产生的磁场

周向磁化法可以有效地检查出另件中与电流方向一致的纵向缺陷，但对于与电流方向垂直的缺陷，则探伤灵敏度极低。一般认为电流方向与缺陷方向交角小于 45° 角时，可以有效地被发现。

二、纵向磁场

当工件绕以导线通过电流，根据右手定则原理，在工件上产生 N 极与 S 极，形成纵向磁场（图2—6），纵向磁场的产生通常采用螺旋线圈。通电后线圈产生纵向磁场。由于该磁场方向与工件长度方向一致，因此它能有效地检验横向缺陷而无法检验纵向缺陷。

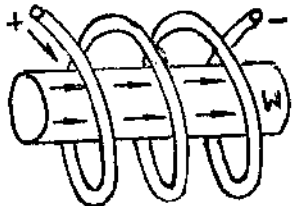


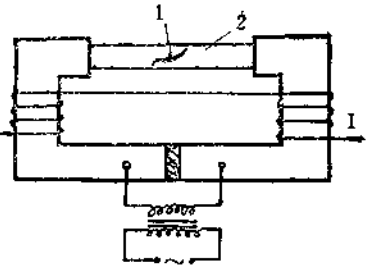
图2—6 线圈形成的纵向磁场

从磁粉探伤原理中得知，线圈产生的纵向磁场磁化工件时，受工件形状影响会产生反磁场而降低了探伤灵敏度。在实际探伤中，必须考虑此因素。

三、复合磁场

上述两种磁化方法只是对某一方向的缺陷具有较高的灵敏度，而工件中的缺陷的方向和分布是随机的，单一的磁化方法不可能检查出所有方向缺陷势必造成漏检。因此，复合磁化法就显示出其优越性。

图2—7是通常采用的复合磁化法，直流电使磁轭产生纵向磁场，交流电对工件直接通电产生周向磁场。一次磁化可以同时完成对工件的纵向、周向磁化，这种方法称为复合磁化法。



1. 缺陷； 2. 工件。
图2—7 复合磁化

四、旋转磁场

复合磁化法比单向磁化法具有一定的优点，但它不能从技术上保证工件中所有方向的缺陷都有效地检测出来，在此基础上发展了旋转磁场的新磁化方法。

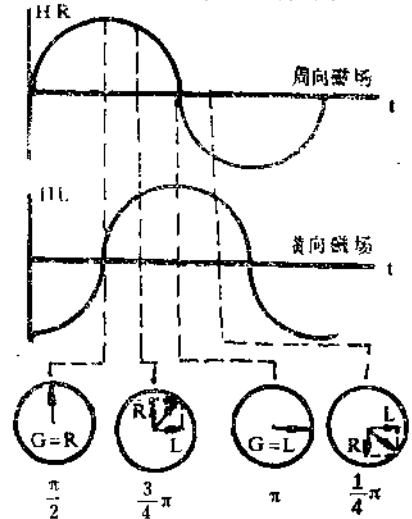
从复合磁化法中得知，其纵向磁场是使用直流磁轭产生的。如果两组线圈绕组交叉成一定角度，并使两组的激磁电流产生一定的相位差，则它们的磁场矢量是随时间变化而改变的圆形轨迹，而其强度值恒定不变，在各个方向的探测灵敏度相同。

图2—8是旋转磁场矢量图，从图中看出磁场强度 G 的方向周期地旋转，其大小恒定不变。

旋转磁场有下列优点：

- (1) 探伤速度快，效率高；
- (2) 探伤灵敏度高，再现性好。

(3) 设备轻便，探伤适应性强，能适应多种形状工件的磁粉探伤。



R—周向磁场矢量；
L—纵向磁场矢量；
G—旋转磁场矢量。
2—8 旋转磁场矢量图

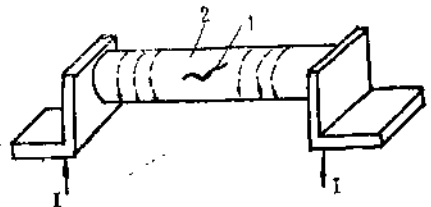
第三节 磁化方法

一、周向磁化

1. 直接通电法

将工件夹在探伤机的两极之间，使电流通过夹头直接流过工件，用电流的磁效应对工件进行磁化。根据右手定则，在工件周围产生的是周向磁场，主要用于长形工件（管、棒）纵向缺陷的检验（图2—9）。工件内部环形磁力线形成闭合回路，没有明显的磁极，也没有反磁场。探伤速度快、操作方便、磁化有效。

2. 支杆法



1. 缺陷； 2. 工件。
图2—9 通电周向磁化法