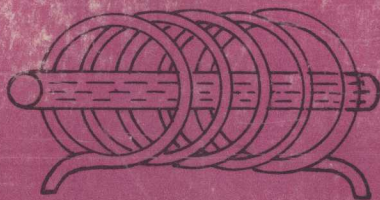


● 胡天明 编著



表面探伤

● 武汉测绘科技大学出版社

表面探伤

胡天明 编著

武汉测绘科技大学出版社

(鄂)新登字 14 号

图书在版编目(CIP)数据

表面探伤/胡天明 编著. — 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1994.8

ISBN 7-81030-355-4/T · 58

I. 表… I. 胡… III. ①工程材料;金属材料—无损检验—表面层检验②磁粉检验③渗透检验④涡流检验
IV. ①TB302.5②TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 10651 号

责任编辑:石山 封面设计:娟子

*

武汉测绘科技大学出版社出版发行

武汉水利电力大学印刷厂印刷

*

787 毫米×1092 毫米 32 开本 8.5 印张 195 千字

1994 年 8 月武汉第一版 1994 年 8 月武汉第 1 次印刷

印数:0001~1000 册 定价:8.50 元

内 容 简 介

本书系统地介绍了磁粉探伤、渗透探伤、涡流探伤的理化基础、检测仪器设备、探伤工艺方法等方面的内容。

书中内容完整,条理清楚,系统性强,通俗易懂。每个重要计算公式后面有典型例题,每章后面有一定数量的复习题,其中计算题附有答案。特别适用于探伤人员自学。

该书可作为大专院校焊接、金属材料、应用物理、无损检测等专业的试用教材,也可作为中级无损探伤人员的培训教材和高级无损探伤人员的参考教材,还可供从事无损探伤的工程技术人员、工人和管理人员参考。

前 言

无损探伤是在不破坏被检对象的前提下,采用声、光、电、磁等方法来检测材料表面及内部缺陷的一门测试技术。它包括射线探伤、超声探伤、磁粉探伤、渗透探伤和涡流探伤等五种常规探伤方法。对于保证产品质量,提高设备的安全可靠性,改进工艺,节约原材料,降低成本具有重要意义。目前在机械、电力、石油、化工、交通、冶金、航空和航天等部门得到广泛应用。

随着科学技术的进步与工业生产的迅猛发展,对无损探伤人员的需求愈来愈多,不少大专院校开设有无损探伤方面的课程,然而至今却没有合适的教材,这方面的参考书也很少。为了满足有关专业师生和广大无损探伤人员的要求,特编写了一套无损探伤教材,包括《射线探伤》、《超声探伤》和《表面探伤》(含磁粉探伤、渗透探伤和涡流探伤)三册。

本教材是在广泛参阅国内外大量资料的基础上编写的,条理清楚,通俗易懂,实用性强。在每个重要计算公式后面有典型例题,每章后面有复习题,其中计算题有答案,特别适合自学。

本教材初稿曾在武汉水利电力大学焊接和金属材料等专业本科学生中试用,另外还在锅炉压力容器检测专业证书班、电厂金属监督专业证书班及能源部、湖北省Ⅰ级培训考核班上试用,受到好评。并于1991年获中国电力联合会优秀教材奖。

该教材可作为大专院校焊接、金属材料,应用物理、无损

检测等专业的试用教材,也可作为中级探伤人员的培训教材和高级探伤人员的参考教材,还可供广大从事无损探伤工作的工程技术人员、工人和管理人员参考。

本教材在编写出版过程中得到广州华建综合开发总公司天河山庄指挥部龙运钊部长和湖北省劳动厅锅炉处、武汉市锅检所、武汉水利电力大学等单位有关同志的大力支持,在此一并致谢。

借本书出版之机,谨向曾给予我诸多帮助的毛森祥老师和其他同志表示感谢。

本教材中的《射线探伤》、《超声探伤》由武汉锅炉厂袁柏琴高级工程师审阅,《表面探伤》由武汉锅炉厂李道行高级工程师审阅。

由于作者水平有限,时间仓促,不当之处在所难免,敬请广大读者批评指教。

作 者

1994年2月于珞珈山

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 磁粉探伤

第一章 磁粉探伤的物理基础	(6)
---------------	-----

第一节 磁的基本概念	(6)
第二节 铁磁性材料	(10)
第三节 电流与磁场	(20)
第四节 漏磁场	(32)
复习题	(37)

第二章 磁粉探伤材料与设备	(39)
---------------	------

第一节 磁粉与磁悬液	(39)
第二节 灵敏度试片	(48)
第三节 磁粉探伤机	(55)
复习题	(63)

第三章 磁粉探伤工艺方法	(64)
--------------	------

第一节 磁粉探伤方法与一般工艺操作	(64)
第二节 磁化方法	(68)
第三节 磁化电流	(83)
第四节 磁化规范	(89)
第五节 磁痕分析	(101)
第六节 退 磁	(108)
第七节 记录、报告与标记	(114)
第八节 影响磁粉探伤灵敏度的主要因素	(117)
复习题	(121)

第二篇 液体渗透探伤

第四章 渗透探伤的理化基础	(124)
第一节 液体的分子压强与表面张力	(124)
第二节 润湿作用	(127)
第三节 毛细管作用	(129)
第四节 乳化作用	(137)
第五节 光激发光与郎白比耳定律	(141)
复习题	(143)
第五章 渗透探伤试剂、试块和装置	(146)
第一节 渗透液	(146)
第二节 乳化液、清洗液与显象液	(154)
第三节 灵敏度试块	(158)
第四节 渗透探伤装置	(163)
第五节 紫外灯	(169)
复习题	(171)
第六章 渗透探伤工艺方法	(174)
第一节 渗透探伤的原理与方法	(174)
第二节 渗透探伤的一般工艺过程	(178)
第三节 常用渗透探伤工艺方法	(186)
第四节 工件质量级别评定	(191)
第五节 典型零件渗透探伤	(195)
第六节 影响渗透探伤灵敏度的主要因素	(197)
复习题	(201)
第七章 质量控制与安全技术	(203)
第一节 探伤试剂性能测试	(203)
第二节 安全技术	(207)
复习题	(210)

第三篇 涡流探伤

第八章 涡流探伤的物理基础	(211)
第一节 电磁感应与涡流	(211)

第二节	线圈的阻抗	(215)
第三节	有效磁导率与涡流相似律	(220)
第四节	圆柱体试件检测线圈电压与阻抗平面图	(227)
第五节	管形试件检测线圈阻抗平面图	(237)
第六节	影响线圈阻抗的主要因素	(241)
复习题		(246)
第九章	涡流检测仪、线圈与试样	(248)
第一节	涡流检测仪	(248)
第二节	涡流检测线圈	(251)
第三节	对比试样	(255)
复习题		(257)
第十章	涡流探伤工艺方法	(258)
第一节	涡流检测方法与应用	(258)
第二节	涡流检测工艺操作	(260)
第三节	试件涡流探伤	(264)
第四节	试件材质性能涡流测试	(266)
复习题		(268)

绪 论

一、什么是无损探伤

为了保证产品质量和设备安全运行,必须对产品和服务进行检验。一般检验分为破坏性检验和无损检验两大类。

破坏被检对象来检测材料或产品性能质量的方法称为破坏性检验。如机械性能试验、化学分析、金相分析和爆破试验等。

在不破坏被检对象的前提下,利用声、光、电、磁等各种方法来检测材料内部及表面缺陷的测试技术,称为无损检验,又称无损探伤。如工业上的超声波探伤、射线探伤、磁粉探伤、渗透探伤和涡流探伤等。

无损探伤是一门新兴的应用技术科学,在电力、机械、化工、冶金、交通、航空和航天等工业部门得到愈来愈广泛的应用。

二、无损探伤的任务

由于科学技术和工业生产迅速发展,对材料性能的要求愈来愈高,然而当前冶金技术不可能提供完美无缺的材料。同时各种设备在制造过程中也会产生这样或那样的缺陷,如焊接中的气孔、夹渣、未焊透等,铸造中的缩松、气孔等,锻造中的白点、折迭等。当承载零部件,特别是高温、高压、高速的零部件内部存在缺陷时,往往是十分危险的,有时甚至会使整个机构损毁,引起重大设备人身事故,造成重大损失。这方面的例子在世界各国都是累见不鲜的。

第二次世界大战期间,美国货船发生 1000 多次破坏性事

故。1944年美国俄亥俄州液化天然气罐爆炸,死亡133人,损失680万美元。1969年美国一架F-111飞机发动机曲轴在热处理中开裂,结果在飞行中左机翼脱落,飞机坠毁,人机双亡。

日本也常发生爆炸性事故,1968年日本两个大球罐在水压试验时炸裂。1972年至1973年日本石化行业发生13起大爆炸事故,损失惨重。

我国一贯比较重视安全生产,但事故仍不断发生。据统计1979年我国共发生爆炸性事故223起,其中吉林一次液化气爆炸死亡86人,损失627万元。1984年元旦,大连石化公司液化气管焊缝断裂引起爆炸,相当于一次小地震,附近车间房屋顷刻夷为平地,1.5公里内房屋玻璃全部破碎,死伤300多人,损失上1000万元。

我国电力部门也发生过一些重大事故,如1965年郑州热电厂4号机组汽轮机叶轮键槽处开裂,叶轮冲破气缸盖飞出车间外。1967年包头第一热电厂汽缸螺栓断裂,汽缸盖冲破车间屋顶飞出车间。这两次事故都引起工厂停产,造成很大损失。

以上事实充分说明,如何挑选合格产品或把正在运行着的存在缺陷的零部件检测出来,采取措施,消除隐患,防止事故的发生,提高设备的安全可靠性,已成为工程技术中一个重要课题。这正是无损探伤所要承担的首要任务。

此外无损探伤还可发现毛坯中的缺陷,防止后续工时的浪费,从而降低产品成本。还有无损探伤对于改进焊接、铸造等工艺也是十分有益的,先设计一些不同的工艺方案,然后进行试验,最后通过无损探伤来确定最佳的工艺方案。近年来,无损探伤在设备监督方面也在开始发挥作用。

三、无损探伤方法简介

随着科学技术的发展,新的无损探伤方法不断涌现,据有关资料介绍至今已发展到 50 多种,不过目前常用的仍然是超声波探伤、射线探伤、磁粉探伤、液体渗透探伤和涡流探伤等五大常规方法。下面分别予以介绍。

1. 超声波探伤 UT

超声波探伤是利用超声波能在弹性介质中传播,在界面上产生反射、折射等特性来探测材料内部或表面缺陷的探伤方法,简称 UT。

超声波探伤不但检测厚度大,而且灵敏度高,速度快,成本低,能对缺陷定位和定量,同时对人体无害。然而超声波探伤,缺陷显示不直观,探伤技术难度大,易受主、客观条件的影响,探伤结果不便保存。

2. 射线探伤 RT

射线探伤是利用某些射线(如 X、 γ 射线)穿透工件时,由于缺陷与工件材料对射线的衰减作用不同,从而使胶片感光不一样,于是在底片上形成黑度不同的影像,据此来判断材料内部的缺陷情况,简称 RT。

射线探伤缺陷显示比较直观,探伤结果可长期保存。但射线对人体有害,消耗胶片,探伤成本较高,穿透能力不及超声波,对于垂直于射线的裂纹检出困难大。

3. 磁粉探伤 MT

磁粉探伤是利用被磁化的工件在其缺陷处形成漏磁场吸附磁粉显示缺陷的探伤方法,简称 MT。

磁粉探伤缺陷显示直观,操作简单,成本低,速度快。但磁粉探伤只能探伤铁磁性材料表面或近表面缺陷,如铁、钴、镍及其合金,不过奥氏体不锈钢例外。

4. 液体渗透探伤 PT

液体渗透探伤是利用液体毛细管作用来检测工件表面缺陷的探伤方法,简称 PT。

液体渗透探伤不受材料种类的限制,可一次检出工件表面不同方向缺陷,灵敏度高,使用方便,操作简单,适用于无电源、水源的野外现场检测。但液体渗透探伤只适用于检测材料表面开口缺陷,所用试剂有一定的毒性,要求工件表面光洁,不适用于检测多孔性材料。

5. 涡流探伤 ET

涡流探伤是根据高频电流在工件材料中产生感生涡流大小的变化来检验工件材料表面缺陷的探伤方法。涡流探伤是以电磁感应理论为基础的,当高频电流通过线圈时,便在靠近线圈的工件表面感应出涡流,涡流又产生自己的磁场与线圈激励的磁场相互作用。当工件表面存在缺陷时涡流磁场就会发生变化,从而引起检测线圈电流的变化,据此可以判定工件表面的缺陷情况。涡流探伤简称 ET。

涡流探伤速度快,成本低,操作简单,易于实现自动化,可用于磁性或非磁性导电材料的检测。但涡流探伤只能探伤表面或近表面缺陷,而且只适用于导电材料。

以上各种探伤方法各有优缺点,都有一定的局限性,没有哪一种方法是完美无缺陷的。在实际探伤中,只有彼此有机配合,才能获得比较理想的探伤结果。

四、本课程的性质、任务和特点

无损探伤是焊接、金属材料等专业的一门专业课,它以物理(包括近代物理)、数学、力学、金属工艺学等课程为基础。

本课程主要讲述超声波探伤、射线探伤、磁粉探伤、液体渗透探伤和涡流探伤的原理及工艺,重点是超声波探伤和射线探伤,涡流探伤仅作为简单介绍。

无损探伤是一门从生产实践中发展起来又直接为生产服务的科学,实践性强,学习时要注意理论联系实际。通过本课程的学习,要求掌握各种探伤方法的原理、工艺及基本的实际操作技能。

复 习 题

1. 什么是无损探伤? 无损探伤的主要任务是什么?
2. 常用无损探伤方法有哪几种? 各有何优缺点?

第一篇 磁粉探伤

第一章 磁粉探伤的物理基础

第一节 磁的基本概念

在磁粉探伤中,常用的磁学概念有:磁性和磁极、磁力线和磁场强度、磁感应强度和磁导率等。下面分别予以简介。

一、磁性和磁极

某些物质具有吸引铁质物体的性质叫磁性。磁性是物质的基本属性之一。

具有磁性的物体称为磁体,如铁矿石(Fe_3O_4)就是一种天然的磁体。磁体各处的磁性不同,磁体上磁性最强的地方称为磁极,磁极吸引的磁粉最多,如条形磁体的两端就是磁极。如果把一条形磁体水平悬在空中,它的两极会分别指向地球的南北极,其中指南的叫南极,用 S 表示;指北的叫北极,用 N 表示。任何磁体的两极是不可分割的,即使是微小的磁粉也具有 S 、 N 极。磁极间相互作用,同性相斥,异性相吸。磁粉探伤就是利用工件被磁化以后在缺陷处形成磁极吸附磁粉来显示缺陷的。

地球是一个大磁体,它的 S 极在地球的北极附近,它的 N 极在地球的南极附近。由于异性相吸,因此指南针的 S 极总是

指向地球的南极, N 极总是指向地球的北极。

根据物质的磁性不同将物质分为铁磁性物质、顺磁性物质和抗磁性(逆磁性)物质等三大类。铁磁性物质在磁场中显强磁性,如铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)、镉(Cd)、镱(Dy)及其合金,但奥氏体不锈钢除外。顺磁性物质在磁场中显弱磁性,如铝(Al)、锰(Mn)、铬(Cr)等。抗磁性物质在磁场中不显磁性,并排斥磁体,如铜(Cu)、银(Ag)、锌(Zn)、铅(Pb)等。一般把抗磁性和顺磁性物质称为非铁磁性物质。

二、磁力线和磁场强度

磁体和通电导体周围的磁针发生偏转说明磁体和通电导体周围存在磁场。磁场是一种看不见摸不着的特殊物质。磁场的强弱和方向常用磁力线来形象地描述。

磁力线是假想的用来描述磁场中各处磁场强度和方向的曲线。磁力线总是连续闭合,互不相交。这与电力线不同,电力线不闭合,总是始于正电荷,终于负电荷。磁力线上任意一点的切线方向表示该点磁场的方向。在磁体外磁力线总是从 N 极到 S 极,在磁体内磁力线总是从 S 极到 N 极,如图 1-1 所示。

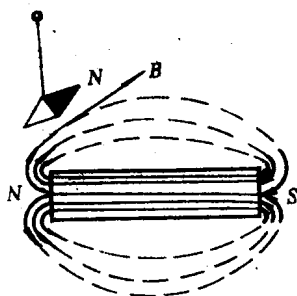


图 1-1 磁力线的方向

通电导体周围磁力线的方向可用右手定则来确定。

垂直通过某一截面磁力线的条数称为磁通量,用 Φ 表示。它的国际单位(SI)为韦伯(Wb),厘米克秒制单位(CGS)为麦克斯韦(Mx)。

$$1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx.}$$

在真空或空气中,垂直通过单位面积的磁力线条数称为磁场强度,用 H 表示。

$$H = \frac{\Phi}{S} \quad (1-1)$$

式中 Φ ——磁通量;

S ——截面积。

磁场强度的 SI 单位为安/米(A/m),CGS 单位为奥斯特(Oe)。

$$1 \text{ A/m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$$

$$1 \text{ Oe} \approx 80 \text{ A/m}$$

磁力线愈密,即通过单位面积的磁力线愈多,磁场强度就愈大。

磁场中某处的磁场强度的方向可用小磁针来测定。

三、磁感应强度和磁导率

铁磁性物质在磁场中被磁化具有强磁性的现象称为磁感应现象。例如把本来不具磁性的铁钉放在磁场中,铁钉就具有强磁性,吸附磁粉,就是由于磁感应引起的。

由于磁感应,磁场中的铁磁性物质具有磁性以后,产生一个与原磁场方向相同的附加磁场,二者互相迭加,从而使磁通量增加,这时有

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

式中 Φ ——总磁通量;

Φ_1 ——原磁场在空气中的磁通量;

Φ_2 ——铁磁性物质产生的附加磁通量。

磁介质中垂直通过单位面积的磁力线条数称为磁感应强度,用 B 表示。