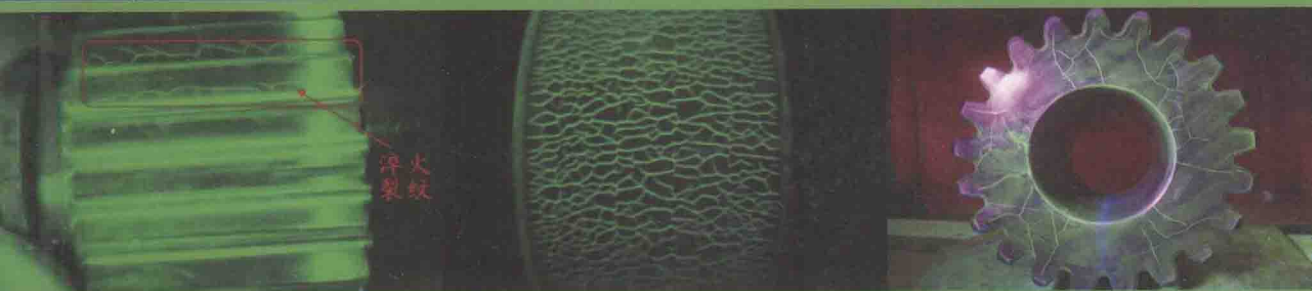


机车车辆零部件 磁粉检测磁痕分析图谱

万升云 ◎ 编著



JICHE CHELIANG LINGBUJIAN CIFEN
JIANCE CIHEN FENXI TUPU

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

机车车辆零部件 磁粉检测磁痕分析图谱

万升云 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2012年·北 京

内 容 提 要

本书简述了磁痕分析意义及分类,非缺陷磁痕显示特征及分析;重点讨论了缺陷磁痕显示特征及图谱分析,最后分析了磁痕显示的影响因素。

本书不仅对各类磁痕的显示特征进行了详细分析,同时也突出了材料铸造、锻造、焊接、热处理加工及在役等状况下缺陷形成的磁痕显示特征及分析,并收录了210帧典型缺陷磁痕显示图片。

本书通俗易懂,简明扼要,图文并茂,可供从事磁粉检测的无损检测员、工程技术人员、无损检测技术资格等级培训人员和有关设计、工艺、质量管理及无损检测专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机车车辆零部件磁粉检测磁痕分析图谱/万升云编
著. —北京:中国铁道出版社,2012.2

铁路货车科普培训教材

ISBN 978-7-113-14147-9

I. ①机… II. ①万… III. ①铁路车辆:货车-零部件-磁粉检验-技术培训-教材 IV. ①U279.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 015078 号

书 名: 机车车辆零部件磁粉检测磁痕分析图谱

作 者: 万升云 编著

责任编辑: 王明容 电话: 021-73138 电子信箱: tdpress@126.com

封面设计: 崔 欣

责任校对: 孙 玫

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100051, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 9 字数: 224 千

书 号: ISBN 978-7-113-14147-9

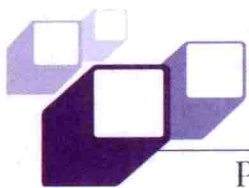
定 价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187



前 言

Preface

随着铁路运输的不断发展,对机车车辆、动车组的需求量日益增大,其结构与使用条件也越趋复杂。由于设计、材料及制造工艺等方面的原因,一些关键零部件在运行中,因载荷环境及材料中存在的各种缺陷,常常不可避免地出现偶发断裂故障,给铁路运输造成不同程度的损失。

大量的断裂失效分析证实,机车车辆零部件断裂失效与无损检测漏探、误判有关,尤其是表面缺陷的磁粉检测。磁粉检测是无损检测常规技术之一,是表面探伤方法中应用最早、最普遍和最成熟的技术方法。

但实际检测过程中,磁粉检测结果的评定,即磁粉检测缺陷磁痕分析受检测人员的经验及技术水平的的影响较大,导致同一产品、同一缺陷,不同工厂、不同检测人员的检测评定结果各异,检测评定结果相互之间没有可比性,其后果不言而喻。另外,机车车辆、动车组广泛采用新技术、新材料、新工艺,而不同材料产生缺陷的类别不同;或同种材料,其加工工艺不同,产生缺陷的类别也不同;或同种材料、同种缺陷,其加工工艺不同,缺陷磁痕显示形貌也不同;同种材料、同种加工工艺方法,产生的缺陷不同,其磁粉检测时磁痕显示更是不同。由于检测人员在缺陷磁痕判别时没有一个直观参考依据,导致检测人员很难对产品做出合理评定。如果建立一个磁粉检测缺陷磁痕显示比对图谱,检测人员发现、评定缺陷时,只要同标准缺陷图谱比对,就会容易对实际缺陷进行准确评定。对保证机车车辆运行中的安全性和可靠性,具有十分重要的意义。

《机车车辆零部件磁粉检测磁痕分析图谱》是一本较系统地分析我国铁路机车车辆各类零部件,因原材料缺陷和铸造、锻造、热处理、焊接等金属加工工艺产生的各种缺陷在磁粉探伤时的缺陷磁痕显示图谱,是在大量的分析、验证基础上,经过多年的收集、整理而完成的。本图谱内容比较丰富,图例典型,分析切合实际。为机车车辆行业从事设计、生产、技术、质量管理和无损检测等工作人员,正确地进行磁粉检测缺陷分析、评定,改进设计、制造加工工艺,提供了一本很有实用价值的技术资料。

本图谱的使用,在提高检测人员的工作效率、缺陷评判的准确性,减少误判、漏检及提高产品质量方面有着重要意义,同时可对产品工艺提供准确质量信息反馈,为产品改进工艺提供科学、可靠的依据。

在图谱编著过程中,得到了华中科技大学熊腊森教授的具体指导和帮助。

卢东磊、郑小康、章文显、刘仕远、任好娟、姚荣文等同志为本图谱进行了大量的验证分析工作；石胜平、宋以冬、段怡雄、段晓华、孙元德、王蔚明、耿学增、李艳琴、麻湘琴、付晔、谢宁、李正强、丁守立、沈科等同志提供了宝贵的图片或资料，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

本图谱是试图用实物缺陷磁痕分析的方法对铁道机车车辆零部件生产中各种缺陷产生的原因、磁痕显示特征进行简要的概括和分析的一种尝试。由于著作者的水平有限，难免存在诸多不足之处，恳请提出批评意见。

本书不仅收录了各种伪缺陷图片和非相关磁痕图片，还一一对缺陷性质、产生原因、显示特征、常见位置进行了详细阐述，共计有 60 多种类型缺陷，150 多种零部件，210 多张缺陷图片。

万升云
2011 年 9 月于龙城



目 录

Contents

1 磁痕分析简介及影响因素	1
1.1 磁痕分析的意义	1
1.2 磁痕分析应如何着手	2
1.3 磁痕显示的分类	2
1.4 磁痕显示的影响因素	3
1.4.1 工件表面状态的影响	3
1.4.2 工件材料磁特性的影响	4
1.4.3 缺陷状况的影响	4
1.4.4 磁粉的影响	5
1.4.5 载液的影响	6
1.4.6 磁悬液性能的影响	7
1.4.7 磁场强度及方向	7
1.4.8 磁化电流和磁化方法的影响	7
1.4.9 工艺操作的影响	7
2 铸造缺陷磁痕显示特征及分析	9
2.1 铸造裂纹	9
2.2 疏松	15
2.3 冷隔	21
2.4 夹杂	21
2.5 气孔	23
2.6 冷豆	27
2.7 缩孔	27
2.8 气隔	28
2.9 石墨漂浮	28
3 锻造缺陷磁痕显示特征及分析	32
3.1 锻造裂纹	32
3.2 锻造折叠	35
3.3 白点	35
3.4 锻造夹杂	45

4 焊接缺陷磁痕显示特征及分析	46
4.1 焊接裂纹	46
4.2 未焊透	49
4.3 气孔	49
4.4 夹渣	49
4.5 未熔合	52
5 热处理缺陷磁痕显示特征及分析	54
5.1 淬火裂纹	54
5.2 渗碳裂纹	61
5.3 表面淬火裂纹	66
5.4 热应力裂纹	66
6 原材料和轧制件缺陷磁痕显示特征及分析	70
6.1 发纹	70
6.2 分层	77
6.3 拉痕及划痕	77
6.4 原材料裂纹及夹杂	81
7 机加工缺陷磁痕显示特征及分析	84
7.1 磨削裂纹	84
7.2 矫正裂纹	97
8 在役缺陷磁痕显示特征及分析	98
8.1 疲劳裂纹	98
8.2 应力腐蚀裂纹	109
9 非缺陷磁痕显示特征及分析	111
9.1 伪显示	111
9.2 非相关显示	119
10 磁粉检测常用标准及常见问题	129
10.1 机车车辆零部件磁粉检测常用标准	129
10.2 值得注意的一些问题	129
参考文献	137

1 磁痕分析简介及影响因素

磁粉探伤是利用铁磁性材料工件被磁化后,由于不连续性的存在,使工件表面和近表面的磁力线发生局部畸变而产生漏磁场,吸附施加在工件表面的磁粉粒子,在合适的光照下形成目视可见的磁痕,从而显示出不连续性的位置、大小、形状和严重程度。其优点主要能直观地显示出缺陷的位置、大小、形状和严重程度,并可大致确定缺陷的性质;具有很高的检测灵敏度,能检测出微米级宽度的缺陷;能检测出铁磁性材料工件表面和近表面的开口与不开口的缺陷;综合使用多种磁化方法,几乎不受工件大小和几何形状的影响,能检测出工件各个方向的缺陷;检测缺陷的重复性好;单个工件检测速度快,工艺简单,成本低,污染轻;还可间断检测小孔内壁早期疲劳裂纹的产生和扩展速率等。

因此,磁粉探伤应用非常广泛,尤其在铁道机车车辆行业更是如此。目前,磁粉探伤已成为保证车辆零部件质量的重要手段。机车车辆用车轴、齿轮、轴承、摇枕、侧架、车钩等零部件,无论新制还是检修,都普遍采用磁粉探伤进行质量控制。

1.1 磁痕分析的意义

1. 什么是磁痕

磁粉检测是指磁粉聚集形成的磁痕来显示工件的不连续性和缺陷的。通常把磁粉检测时磁粉聚集形成的图像称为磁痕,磁痕的宽度为不连续性和缺陷宽度的数倍,即磁痕对缺陷的宽度具有放大作用,所以磁粉检测能将目测不可见的缺陷显示出来,具有很高的检测灵敏度。

2. 磁痕分析的意义

磁粉检测的最终目的不是建立一个满意的磁痕显示,更为重要的是将磁痕显示与缺陷或非缺陷显示对应起来。即根据对磁痕显示的分析,判断出该磁痕显示是否是缺陷引起的,若是缺陷引起的,那还得判断出缺陷的性质,从而最终确定被检工件是否符合相关产品的质量标准。由于形成磁痕显示的原因不同,磁痕显示的特征也有所差别。因此,要能够对磁痕显示作出准确的判断,磁粉检测人员应具有丰富的实践经验,并能结合工件的材料、形状和加工工艺,熟练掌握各种磁痕显示的特征、产生原因及鉴别方法,必要时用其他无损检测方法进行验证,做到去伪存真,所以磁痕分析的意义主要有以下几方面。

第一,正确的磁痕分析能够避免误判。如果把缺陷显示误判为非相关显示或伪显示,则会产生漏检,造成重大的质量隐患。相反,如果把非相关显示和伪显示误判为缺陷显示,则会把合格的工件拒收或报废,造成不必要的经济损失。

第二,正确的磁痕分析能够为设计及工艺改进提供科学依据。由于磁痕显示能准确反映出不连续性和缺陷的位置、大小、形状与严重程度,并大致确定缺陷的性质及类别,所以磁痕分析可为产品设计和工艺改进提供比较科学、可靠的信息。

第三,正确的磁痕分析可以避免质量事故发生。在工件使用后进行磁粉检测,用于发现疲劳裂纹,并间断检测和监视疲劳裂纹的扩展速率,可以做到及早预防,避免设备、质量和人身事故发生。

1.2 磁痕分析应如何着手

众所周知,磁粉检测是通过磁痕来显示缺陷的。但是,当工件上出现磁痕显示时,既不能不加考虑就认为是非缺陷磁痕显示,也不可不加分析地就判断为缺陷。又因为缺陷不是产生漏磁场的唯一原因,所以易引起误判、漏判。

在实际工作中,辨别磁痕时必须考虑以下几个方面的因素。

(1)详细了解工件材质、热处理情况、加工过程、加工工艺,必要时要了解加工者的情况,使用的加工设备情况等。因为上述情况不同,所产生的缺陷类别、性质等也有所区别。

(2)了解工件的运用情况,受力分析,通常出现缺陷的部位、严重程度、机率等。

(3)对工件的外观进行观察分析。

(4)掌握工件的磁化过程或受磁情况。

(5)观察分析磁痕的聚粉高度、聚粉宽度、聚粉浓密程度、聚粉的分布状况。不同性质缺陷,其磁痕显示状况有时也有所不同。

(6)仅从磁痕显示状况,一时无法准确判别时,还可以采取其他手段进行检测,帮助对磁痕的分析。如着色探伤、金相分析,对工件表面进行处理、借助放大镜进行观察等。

1.3 磁痕显示的分类

能够形成磁痕显示的原因是很多的,并不是所有的磁痕都是缺陷产生的,有时非缺陷处也可能形成磁痕。一般把缺陷产生的漏磁场形成的磁痕显示称为缺陷磁痕显示,也叫相关显示。按缺陷的形成时期,分为原材料缺陷,热加工、冷加工和使用后产生的缺陷,主要缺陷类别详见表 1-1。由工件截面突变和材料磁导率差异产生的漏磁场形成的磁痕显示称为非相关显示;不是由漏磁场形成的磁痕显示称为伪显示,将非相关显示和伪显示统称为非缺陷磁痕显示,主要类别见表 1-2。

表 1-1 缺陷类别

序 号	缺陷显示类型	缺 陷 名 称	序 号	缺陷显示类型	缺 陷 名 称
1	铸造缺陷	铸造裂纹	2	锻造缺陷	锻造裂纹
		疏松			折叠
		夹杂			白点
		气孔			锻造夹杂
		缩孔	3	焊接缺陷	焊接裂纹
		冷隔			气孔
		气隔			未焊透
		冷豆			夹渣
		石墨漂浮			未熔合

续上表

序 号	缺陷显示类型	缺 陷 名 称	序 号	缺陷显示类型	缺 陷 名 称
4	热处理缺陷	淬火裂纹	6	在役缺陷	疲劳裂纹
		渗碳裂纹			腐蚀裂纹
		表面淬火裂纹	7	原材料及轧制缺陷	原材料裂纹
		热应力裂纹			夹杂
5	机加工缺陷	磨削裂纹			发纹
		矫正裂纹			分层
					划痕

表 1-2 非缺陷类别

序 号	显示类型	非缺陷显示名称	序 号	显示类型	非缺陷显示名称
1	非相关显示	磁写	1	非相关显示	应力集中
		截面突变			棱角边缘
		组织不均匀	2	伪显示	表面粗糙、凹陷
		加工硬化			表面油污
		磁化电流过大			棉线
		磁极或电极附近			氧化皮、油漆斑点
		材质变化			浓度过高

- 缺陷磁痕和非缺陷磁痕虽然都是磁痕显示，但还是有以下几点区别。
- (1) 相关显示与非相关显示是由漏磁场吸附磁粉形成的，而伪显示不是由漏磁场吸附磁粉形成的。
- (2) 形成相关显示的漏磁场是由缺陷产生的，引起非相关显示的漏磁场却是由工件截面突变和材料磁导率差异产生的。
- (3) 无论是由工件截面突变和材料磁导率差异产生的漏磁场形成的非相关显示，还是由并非漏磁场形成的伪显示，二者均非缺陷引起的磁痕显示。
- (4) 只有缺陷显示的磁痕（相关显示）影响工件的使用性能，而非缺陷磁痕显示（非相关显示和伪显示）都不影响工件的使用性能。

1.4 磁痕显示的影响因素

磁粉检测的关键是有效地检出工件表面或近表面规定大小缺陷，并对缺陷磁痕进行准确辨识。认真分析影响磁痕显示的主要因素，对于防止缺陷漏检或误判，提高检测准确率具有重要意义。

- 1.4.1 工件表面状态的影响
1. 工件表面质量的影响
- 磁粉是吸附在缺陷处显示缺陷的物质。假如试件表面质量不好，有凹凸部分，则该部分也出现漏磁，并显示出磁痕，这样，往往不能与内部缺陷加以区别。

2. 工件表面洁净程度的影响

工件表面粗糙度、氧化皮、油污、铁锈等对探伤灵敏度都有一定得影响。工件表面较粗糙或存在氧化皮时,会增加磁粉的流动阻力,阻碍了磁粉的移动,影响缺陷处漏磁场对磁粉的吸附,使探伤灵敏度下降。工件表面的凹坑和油污处会出现磁粉聚集,引起非缺陷磁痕。

3. 工件表面覆盖物的影响

工件表面的油漆和镀层会削弱漏磁场对磁粉的吸附作用,使磁粉探伤灵敏度降低。当覆盖层较厚时,甚至会引起漏检。例如,某工件表面在镀铬处理前,可检出长2 mm的裂纹和发纹数条,但在镀铬层厚度达到10~70 μm 以后,就只能检出裂纹,而发纹都难以发现。

因此,提高磁粉探伤灵敏度,磁粉探伤前必须清除工件表面的油污、水滴、氧化皮、铁锈,提高工件表面的光洁度。对于镀层较厚的工件,应在镀层以前进行探伤。

1.4.2 工件材料磁特性的影响

1. 磁导率的影响

磁特性随着材料成分、结晶状态以及热处理的不同而不同。因此,即使在同一条件下进行磁化,也不能说漏磁都是相同的。材料的磁导率 μ 越大,缺陷越容易检出。工件本身的磁导率 μ 和剩磁 B_r 对缺陷的检出和缺陷磁痕显示有直接的影响。

在连续法检验中,由 $B=\mu H$ 可知,工件表面的磁感应强度 B 与磁导率 μ 成正比。当外磁场强度 H 一定时,工件缺陷处的漏磁场随 μ 值增加而增加。因此工件 μ 值越大,缺陷越容易检出。

2. 剩磁 B_r 的影响

在剩磁法检验中,工件的剩磁 B_r 对缺陷的检出起着决定性的影响。剩磁 B_r 越大,缺陷检出的灵敏度就越高。 $B_r \leq 0.8 \text{ T}$ 的工件一般不能采用剩磁法探伤。

1.4.3 缺陷状况的影响

磁粉探伤时,探伤灵敏度与缺陷的方向、位置、性质及深宽比有关。

1. 缺陷方向的因素

由磁粉探伤的原理可知,只有当缺陷与磁力线垂直或接近垂直时,缺陷处形成的漏磁场强度最大,吸附的磁粉最多,探伤灵敏度最高。当缺陷与磁力线几乎平行时,缺陷产生的漏磁场很弱,缺陷难以检出。

2. 缺陷埋藏深度的影响

工件中不同位置的缺陷,检出效果不同。位于工件表面的缺陷比近表面缺陷容易检出。当缺陷的埋藏深度增加到一定程度时,将难以检出。交流电磁化工件时尤为明显。

3. 缺陷性质的影响

不同性质的缺陷,其磁导率不同,检出效果不同。缺陷磁导率越低,越容易检出。例如,裂纹就比金属夹杂容易发现。

此外缺陷的深宽比也对缺陷的检出有影响,一般深宽比小,产生漏磁场弱,磁痕显示比较模糊,缺陷难以发现。气孔类缺陷若靠近表面,也能显示磁痕,但不能显示出缺陷的整体形貌。

1.4.4 磁粉的影响

磁粉检测是靠磁粉聚集在漏磁场处形成的磁痕显示缺陷的,磁痕显示程度不仅与缺陷性质、磁化方法、磁化规范、磁粉施加方式、工件表面状态和照明条件等有关,还与磁粉本身的性能如入磁特性、粒度、形状、流动性、密度和识别度有关,因此了解和选择性能好的磁粉十分重要。

1. 磁粉磁特性的影响

磁粉的磁特性与磁粉被漏磁场吸附形成磁痕的能力有关,磁粉应具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁。高磁导率的磁粉容易被缺陷产生的微小漏磁场磁化和吸附,聚集起来便于识别。如果磁粉的矫顽力和剩磁大,磁化后形成磁极,彼此吸引聚集成团不容易分散开,磁粉也会被吸附在工件表面不易去除,形成过浓背景,甚至会掩盖相关显示。若磁粉吸附在管道上,还会使油路堵塞。干法检验中,第一次磁化后的磁粉若被吸附在最初接触的工件表面上,使磁粉移动性变差,难以被缺陷处微弱的漏磁场吸附,同样也会形成过浓背景,影响缺陷辨认。

2. 磁粉粒度的影响

磁粉的粒度也就是磁粉颗粒的大小,粒度的大小对磁粉的悬浮性和漏磁场对磁粉的吸附能力都有很大的影响。

选择适当的磁粉粒度时,应考虑缺陷的性质、尺寸、埋藏深度及磁粉的施加方式。

检验工件表面微小缺陷时,宜选用粒度细小的磁粉,因为细磁粉悬浮性好,容易被小缺陷产生的微小漏磁场磁化和吸附,形成的磁痕显示线条清晰,定位准确。检验大缺陷和近表面缺陷时,宜选用粒度较粗的磁粉,因为粗磁粉在空气中容易分散开,也容易搭接跨过大缺陷,磁导率也比细磁粉高,因而搭接起来容易磁化和形成磁痕显示。

在实际应用中,要求发现各种大小不同的缺陷,也要求发现工件表面和近表面的缺陷,所以应使用含有各种粒度的磁粉,这样对于各类缺陷可获得较均衡的灵敏度。对于干法用磁粉,粒度范围为 $10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$,最大不超过 $150\text{ }\mu\text{m}$ 。对于湿法用的黑磁粉和红磁粉,粒度宜采用 $5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$,粒度大于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的磁粉,不能用于湿法检验,因为它很难在磁悬液中悬浮,粗大磁粉在磁悬液流动过程中,还会滞留在工件表面干扰相关显示。而粒度过细的磁粉在使用中,它们会聚集在一起起作用,所以一般不规定粒度的下限。荧光磁粉因表面有包裹层,所以粒度不可能太小,一般在 $5\sim 25\text{ }\mu\text{m}$ 之间,但这并不意味着检测灵敏度的降低,因为荧光磁粉的可见度、对比度和分辨力高,所以仍能获得较高的灵敏度。

在磁粉检测中,一般推荐干法用 $80\sim 160$ 目($0.18\sim 0.09\text{ mm}$)的粗磁粉,湿法用 $300\sim 400$ 目($0.050\sim 0.035\text{ mm}$)的细磁粉。

3. 磁粉颗粒形状的影响

磁粉有各种各样的形状,如条形、椭圆形、球形或其他不规则的颗粒形状。

一般来说,条形磁粉(长径比大)容易磁化并形成磁极,因而较容易被漏磁场吸附,有利于检测大缺陷和近表面缺陷,因为这类缺陷的漏磁场分散,聚集成磁粉链条才容易形成磁痕。但如果完全由条形磁粉组成,磁粉的流动性不好,磁粉严重聚集还会导致灵敏度下降。对于干法磁粉检验,条形磁粉相互吸引还会影响喷撒和磁粉显示形成。

球形磁粉能提供良好的流动性,但由于退磁场的影响不容易被漏磁场磁化,但空心球形磁粉能跳跃着向漏磁场聚集。

为了使磁粉既有良好的磁吸附性能,又有良好的流动性,所以理想的磁粉应由一定比例的条形、球形和其他形状的磁粉混合在一起使用。

4. 磁粉流动性的影响

为了能有效地检验出缺陷,磁粉必须能在受检工件表面流动,以便被漏磁场吸附形成磁痕显示。

在湿法检验中,利用磁悬液的流动带动磁粉向漏磁场处流动。在干法检验中,利用微风吹动磁粉,并利用交流电不断换向使磁场也不断换向,或利用单相半波整流电产生的单方向脉冲磁场带动磁粉变换方向促进磁粉流动。由于直流电磁场方向不改变,不能带动磁粉变换方向,所以直流电不能用于干法检验。

5. 磁粉密度的影响

湿法用黑磁粉和红磁粉的密度约为 4.5 g/cm^3 ,干法用纯铁粉的密度约为 8 g/cm^3 ,空心球形磁粉的密度约为 $0.71 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$,荧光磁粉的密度除与采用的铁磁粉原料有关,还与磁粉、荧光染料和黏结剂的配比有关。

磁粉的密度对检测结果有一定的影响,因为在湿法检验中,磁粉的密度大,易沉淀,悬浮性差;在干法检验中,密度大,则要求吸附磁粉的漏磁场要大。密度大小与材料磁特性也有关,所以应综合考虑。

6. 磁粉识别度的影响

识别度指磁粉的光学性能,包括磁粉的颜色、荧光亮度及与工件表面颜色的对比度。对于非荧光磁粉,只有磁粉的颜色与工件表面的颜色形成很大对比度时,磁痕才容易观察到,缺陷才容易发现;对于荧光磁粉,在黑光下观察时,工件表面呈紫色,只有微弱的可见光本底,磁痕呈黄绿色,色泽鲜明,能提供最大的对比度和亮度。由于工件表面覆盖着一层荧光磁悬液,就会产生微弱的荧光本底,因此荧光磁悬液的浓度不宜太高,大约为非荧光磁悬液浓度的 $1/10$ 。

总的来说,影响磁粉使用性能的因素有以上六个方面,但这些因素又是相互关联、相互制约的,如果孤立地追求某一方面而排斥另一方面,甚至可能导致试验的失败。如磁性称量法只反映了磁粉的磁特性,光凭磁性称量法称出磁粉样品几克为合格而忽略其他影响因素,实践证明不是完全可靠的。最根本的办法应通过综合性能(系统灵敏度)试验的结果来衡量磁粉的性能。

1.4.5 载液的影响

磁粉探伤所用载液有两种,一种是油性载液;一种是水载液。

1. 油性载液的影响

油性载液对磁粉探伤缺陷磁痕显示的影响因素主要是运动黏度、固有荧光特性和化学反应等。运动黏度不同,磁粉的流动性和沉淀情况也不同。黏度过大,将严重影响磁痕的聚集。采用荧光磁粉探伤时,还要求载液固有荧光低,否则,将干扰荧光磁粉检出的有效性。另外,载液的化学性质也很重要,如果载液与磁粉发生化学反应,将减少悬浮液中磁粉的数量,并使磁悬浮液变质。这些也将影响缺陷的检出和缺陷磁痕的形成。

2. 水载液的影响

水载液的润湿性、分散性、消泡性、固有荧光特性和化学性等对缺陷检出和磁痕显示也有影响。水载液的润湿性好,能够保证水载液快速润湿工件表面,便于缺陷处磁粉的附着;

分散性良好, 主要保证磁粉能够均匀分散在水载液中, 并在有效使用期内不结团; 消泡性较差, 探伤时产生多余的泡沫, 磁粉粘附在泡沫上, 将会干扰磁痕的形成; 另外, 如果水载液与磁粉发生化学反应, 将会导致磁悬液变质, 从而影响磁粉聚集和磁痕形成。

1.4.6 磁悬液性能的影响

1. 磁悬液浓度的影响

磁悬液的浓度适当, 缺陷磁痕显示灵敏度高。浓度太大, 会在工件表面滞留很多磁粉, 形成过度背景, 甚至会掩盖缺陷显示。另外, 磁悬液浓度太大, 磁悬液流动困难, 磁粉流动阻力大, 不易聚集在缺陷漏磁场处形成磁痕, 灵敏度低。浓度太小, 磁悬液流动快, 停留时间短, 缺陷漏磁场吸附磁粉的机会少, 不利于形成缺陷磁痕, 灵敏度也低。

为了更好地发现缺陷, 还要求磁悬液能充分润湿工件表面, 以便磁悬液能均匀地分布在工件表面上, 防止漏检。

2. 磁悬液清洁度的影响

新配制的磁悬液, 使用一定时间或检测一定数量工件后, 由于工件表面灰尘、油污、杂质及其他异物混入磁悬液, 磁悬液的清洁度变差, 严重时导致磁悬液被污染。其直接后果是磁粉检测时, 磁悬液综合显示能力和缺陷磁痕显示变差, 从而引起误判或漏检。

1.4.7 磁场强度及方向

1. 磁场强度的影响

当使材料磁化时, 材料的磁化强度对缺陷的检出度有影响。并不是仅仅使材料强烈磁化即可。这是由于磁化到接近饱和点时就容易产生假磁痕, 使得缺陷指征难以区别。因此, 为了测出缺陷, 需要磁化到适当程度。据资料显示, 磁化的最佳情况是达到饱和磁通的 80% 时或者导磁率 μ 为最大时。

2. 磁场方向的影响

此外, 被磁化的磁场还有方向性。因此, 要从缺陷部分产生漏磁, 就必须使缺陷切割磁场。也就是说, 磁化方向与缺陷方向垂直时, 漏磁最大。因而, 确定要检测或去除沿某一方向延伸的缺陷, 就应尽可能把缺陷垂直的方向作为磁化方向。

1.4.8 磁化电流和磁化方法的影响

1. 磁化电流的影响

磁化电流分为交流、直流和整流电。交流电具有集肤效应, 发现工件表面缺陷灵敏度较高。直流电或整流电磁化深度较大, 检出近表面缺陷灵敏度较高。

2. 磁化方法的影响

磁化方法有多种, 为了有效地发现缺陷, 不同的工件需要采用不同的磁化方法。一般采用直接通电法或穿棒法进行周向磁化, 纵向缺陷检出灵敏度高。采用线圈法或磁轭法进行纵向磁化, 横向缺陷检出灵敏度较高。采用旋转磁场法或复合磁化法, 可以检出任意方向的缺陷。

1.4.9 工艺操作的影响

磁粉探伤的主要工艺过程是清理工件表面、磁化工件、施加磁粉或磁悬液、观察分析

等，不管是哪一步操作不当，都会影响缺陷的检出。

1. 工件表面预处理的影响

工件表面清理不干净，不但会增加磁粉的流动阻力，影响缺陷磁痕的形成，而且会产生非缺陷磁痕，影响对缺陷的判别。

2. 磁化工艺方法的影响

实验证明，只有当工件表面的磁感应强度达到饱和磁感应强度的 80% 时，才能有效地检出规定大小的缺陷。磁化不足，缺陷漏磁场弱，容易漏检。磁化过剩，非缺陷处也有磁力线穿出进入，引起非缺陷显示，判伤困难。

磁化效果还与磁化时间和次数有关。磁粉探伤中，为了不致烧伤工件，需要对工件进行多次磁化，每次磁化要坚持一定的时间。磁化时间太短或磁化次数太少，工件内部的磁畴来不及转向，磁化效果差，探伤灵敏度低，磁痕显示不太清晰。

剩磁法探伤中，当采用交流磁化工件时，还要注意控制断电相位。断电相位控制不好，会使探伤灵敏度降低。

3. 施加磁粉或磁悬液时机的影响

施加磁粉或磁悬液的时机也要控制好。连续法探伤时，要求在磁化工件的同时施加磁粉或磁悬液，并在停止磁化工件前停止施加磁粉或磁悬液。否则施加的磁粉或磁悬液会冲刷缺陷处形成的磁痕，影响缺陷的检出。另外，如果磁化的过程中没有施加磁粉或磁悬液，磁粉探伤就没有意义，也会严重影响缺陷的检出。

4. 观察条件的影响

缺陷磁痕形成以后，要在相应的照明条件下进行观察。非荧光磁粉探伤时，要求在白光下观察，检验区的照度应达到 500 lx 以上。荧光磁粉探伤时，要求在紫外线灯下观察，检验区的强度不低于 $1\,000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，而且要在暗室内进行，暗室内的白光照度不大于 20 lx。当照明条件达不到上述条件时，会影响对细小缺陷的检出和磁痕判别。

2 铸造缺陷磁痕显示特征及分析

2.1 铸造裂纹

金属液在铸型内凝固收缩过程中，由于表面和内部冷却速度不同产生很大的铸造应力，当该应力超过金属强度极限时，铸件便产生破裂。

根据破裂时温度的高低又分为热裂纹和冷裂纹两种。热裂纹约在 $1\ 200\sim 1\ 400\ ^\circ\text{C}$ 高温下产生，并在最后凝固区或应力集中区出现。铸造冷裂纹约在 $200\sim 400\ ^\circ\text{C}$ 低温下产生，低温时由于铸钢的塑性降低，在巨大的热应力和组织应力的共同作用下产生冷裂纹。

其磁痕特征为铸造裂纹，多呈连续或半连续、较规则的微弯曲的直线状，起始部位较宽，随延伸方向逐渐变细，有时呈连续条状或枝杈状，粗细较均匀。磁痕显示强烈，磁粉附着好，轮廓清晰。

铸造热裂纹多出现在铸件的转角和厚薄交界处以及柱面和壁面上，同一炉号同一种铸件的热裂纹部位较固定，一般是沿晶扩展，呈很浅的网状裂纹，亦称龟裂。其磁痕细密清晰，稍加打磨裂纹即可消除。

铸造冷裂纹一般分布在铸钢件截面尺寸突变的部位，如夹角、圆角、沟槽、凹角、缺口、孔的周围、台阶和板壁边缘等部位。这种裂纹一般穿晶扩展，有一定深度，多为断续或连续的线条，两端有尖角，磁痕浓密清晰，如图 2-1~图 2-12 所示。



工件名称：管子

检测方法：黑磁粉干法连续法

检测设备：便携式磁轭探伤仪

图 2-1 铸造裂纹 1



工件名称：动车夹钳

检测方法：黑磁粉干法连续法

检测设备：便携式磁轭探伤仪

图 2-2 铸造裂纹 2



工件名称：HX3 抱轴箱

检测方法：黑磁粉干法连续法

检测设备：便携式磁轭探伤仪

图 2-3 铸造裂纹 3