

无损检测 II 级培训教材

磁粉探伤

CIFEN
TANSHANG

中国机械工程学会无损检测学会 编

28



机械工业出版社

无损检测Ⅱ级培训教材

磁粉探伤

中国机械工程学会
无损检测学会 编



机械工业出版社

要求相适应。本教材的资料一部分来自生产、科研实践，一部分来自国内外有关的技术书刊和培训教材；书中设备和缺陷的照片，是由许多工厂和研究所提供的。

在组织编著这套教材的过程中，陶亨咸、应崇福、赖坚、许绍高、程瑞全、张企耀、王务同、陈昂泽、陈健生等同志曾直接予以指导、支持，谨此表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者指正。

编者

一九八七年三月

前 言

当前全国各地已广泛开展对无损检测人员技术培训和资格鉴定工作，Ⅱ级人员处于生产第一线，但大量人员未经过正式培训。为了确保检验质量并逐步适应广泛国际经济技术合作的需要，加速对Ⅱ级人员的培训已是当前一项紧迫而又繁重的任务。为此，中国机械工程学会无损检测学会在全国范围内组织力量编写了无损检测五种常规方法的Ⅱ级教材。《磁粉探伤》就是其中的一本。

1981年初，根据学会要求，专业组组织编写了《磁粉探伤Ⅱ级培训教材》初稿，参加编写人员有王海民、陈建生、郑文仪、王海峰、卢孝文、赵国钧。初稿先后在不损检测学会和几个省市举办的学习班上试用，广泛听取了工人和工程技术人员意见。1985年4月由郑文仪、宋志哲执笔在第一稿的基础上进行修改补充完成了第二稿，1985年4月在南昌办班试用，同时寄给各部属厂、所有关同志审查、征求意见。1985年10月，学会和机械工业出版社联合召开了审稿会。无损检测学会常务理事陈昂泽、副秘书长张企耀、理事王海民、机械工业出版社方婉莹等同志出席了会议。会上对教材的章节安排、内容、文字、插图、数据进行了详细修改和审定。会后，郑文仪、宋志哲、朱目秀对教材第二稿进行修改整理，并补充了冯银丹同志撰写的设备和徐立勋同志编写的焊缝检验部分内容。

本书包括磁粉探伤的基础知识、设备材料、工艺方法、质量管理、缺陷分析、应用实例、实验教程等内容，每章后附有习题。本书系统地介绍了磁粉探伤的必要知识，反映了近年来科研和设备制造方面的新成果。在编写过程中，注意了工人培训的特点，力求实用，并尽量与国际上通行的各国无损检测的等级技术

目 录

第一章 绪论	1
第一节 磁粉探伤的发展简史和现状	1
第二节 磁粉探伤原理	2
第三节 磁粉探伤的应用和特点	4
第四节 与其它方法的比较	5
习题	6
第二章 磁粉探伤基础知识	9
第一节 磁场	9
第二节 电流的磁场	11
第三节 磁介质的磁化	16
第四节 铁磁质	20
第五节 退磁场	25
第六节 磁感应线的折射	28
第七节 磁路	29
第八节 钢材磁性	30
第九节 漏磁场	31
习题	37
第三章 磁化方法与磁化电流	45
第一节 磁化方法	47
第二节 磁化电流	61
习题	72
第四章 磁粉探伤设备	81
第一节 设备的分类	81
第二节 设备组成部分	83
第三节 典型设备举例	92
第四节 特殊设备和专用设备	99
第五节 测量设备	101
习题	104

第五章 磁粉探伤器材	107
第一节 磁粉	107
第二节 磁悬液	112
第三节 反差增强剂	115
第四节 标准试块和试片	116
习题	121
第六章 磁粉探伤工艺	124
第一节 剩磁法与连续法	124
第二节 预处理及工序安排	126
第三节 磁化规范	128
第四节 湿法与干法	136
第五节 磁痕观察与记录	138
第六节 退磁	139
第七节 后处理	143
第八节 记录和标记	144
第九节 磁粉探伤-橡胶铸型法	145
习题	150
第七章 质量管理与安全防护	156
第一节 设备的质量管理	156
第二节 磁粉和磁悬液的质量管理	158
第三节 综合性能鉴定	164
第四节 人员的资格鉴定	165
第五节 安全防护	165
习题	167
第八章 磁痕分析	168
第一节 假磁痕	168
第二节 非相关磁痕	169
第三节 相关磁痕	171
习题	182
第九章 磁粉探伤的应用	186
第一节 焊接件的检验	186
第二节 锻钢件的检验	195
第三节 铸钢件的检验	201

第四节 维修件的检验	203
第五节 特殊工件的检验	207
习题	213
实验	215
实验一 白光强度和紫外光强度测定	215
实验二 综合性能试验	216
实验三 固定式磁粉探伤机的应用和测试	218
实验四 交流电磁化剩磁稳定度的测试	219
实验五 螺管线圈横截面上和轴线上磁场分布的测试	220
实验六 螺管线圈两端有效磁场范围的测试	221
实验七 工件 L/D 值对退磁场的影响	222
实验八 支杆法磁化磁场分布的测试	223
实验九 锅炉压力容器焊缝的磁粉探伤试验	224
实验十 偏置芯棒法的磁化方法和磁化效果	225
实验十一 干法和湿法探伤灵敏度对比试验	226
实验十二 磁粉探伤-橡胶铸型法试验	228
实验十三 退磁方法与退磁效果试验	230
实验十四 磁性称量法测磁粉磁性	231
实验十五 酒精沉淀法测磁粉粒度	232
实验十六 磁悬液浓度的测量	234
实验十七 磁悬液污染的检查	235
实验十八 水断试验	236
实验十九 反差增强剂的使用	237
实验二十 用照相法和贴印法记录缺陷磁痕	238
附录一 常用钢种磁特性参数表	240
附录二 本书使用的物理量名称、符号、单位及 单位制之间的换算	248
附录三 磁粉探伤参考表格	249
附录四 习题答案	251
主要参考资料	254

第一章 绪 论

第一节 磁粉探伤的发展简史和现状

磁粉探伤是利用磁现象来检测工件中缺陷的方法。人们发现磁现象比电现象更早，远在春秋战国时期，我国劳动人民就发现了磁石吸铁现象。我国发明了指南针并最早地将指南针应用于航海。十七世纪法国著名物理学家对磁力作了定量研究。十九世纪初期，丹麦科学家奥斯特发现了电流周围也存在着磁场。与此同时，法国科学家毕奥和沙伐尔以及安培，对电流周围磁场的分布进行了系统的研究，得出了一般规律。生长于英国的法拉第首创了磁力线的概念。这些伟大的科学家在磁学史上树立了光辉的里程碑，也给磁粉探伤的创立奠定了基础。

关于磁粉探伤的设想是美国人霍克于1922年提出的。他在切削钢件的时候，发现铁末聚集在工件上的裂纹区域。于是，他第一个提出可利用磁铁吸引铁屑这一人所共知的物理现象，进行探伤。但是，在1922~1929年的七年间，他的设想并没有付诸实施，其原因是受到当时磁化技术的限制以及缺乏合格的磁粉。1929年，福雷斯特企图用磁粉探伤法检查钻探用的管子，实现了用直流电进行周向磁化，当时是用钢屑作为检查材料，因钢屑质量不好致使试验未获成功。1930年，瓦茨第一次成功地用磁粉探伤检查焊缝质量。

苏联全苏航空材料研究院的学者瑞加德罗毕生致力于磁粉探伤的研究和发展，作出了卓越的贡献。五十年代初期，他系统地研究了各种因素对探伤灵敏度的影响，在大量试验基础上制订了充磁规范，该规范在世界上具有广泛的影响，被许多国家采用和认可，我国各工业部门也大都以此为依据。他首创的鉴定磁粉质量

的方法——**磁性称量法和酒精沉淀法**我国也一直沿用至今。

复合磁化被认为是当代磁粉探伤的新成就，在国内外已较普遍地用于汽车、机车等工件的探伤，有效地提高了检验速度。

解放前，我国仅有几台进口的美国蓄电池式直流磁粉探伤机，用于航空工件的维修检查。新中国成立后，磁粉探伤在航空、兵器、汽车制造等机械工业部门首先得到应用。几十年来，我国广大磁粉探伤工作者和设备制造者，通过自己的实践和辛勤劳动，不断地丰富和发展了这一方法。我国学者对缺陷和激励磁场间相互作用所产生的漏磁场分布特性、磁粉在漏磁场中的受力分析等理论问题的研究，取得了较大的进展。断裂力学在无损检测领域的应用，为制订更合理的磁粉探伤验收标准提供了依据。我国首创的磁粉探伤——**橡胶铸型法**为定量地检测内孔壁早期疲劳裂纹闯出了一条新路。而且，它还是记录磁粉探伤结果最良好的方法。

在设备和材料方面，国产各种型式的磁粉探伤机已成系列，还较普遍地采用了可控硅技术和其它先进电子技术。半自动探伤装置已在汽车、铁道、兵器等部门获得应用。光电扫描荧光磁粉全自动探伤装置也已经研制成功。探伤用磁粉，特别是荧光磁粉质量正日益提高，品种不断增加。质量管理受到普遍的重视，人员的技术培训和资格鉴定工作在最近几年也获得了很大成绩。

由于各方面的努力，我国的磁粉探伤工作已出现了新的局面，达到了新的水平。

第二节 磁粉探伤原理

磁粉探伤的基础是缺陷处漏磁场与磁粉的磁相互作用。

铁磁材料或工件磁化后，在表面和近表面的缺陷处磁力线发生变形，逸出工件表面形成磁极并形成可检测的漏磁场。此时，在工件表面上撒上磁粉或浇上磁悬液，磁粉粒子便会吸附在缺陷区域，显示出缺陷的位置、形状和大小（见图 1-1），这就是磁粉探伤的基本原理。

磁粉探伤不能用来检查工件内部缺陷，因为磁力线虽然在缺

陷处会发生畸变，却不会逸出工件表面，不能形成漏磁场，缺陷也就检测不出来，见图 1-2。由此可知，磁粉探伤是检查铁磁材料表面和近表面缺陷的方法，而不是检查内部缺陷的方法。

磁力线与缺陷垂直时，漏磁场最强，也最有利于缺陷的检出；而若与裂纹平行，则无漏磁场产生，缺陷不可能被检出，见图 1-3。缺陷

与磁力线之间的角度由垂直逐渐倾斜成锐角，而最终变为与缺陷平行，即夹角等于零时，漏磁场也由最大降至零。磁力线与缺陷的夹角大于 45° ，仍可保持必要的检测灵敏度。



图1-1 磁粉探伤原理



图1-2 缺陷位于工件内部



图1-3 缺陷与磁力线平行

根据给受检工件施加磁粉的方式，可分为干法和湿法。干法是直接将干磁粉撒在工件表面；湿法是将磁粉弥散在液体介质中使用。

除磁粉探伤外，尚有利用检测元件探测漏磁场的方法，检测元件有磁带、霍尔元件、磁敏效应元件、磁敏二极管、磁通门等。利用这些元件制成的漏磁探伤设备包括磁化电源、探头、扫描装置、信号处理装置、标记装置和记录装置等。根据检测元件分类可分为以下三种方法：

1) 录磁成象法 用磁带记录漏磁，通过回放磁头变成电讯号，用录磁成象设备得到复现后的缺陷图象。

2) 磁电转换元件法 通过霍尔元件、磁敏二极管等磁电转换元件检测漏磁场。

3) 电磁感应法 将探测线圈移近漏磁场，只要使线圈与工件作相对移动，就能检测出缺陷。

以上三种方法均属电讯号检测,可实现全自动化。但只适用于几何形状比较规则的原材料。例如圆钢、钢管、方钢等。检测灵敏度也低于磁粉探伤。

第三节 磁粉探伤的应用和特点

磁粉探伤是检查铁磁材料表面及近表面缺陷的一种无损探伤方法。由于它显示缺陷直观、灵敏度高、检测速度快且成本低廉,因而广泛地应用于机械、冶金、航空、航天、石油、化工、造船和铁道部门的产品质量检验。

一、优缺点

磁粉探伤具有下列优点:

- ① 能直观地显示出缺陷的形状、位置、大小和严重程度,可大致确定缺陷的性质。
- ② 具有很高的检测灵敏度,磁粉在缺陷上聚集而形成的磁痕具有放大作用,可检测的最小宽度可达0.1微米。
- ③ 几乎不受零件大小和几何形状的限制,综合采用多种磁化方法,能检测到工件的各个部位。
- ④ 检查速度快,工艺简单,费用低廉。

磁粉探伤的局限性如下:

① 磁粉探伤能用来检查碳钢、合金结构钢、沉淀硬化钢和电工钢等。但不能用于检查铝、镁、铜、钛及其合金和奥氏体不锈钢,以及用奥氏体钢焊条焊接的铁磁材料焊缝。即只能用于检查铁磁性材料,不能用于检查非铁磁性材料。

② 只能用来检查材料表面及近表面缺陷,而不能检查埋藏很深的内部缺陷。根据所采用的检验方法、电流类型以及缺陷特性,可探测的皮下缺陷的埋藏深度一般不超过1~2毫米,对于很大的气孔,探测深度可达10毫米。

③ 磁粉探伤可以发现分层,但如果分层与工件表面构成的角度小于 20° ,也就难于发现了。对于表面浅的划伤与锻造皱纹也很难发现。

二、应用范围

磁粉探伤可用于板材、型材、管材、锻造毛坯等原材料和半成品的检查，也可用于锻钢件、焊接件、铸钢件加工制造过程工序间检查和终加工检查，还可用于飞机、火车、拖拉机等运输工具的维修和大修，以及重要设备和机械、压力容器、石油贮罐的定期检查等。其具体应用范围见表 1-1。

表1-1 磁粉探伤的应用范围

应用范围	检 验 对 象	【可 发 现 缺 陷】
成品检验	精加工后任何形状和尺寸的工作 热处理和吹砂后，不再进行机加工的工作 装备组合件的局部检验	淬裂、磨裂、锻裂、发纹、非金属夹杂物和白点
半成品检验	吹砂后的锻钢件、铸钢件、棒材和管材	表面或近表面的裂纹、压折量与锻折叠、冷隔、疏松和非金属夹杂物
工序间检验	半成品在每道机加工和热处理工序后的检验	淬裂、磨裂、折叠和非金属夹杂物
焊接件检验	焊接组合件、型材焊缝、压力容器等大型结构件焊缝	焊缝及热影响区裂纹
返修检验	使用过的零部件	疲劳裂纹及其它材料缺陷

第四节 与其它方法的比较

磁粉探伤 (MT)、超声探伤 (UT)、射线探伤 (RT)、渗透探伤 (PT) 和涡流探伤 (ET) 并列为五种常规方法。超声探伤和射线探伤以检查内部缺陷为主；磁粉探伤、渗透探伤和涡流探伤则用于检测表面或表层的缺陷。三者的对比列于表 1-2。

表1-2 表面检测方法的比较

	磁粉探伤	渗透探伤	涡流探伤
方法原理	磁力作用	毛细作用	电磁感应作用
能检测出缺陷	表面及近表面缺陷	表面开口缺陷	表面及表层缺陷
缺陷的表现形式	磁粉附着	渗透液的渗出	检测线圈电压和相位变化
显示材料	磁粉	渗透液和显象液	记录仪、电压表、示波器
适用材质	铁磁性材料	任何非多孔材料	导电材料
主要检验对象	锻钢件、压延件、铸钢件、焊缝、管材、棒材、型材和机加工作件	铸件、焊缝及锻件、压延件	管材、线材、使用中的零件
主要检测缺陷	裂纹、发纹、白点、折叠、夹杂物	裂纹、疏松、针孔、夹杂物	裂纹、材质变化、厚度测量
缺陷显示	直观	直观	不直观
检测速度	快	较慢	最快
应用	探伤	探伤	探伤、材质分选、测厚
污染	轻	较重	最轻
灵敏度	高	高	较低

习 题

一、选择题

1-1 钢材表面裂纹最合适的检测方法是哪一种？

- (1) 射线 (2) 超声
(3) 磁粉 (4) 渗透

1-2 轻金属铸件表面裂纹最合适的检测方法是哪一种？

- (1) 射线 (2) 超声
(3) 磁粉 (4) 渗透

1-3 磁粉探伤的用途是，

(1) 检测表面缺陷

(2) 检测近表面缺陷

(3) 材料分选

(4) 厚度测量

1-4 如果钢件上存在一个裂纹，磁粉是被什么吸引到裂纹上的？

(1) 矫顽力 (2) 漏磁场

(3) 静电场 (4) 重力

1-5 下面哪些是磁粉探伤优于渗透探伤的地方？

(1) 对工件表面的预清理要求不十分严格

(2) 对单个工件检查速度快

(3) 可检查出皮下缺陷

(4) 可检查的材料品种多

1-6 在什么情况下采用磁粉探伤优于渗透探伤？

(1) 检验受腐蚀的表面

(2) 表面是阳极化的工件

(3) 带漆工件

(4) 缝隙中充满外来杂质的缺陷

1-7 裂纹处于什么方向时裂纹上集聚的磁粉最强？

(1) 与磁场成 180°

(2) 与磁场成 45°

(3) 与磁场成 90°

(4) 与磁场方向无关

1-8 磁粉探伤能够检查出的缺陷是：

(1) 钢锭中心的缩孔

(2) 钢棒表面的裂纹

(3) 钢管壁厚的减薄

(4) 平行于工件表面的分层

1-9 磁粉探伤能够检查的材料是：

(1) 非金属材料 (2) 顺磁性材料

(3) 铁磁性材料 (4) 有色金属

1-10 下面哪种材料不能用磁粉法检查？

(1) 铸钢 (2) 碳钢

(3) 奥氏体钢 (4) 合金工具钢

二、填空题

1-11 磁粉探伤是利用缺陷处的____吸引磁粉，从而显示缺陷的存在。

1-12 磁力线与缺陷的破裂面____时不产生磁痕显示。

1-13 在被磁化的工件上，磁力线离开和____工件的部位形成磁极。

1-14 磁粉探伤能够检查与工件表面构成角度大于____的分层。

1-15 磁粉法不能检查用____焊条焊接的铁磁材料工件。

三、问答题

1-16 简述磁粉探伤原理。

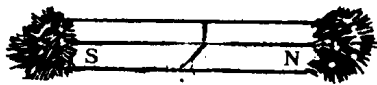
1-17 简述磁粉探伤的优点及局限性。

第二章 磁粉探伤基础知识

第一节 磁 场

一、磁极

磁铁能够吸引铁制物体的性质叫磁性。磁铁各部分的磁性强弱不同。如果将磁铁棒或磁针投入铁屑中再取出来，可发现靠近两端的地方吸引的铁屑特别多，即磁性特别强，这磁性特别强的区域称为磁极，见图



2-1。

图2-1 条形磁铁的磁极

如果将磁铁棒或磁铁的中心支撑或悬挂起来，并使之能在水平面内自由转动，则磁铁棒的两极总是分别指向地理的南北方向，我们称指北的一端为北极（N），指南的一端为南极（S）。如果用另一磁铁去接近悬挂起来的磁铁，则可发现同性磁极互相排斥，异性磁极互相吸引。由此可以推知，整个地球也是一个大的磁铁，这个大磁铁的两极和地球的地理上的两极并不一致，而是稍微偏开一点，地磁的南极在地理的北极附近，地磁的北极在地理的南极附近。

当试图把一块条形磁铁陆续地切割成无数小块时，可发现每一小块总是有两个磁极，见图 2-2。由此可知，磁铁的极性是不能单独存

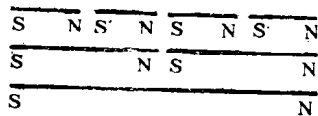


图2-2 磁极不可分割

在的。换句话说，一个单独的孤立的磁极在实际上是不存在的，磁棒的每个N极必须有对应的S极。长磁棒有时可能获得两个以上的磁极，而一个钢环在磁化时却可以没有磁极。

二、磁极间的力

磁极间互相排斥及互相吸引的力量称为磁力。法国物理学家库伦最早对两个磁体间的作用力进行了定量研究，推得了磁性定律：两个磁极间的磁力与两个磁极强度的乘积成正比，而与它们之间的距离的平方成反比。磁力为斥力还是吸力取决于两个磁极的极性。

磁铁不但对铁块有吸引力，一块磁铁对另一块磁铁也有作用力，而且磁铁对铁块或其他磁铁施以作用力时，用不着彼此直接接触，这是由于磁体附近存在着磁场。凡是磁力可以到达的空间，称为磁场。磁场中各点的强度值相等，而方向互相平行时称为均匀磁场。

三、磁场强度

在磁场里任意一点，放一个单位磁极（N极），作用于该单位磁极的磁力大小叫做该点的磁场大小，磁力的方向叫做磁场方向。磁场大小和方向的总称叫做磁场强度。所以，磁力等于磁极乘磁场强度，或者说，单位正磁极所受的力叫做磁场强度。

将一个磁针放在磁场内，静止时，磁针N极所指的方向就是磁场方向。

磁场强度用符号 H 表示。在法定单位中磁场强度 H 的单位名称是安[培]每米，符号安/米(A/m)。有时也采用安/厘米(A/cm)。在工程上，磁场强度单位用奥斯特(Oe)表示，其换算关系为：

$$\begin{aligned}
 1 \text{ 安/米} &= 10^{-2} \text{ 安/厘米} \\
 &= 4\pi \times 10^{-3} \text{ 奥斯特} \\
 &= 0.0125 \text{ 奥斯特} \\
 1 \text{ 奥斯特} &= 1/4\pi \times 10^3 \text{ 安/米} \\
 &= 80 \text{ 安/米} \\
 &= 0.8 \text{ 安/厘米}
 \end{aligned}$$

1安/米等于1根通以1安电流的直长导线在相距 $1/2\pi$ 米处产生的磁场强度。