

高等学校教材

WUSUN JIANCE

无损检测

邵泽波 刘兴德 主编



化学工业出版社

高等学校教材

无损检测

邵泽波 刘兴德 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地介绍了渗透和磁粉检测、射线检测、超声波检测、涡流检测、声发射检测、热和红外检测、微波检测、应变测试和无损检测新技术(激光、声振检测等)。内容新颖全面反映了无损检测领域的技术;实用性强,列举了生产实践中的许多应用实例,对比各种无损检测方法和应用。

为扩大学科专业领域,本书可作为机械类相关专业的选修课程教材,也可供相关工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测/邵泽波,刘兴德主编. —北京:化学工业出版社,
2011.8

高等学校教材

ISBN 978-7-122-11864-6

I. 无… II. ①邵…②刘… III. 无损检测-高等学校-教材 IV. TG115.28

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第139696号

责任编辑:金玉连 程树珍

装帧设计:张辉

责任校对:顾淑云

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数367千字 2011年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:30.00元

版权所有 违者必究

前 言

无损检测技术是控制产品质量、保证设备安全运行的重要手段之一。随着现代工业和科学技术的发展,无损检测技术在我国机械、冶金、航空、航天、原子能、国防、交通、电力、化工等工业部门得到了广泛的应用,并越来越受到各方面的高度重视。

无损检测技术同时应具有很强的实践性,在掌握一定的基础理论知识之后,还必须通过大量的实践,才能学会一些测试方法,掌握一定的操作技能。因此,在学习的过程中要特别重视理论和实践的相互结合。

本书全面系统地介绍了渗透和磁粉检测、射线检测、超声波检测、涡流检测、声发射检测、热和红外检测、微波检测、应变测试等无损检测技术,列举了许多应用实例,并力求反映无损检测领域的新技术。

本书共分11章,第1、5、9章由邵泽波编写;第6、7、8、11章由刘兴德编写;第2章由王斌编写;第3章由张阿南编写;第4章由周长友编写;第10章由史一松编写。

本书在编写过程中参考了国内外相关的教材及有关文献资料,在此向有关文献的著作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年5月

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 概述	1
1.2 无损检测技术的特点	2
1.3 缺陷的种类及其产生原因	3
1.4 材料和构件中缺陷与强度的关系	6
1.5 无损检测方法的选择	7
第 2 章 渗透检测和磁粉检测	9
2.1 渗透检测的特点及适用范围	9
2.2 渗透检测的原理和方法	9
2.3 渗透检测的应用实例	12
2.4 磁粉检测的特点及适用范围	14
2.5 磁粉检测原理和方法	14
2.6 磁粉检测应用实例	17
第 3 章 射线检测	19
3.1 射线检测的特点和适用范围	19
3.2 射线源及其特性	20
3.3 射线的产生及其性质	21
3.4 射线检测原理、设备和器材	24
3.5 射线照相法检测的应用实例	34
第 4 章 超声波检测	37
4.1 超声波检测的特点和适用范围	37
4.2 超声波的产生及其性质	39
4.3 超声波仪器、探头和试块	51
4.4 超声波检测的应用	66
第 5 章 涡流检测	87
5.1 涡流检测的特点和适用范围	87
5.2 涡流检测原理	89
5.3 影响涡流检测的因素	90
5.4 涡流的产生与检测	91

5.5	涡流检测传感器 (探头)	97
5.6	检测线圈与试件的相对运动	101
5.7	检测线圈的设计与性能评价	102
5.8	涡流检测仪器设备	103
5.9	涡流检测基本操作技术	107
5.10	涡流检测应用实例	114
第 6 章	声发射检测	126
6.1	声发射检测的特点及应用	126
6.2	声发射产生的条件及其性质	127
6.3	声发射换能器	130
6.4	声发射信号的表征	133
6.5	声发射检测实例	136
6.6	声发射监测在某些工业上的应用	143
第 7 章	热和红外检测	146
7.1	基本原理	146
7.2	接触温度记录方法	149
7.3	非接触的温度记录方法——红外成像	152
7.4	接触温度记录法的检测元件	155
7.5	非接触的温度测量装置	156
第 8 章	微波检测	158
8.1	微波检测的专门技术	159
8.2	微波检测设备	161
8.3	厚度的精密计量	163
8.4	不均匀性的检测	165
8.5	金属表面裂纹的微波检测	167
8.6	其他性能的微波测试	169
8.7	微波检测应用实例	170
第 9 章	应变测试	172
9.1	应力与应变的关系	172
9.2	表面两点间距离或点应力的测试方法	177
9.3	应变测试操作	178
9.4	运动构件应变测量	182
9.5	高 (低) 温条件下应变测量	188
9.6	高压液下的应变测量	201
第 10 章	各种无损检测方法的对比和应用	206

10.1	无损检测方法的分类及反馈.....	206
10.2	内部缺陷的检测.....	206
10.3	表层缺陷的检测.....	209
10.4	各种无损检测方法的适用范围.....	211
第 11 章	无损检测新技术	214
11.1	激光全息无损检测.....	214
11.2	声振检测法.....	218
参考文献		224

第 1 章 总 论

1.1 概述

无损检测是在不破坏或不损伤原材料和工件受检对象的前提下，测定和评价物质内部或外表的物理和力学性能，并包括各类缺陷和其他技术参数的综合性应用技术，对于控制和改进生产过程和产品质量，保证材料、零件和产品的可靠性及提高生产率起着关键的作用，是发展现代工业必不可少的重要技术措施之一。

无损检测技术在材料加工、零件制造、产品组装直至产品使用的整个过程中，不仅起到保证质量、保障安全的监督作用，还在节约能源及资源、降低成本、提高成品率和劳动生产率方面起到了积极的促进作用。

现代无损检测与评价技术不但要探测缺陷的有无，而且还要给出材质的定量评价。这里包括对缺陷的定量测量，如缺陷的形状、大小、位置、取向、分布和内含物等；对有缺陷的材料和产品的质量评价，包括测量材料和产品的某些物理和力学性能，如内部的残余应力、组织结构、涂层厚度等。可以说，无损检测与评价技术的发展程度标志着一个国家（地区）的现代化工业水平。

因此，无损检测作为一项工业技术，从应用角度来说，主要有三种形式：一是在生产过程质量控制中的无损检测，即应用于产品的质量检验，它可以剔除每道生产工序中的不合格产品，并把检测结果反馈到生产工艺中去，指导和改进生产，监督产品的质量；二是用于成品的质量控制，即用于出厂前的成品检验和用户的验收检验，它主要是检验产品是否达到设计性能，能否安全使用；三是在产品使用过程中的监测，即维护检验，它是用户在使用产品或设备的过程中，经常地或定期地检查是否出现危险性缺陷而采用的无损检测方法，有时也称为在役检查。这种检测可以做到“防患于未然”，对消除灾害性事故起着重要的作用。

近些年来，无损检测技术越来越受到人们的普遍重视，在航空与航天、核技术、武器系统、电站设备、铁道与造船、石油与化工、锅炉与压力容器、建筑、冶金和机械制造等工业中应用得极为广泛。

随着现代物理学、材料科学、微电子学和计算机技术的发展。无损检测技术也随之迅猛发展起来。各种无损检测方法的基本原理几乎涉及现代物理学的各个分支。人们按照不同的原理和不同的探测及信息处理方式，详细地统计了已经应用和正在研究的各种无损检测方法，总共达 70 余种。主要包括射线检测（X 射线、 γ 射线、高能 X 射线、中子射线、质子和电子射线等）、声和超声波检测（声撞击、超声脉冲反射、超声透射、超声共振、超声成像、超声频谱、声发射和电磁超声等）、电学和电磁检测（电阻法、电位法、涡流法、录磁与漏磁、磁粉法、核磁共振、微波法、外激电子发射等）、力学和光学检测（目视法和内窥镜、荧光法、着色法、脆性涂层、光弹性覆膜法、激光全息摄影干涉法、泄漏检定、应力测试等）、热力学方法（热电动势法、液晶法、红外线热图等）和化学分析方法（电解检测法、激光检测法、离子散射、俄歇电子分析等）。现代无损检测技术还应该包括计算机数据和图

像处理、图像的识别与合成以及自动化检测技术等。

无损检测主要是检测材料和构件中的宏观缺陷，也就是说无损检测技术所表征的是材料和构件中宏观组织结构的特点。与科学技术的深入发展相结合，无损检测在工业上所应表现的特点有以下几点：

- ① 测量结果为精确的定量数值，能客观地反映产品的质量；
- ② 在生产工艺流程中，能连续且较全面地对原材料、半成品及成品进行无损检测；
- ③ 检测结果经过处理，作为评价产品质量的数据储存起来，并根据需要随时给予显示；
- ④ 能将检测结果迅速反馈到工艺过程中，依据检测结果调节工艺参数，对产品质量实行过程控制。

目前在工业生产检测中，应用最广泛的无损检测方法主要是液体渗透法、磁粉检测法、射线检测法、超声波检测法和涡流检测法。近年来声发射检测和激光全息摄影等检测技术也获得了一定的发展和应用。

随着科学技术的发展，为满足现代工业生产的需求，新型材料层出不穷，如复合材料、胶接结构、陶瓷材料、非晶态合金以及各种功能材料，故人们必须不断研究新的无损检测仪器和方法，以满足对这些材料进行高精度和高灵敏度无损检测的需要。

1.2 无损检测技术的特点

应用无损检测时，首先必须对以下几个方面作充分的理解和认识。

1.2.1 无损检测和破坏性检测

无损检测是在不损伤和破坏原材料和结构的前提下，对它们的化学性质、力学性能以及内部结构等进行质量评价的一种检测方法。为了对其质量和性质做出一定的判断，必须首先对同样条件的试样进行无损检测，随后再进行破坏性检测，求出这两个检测结果之间的关系。也就是把无损检测所得到的结果与破坏性检测所得到的结果互相对比，从而知道怎样评价无损检测所得到的结果。必须充分认识到，假如没有做过上述检测结果的对比，不管所进行的无损检测的灵敏度有多高，其所作的评价都是没有任何意义的。

1.2.2 无损检测的实施时间

选择的时间必须是评定质量的最适当的时间。在制造过程中，如果做了某道工序之后要对材料或焊缝质量产生影响的话，那么在这道工序之前作出的质量评定就会与之后的评定不一致。因此，质量评定的时间应该选择在这道工序之后。另外，虽然没有增加特别的工序，但由于时效变化，材料和焊缝的质量也可能发生变化，所以必须待充分变化后再对它进行检测评定。

例如热处理，当考虑到热处理所引起的质量变化时，当然要在热处理之前和之后分别做无损检测。在热处理之前用无损检测作质量评定是对原材料制造工艺的检查，又是对焊缝焊接工艺方法的检查。而在热处理之后进行检验，不管什么情况都是对热处理工艺操作的检查。因此质量评定的对象是随质量评定的时间不同而不同的。另外有时还要用不同的检测方法，所以必须明确规定在什么时间、用什么检测方法来进行检测。又如高强度钢焊缝有时会发生延迟裂纹，一般在焊后几小时或十几小时才开始发生。如果焊后过早地进行检验，则检验后仍会发生许多裂纹。所以通常情况下，至少要放置一昼夜，然后再做检验。

1.2.3 无损检测结果的可靠性

无损检测是把一定的物理量加到被检物上去，再使用特定的检测装置来检测，这种物理

能量的穿透、吸收、散射、反射、漏泄、渗透等现象的变化,从而检查被检物有没有异常。因此能不能把这种异常情况检查出来,与被检物的材质、组织成分、形状、表面状态、所采用的物理能量的性质,以及被检物异常部分的状态、形状、大小、方向性和检测装置的特性等有很大的关系。一般来说,不管采用哪一种检测方法,要完全检查出异常部分是不可能的。也就是说,虽然经过无损检测,得到了没有缺陷的信息,也不应该认为一定没有缺陷。另外,用无损检测测得的异常部分的种类、形状、大小、方向性等信息,由于所用检测方法的不同而不同。加之检测方法和异常部分的特性凑合在一起,有时检测灵敏度可以达到很高,而有时检测误差却会很大。所以,无损检测在进行质量评定或寿命评定中极为重要。

1.2.4 无损检测方法和检测规范的选择

当采用的检测方法不适当以及检测规范不正确时,检测结果的可靠性就更差了。由于检测方法本身的特点所限,缺陷不可能完全被检出。为了提高检测结果的可靠性,必须选择适合于异常部分性质的检测方法和检测规范。为此,必须预计被检物异常部分的性质,即预先分析被检物的材质、加工种类、加工过程或使用经过,必须预计缺陷可能是什么种类、什么形状、在什么部位、什么方向,预定它们的性质,然后再选择最适当的检测方法。因而,按检测规范来确定的检测方法有时就不一定是最适当的方法,所以必须选择能够发挥检测方法最大能力的检测规范。

1.2.5 无损检测结果的评定

无损检测的结果只能作为评定质量和寿命的依据之一,而不应仅仅根据它来做出片面的结论。如果可能,不要只采用一种无损检测方法,而应尽可能多地同时采用几种方法,以便使各种方法互相取长补短,从而获得更多的信息依据。另外,还应利用无损检测以外的其他检测所得到的结果,综合有关材料的、焊接的、加工工艺的知识作出判断。总之,无损检测结果的判断技术是有关物理、化学、机械、电气、材料等的高度综合性的技术。要充分认识到,是为了保证产品的经济性和安全性才去进行无损检测的。必须判断所得到的检测结果的本质是什么,要区别可以允许的缺陷和不可允许的缺陷,不要用无损检测去盲目追求所谓的那种“高质量”,有时进行无损检测会使产品的价格上升。

1.3 缺陷的种类及其产生原因

为了正确地进行无损检测,必须预计原材料和焊缝中所发生缺陷的种类。因此,需要具备在各种材料和焊缝中发生缺陷的一些知识。这里所说的缺陷不是指工业用金属材料在制造时所出现的不可避免的不连续部分,而是指那种在制造时认真操作就能避免的不连续部分,而其数量和大小在按设计要求的正常条件下运转时,会使材料、机器、结构物等发生损坏。此外,这里还没有把由于设计存在问题,意料之外的超负荷以及发生特殊环境条件而造成损坏的因素考虑进去。在定期检查中发现的不连续部分,有时还包括一部分在制造过程中漏检的缺陷,但大部分是由于发生了不符合设计要求的情况所引起的,如果不予以处理,就可能继续发展进而成为有害的断裂发生源。所谓缺陷就是指这种不连续部分。

下面叙述在各种材料和焊缝中所产生的主要缺陷种类及其产生原因。

1.3.1 板材、棒材和管材常见缺陷

1.3.1.1 钢板中的常见缺陷

(1) 分层裂纹 是截面裂为两层的缺陷。它是由于钢锭中存在气孔、缩孔、夹渣或者耐火材料等导致压合不紧密而引起的。

(2) 条状裂纹 是截面断断续续的条状小裂纹它是由于偏析、缩孔、气孔、夹渣、氧化皮和耐火材料等导致压合不紧密而引起的。

(3) 夹杂物 是截面上的杂质、熔渣和耐火材料。它是由于浇铸钢锭时带入熔渣、耐火材料和其他杂质等而引起的。

(4) 皮下气孔 是在表面下的空洞。它是由于钢锭中存在的缩孔、气孔等没有被压合而产生的。

(5) 纵向裂纹 是由于钢锭或钢板中存在裂纹而引起的顺压延方向上的线状裂纹。

(6) 横向裂纹 是由于与(5)同样原因而产生的横方向的闪光状裂纹。

(7) 龟裂 是表面上的龟壳状裂纹或微裂纹。它是由于钢锭中表面气孔较多、加热条件不适当以及钢中含有引起加热脆性的铜等元素较多而产生的。

(8) 边缘裂纹 是由于与(7)同样的原因而在钢板边缘产生的锯齿状裂纹。

(9) 线状缺陷 是钢锭表层的气孔受到压延后,顺压延方向产生的又短又浅的线状缺陷。

(10) 鳞状折叠 是表面上呈折叠状的缺陷。它是浇铸钢锭时由于飞溅和皱纹较多以及存在气孔等而产生的。

(11) 耐火材料夹杂 是由于浇铸钢锭或加热时夹进或粘着耐火材料、泥灰以及熔渣等在压延时被延伸的缺陷。

(12) 龟壳状缺陷 是局部表面的龟壳状裂纹。它是由于轧辊表面有龟壳状热裂纹,周期性地复印在成品钢材表面而产生的。

1.3.1.2 棒钢中常见的缺陷

(1) 纵向裂纹 是一种比较深的线状裂纹。它是由于热应变、时效以及材料性能改变,尤其是由于有针孔、气孔等原因而产生的。

(2) 线状缺陷 是断续的直线状缺陷。它是由于在钢锭中有针孔、气孔以及表面粗糙等而在压延时延伸而成的。

(3) 折叠 是由于轧辊调整不好、孔模不佳、挡板调整不当等所产生的折叠状缺陷。

(4) 夹杂 是钢锭中的夹杂物由于压延和拉伸而造成的缺陷。

(5) 横向裂纹 是同压延方向相垂直的横向裂开的缺陷。它是由于材料成分不适宜、加热不妥当或者脱氧不良而产生的。

(6) 耐火材料夹杂 是由于浇铸或加热钢锭时耐火材料粘在表面或混进内部而造成的缺陷。

(7) 缩孔 是钢锭的缩孔由于压延而在表面上产生的顺压延方向的线状缺陷。

(8) 皮下气孔 是在表面下的空洞。它是由于钢锭中存在的缩孔、气孔等没有被压合而产生的。

(9) 过烧 是表面上的小鳞状裂纹。它是由于加热过度使表面脆化,而后在压延时产生的。

(10) 鳞状折叠 是部分表面上的鳞状折叠缺陷。它是由于材料表面粗糙、有气孔或模子过紧而产生的。

(11) 皱纹 是由于材质或者轧制方法不适当而在自由压延面上产生的皱纹状缺陷。

1.3.1.3 钢管中常见缺陷

(1) 外壁折叠 是由于圆钢表面夹入杂质、铁屑或有偏析、非金属夹杂物和裂纹时,在穿孔时产生的缺陷。

(2) 横向裂纹 是由于材料含铜量过高、压延过剧、加热过度或者冷态加工过多等所产

生的缺陷。

(3) 外壁划痕 是由于加工时的导管和拉模的形状不良以及烧伤等所引起的缺陷。

(4) 纵向裂纹 是由于加热不良、热处理不良以及加工方法不当等所产生的缺陷。

(5) 热处理裂纹 是由于热处理不良和错误地加水等所产生的裂纹。

1.3.2 锻件中常见的缺陷

(1) 非金属夹杂物 是由于炼钢时熔炼不良或者铸锭不良，混进硫化物和氧化物等非金属夹杂物或者耐火材料等所造成的缺陷。

(2) 夹砂 是由于铸锭时熔渣和耐火材料或夹杂物太多，留在锻件中形成的缺陷。

(3) 夹渣 同夹砂缺陷大致相同，但形状较大，是在铸锭时从外面混进去的缺陷。

(4) 外来金属夹杂物 是由于在铸锭时不注意，混进了金属，一起被浇铸而产生的缺陷。

(5) 缩孔 是由于铸锭时，因冒口切除不当、铸模设计不良以及铸造条件（温度、浇注速度、浇注方法、熔炼等）不良而产生的缩孔没有被锻合却遗留下来的缺陷。

(6) 龟裂 是锻钢件表面上出现的较浅的龟壳状缺陷。它是由于原材料成分不当、原材料表面情况不好、加热温度和加热时间不合适而产生的。

(7) 过烧 有同龟裂类似的表面状态。它是由于过热使材料内部引起晶界氧化并产生显著的裂纹，或者引起显著的结晶粗大。其原因可以认为是加热温度、加热时间和加热方法等不当。

(8) 烧裂 其形状较简单，是由于材质不良、淬火操作不良和工件形状不当等所引起的很尖锐的缺陷。骤热裂缝和骤冷裂缝也包括在内。

(9) 磨削裂纹 是龟壳状的细而浅的缺陷。它是由于钢在淬火后用砂轮磨削而产生的。

(10) 疏松 是钢锭中心的疏松结构（因为有细的晶界裂纹或者晶界中产生细微的空隙而使晶粒结合较弱的部分）没有充分锻合而遗留下来的缺陷。它是由于熔炼不良、铸锭形状不当、锻造比不当等而产生的。它还叫做收缩空隙或微空隙。

(11) 白点 是一些微细的裂纹，在纵向断口上呈现为银白色（有时为灰色）的圆形或椭圆形斑点，故称白点。它是由于钢水中含氢、锻造过程中有残余变形应力、热加工后产生相变应力和热应力等而产生的。

(12) 皱纹 是由于在锻造中因工艺、操作或加热状态不当所引起的材料重叠皱纹。它还叫做叠加缺陷，叠加皱纹或折叠裂纹。

1.3.3 铸件中常见的缺陷

(1) 针孔、气孔 是熔化的金属在凝固时，其中的气体来不及逸出而在金属表面或内部发生的圆孔。其直径为2~3mm的叫做针孔，大于3mm的叫做气孔。

(2) 夹渣 是浇铸时由于铁水包中的熔渣没有与铁水分离，混进铸件而形成的缺陷。

(3) 夹砂 是浇铸时由于砂型的砂子剥落，混进铸件而形成的缺陷。

(4) 密集气孔 是铸件在凝固时由于金属的收缩而发生的气孔群。

(5) 冷隔、浇不足 主要是由于浇铸温度太低，金属熔液在铸模中不能充分流动，在铸件表面生成冷隔；因铁水未流入而形成缺口的地方叫做浇不足。

(6) 裂纹 是由于材质和铸件形状不当，在凝固时因收缩应力而产生的裂纹。在高温下产生的叫做热裂纹，在低温下产生的叫做冷裂纹。

1.3.4 焊缝中常见的缺陷

(1) 裂纹 焊缝发生的裂纹可以大致分为在熔敷金属部分和热影响区发生的两种裂纹。

前者包括焊道裂纹、焊口裂纹、根部裂纹、硫脆裂纹和微裂纹等。后者包括根部裂纹、穿透裂纹、焊道下裂纹和夹层裂纹等。其原因是熔敷金属的韧性不良、母材或焊条含硫量过多、焊接规范不当、焊口处理不良、熔敷金属的含氢量过多等。

(2) 夹渣 是由于焊条直径以及电流的选择不当、运条不熟练和前道焊缝的熔渣未清除干净等焊接技术不好所造成的缺陷。

(3) 气孔 是由于焊条不干燥、坡口面生锈、油垢和涂料未清除干净、焊条不合适或熔融中的熔敷金属同外面空气没有隔绝等所引起的缺陷。

(4) 未熔合 是焊接界面没有充分熔合而产生的缺陷。其原因是运条不当、表层没有清理干净和预热不够等。

(5) 未焊透 是在有坡口的焊接以及丁字焊时, 由于焊条过粗或者焊接电流过低, 使电弧不能到坡口底而产生的缺陷。

(6) 交边 是母材与熔敷金属的交界处产生的凹陷。它是由于运条过快、焊接电流过大、电弧过长和各种焊接规范不当等所引起的缺陷。

1.3.5 维修检查中常见的缺陷

(1) 疲劳裂纹 一种只加一次不足以引起损坏的应力, 当其反复作用在工件上则可能产生裂纹, 这就是疲劳裂纹。疲劳裂纹中有接触应力疲劳裂纹、热应力疲劳裂纹以及腐蚀疲劳裂纹等。

(2) 应力腐蚀裂纹 将处于腐蚀剂中的金属材料表面加上较高的静态拉应力时则产生应力腐蚀裂纹, 一般认为它与氢脆性有关。

(3) 摩擦腐蚀 两接触面处在微小振动和互相摩擦状态时, 其微小部分反复进行结合与分离, 同时与周围环境发生化学反应, 引起摩擦腐蚀。一般可以看到有小碎片和微细粉末伴随产生。

(4) 空化侵蚀 液体中产生的气泡破灭时, 对材料表面进行冲击, 产生空化侵蚀。

(5) 热应力裂纹 是由于金属从加热到冷却或者在多次反复热冷中的热应力所引起的裂纹。

1.4 材料和构件中缺陷与强度的关系

缺陷对材料强度有什么影响, 应根据有缺陷的材料在什么条件下使用而定; 即应视材料在使用中的应力、温度和环境条件, 以及缺陷的形状、大小、方向位置 (是在表面、在内部、还是在应力集中部位) 等而定。在同一材料中存在同样的缺陷时, 其损坏情况不一定相同, 所以还是按不同场合考虑为妥。

为了避免金属材料与构件在加工制造和使用过程中发生断裂, 一方面要求材料有较高的强度, 同时要求材料有一定的韧性, 即要求材料有良好的综合力学性能。而在实际的材料和构件中存在着大量的微观缺陷和宏观缺陷, 由于这些缺陷的存在, 大大降低了材料和构件的强度, 材料和构件中缺陷与强度的关系是极为复杂的, 必须综合考虑如下各种因素:

- ① 材料、焊缝和构件所处的应力条件和环境条件;
- ② 缺陷的类型、形状、大小、取向、部位、分布和内含物等情况;
- ③ 材料、焊缝和构件中有缺陷部位的厚度;
- ④ 材料和焊缝的力学性能试验结果;
- ⑤ 材料和焊缝的断裂力学性能试验结果;

⑥ 有缺陷部位的残余应力分布状况;

⑦ 各种使用条件的性质。

这里应该加以研究的各种条件的性质有以下几个:

① 静态强度;

② 蠕变断裂强度;

③ 疲劳强度(拉伸、扭转、弯曲等);

④ 抗脆性断裂性能;

⑤ 耐腐蚀性和对应力腐蚀的敏感性;

⑥ 耐泄漏性能;

⑦ 特殊材料的抗氢脆性和耐辐照性能。

在上述各因素中,特别要深入研究的是有关疲劳强度和脆性断裂的问题。因为迄今为止发生过的重大事故,其破损形式大部分与这两方面的问题有关。当然其他各种破损形式也是重要的,例如腐蚀或应力腐蚀引起的裂纹等。

1.5 无损检测方法的选择

众所周知,无损检测的应用范围甚广,被检测的对象千差万别,其无损检测的方法又是多种多样的,实际工作中究竟选择哪种或哪几种方法,采用什么样的检测方案,才能达到安全、有效、可靠的无损检测结果呢?作为无损检测人员首先必须掌握各种无损检测方法的优缺点,明确各种不同方法的适用范围和它们之间的相互关系,这样才能在综合分析评价的基础上,面对具体的无损检测工程或被检对象,选择恰当的无损检测方法,确定正确的无损检测方案。

下面仅就一些常规的无损检测方法作简要介绍。

液体渗透检测只能检查材料或构件表面开口状的缺陷,对于近表面和内部的缺陷,渗透法是无法检测的。它的优点是操作简单、成本低廉,适用于有色金属、黑色金属和非金属等各种材料和形状复杂的各种零部件,但是,对多孔性材料不适用。

磁粉检测用来检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷。检测所用设备简单、操作方便,观察缺陷直观快速,有较高的检测灵敏度,尤其对裂纹特别敏感。

由于磁粉检测难以实现自动化,对于轴类、棒材和管材等旋转对称试件,可以采用漏磁检测法;而对于平板、方坯和平面对接焊缝等试件,可以采用录磁检测法。这两种方法不但可以实现快速自动化检测,而且可以获得比磁粉检测法更多的信息。

电位检测法适合用来检测裂纹的深度和裂纹平面的倾角,也可用于测厚和检测复合板结合层的质量,对于精密的电子束焊接和激光焊接,也可用电位法检测焊缝熔深。

射线检测法适用于检测材料或构件的内部缺陷。对体积型缺陷比较灵敏,而对平面状的二维缺陷不敏感,只有当射线入射方向与裂纹平面相一致的时候,才有可能检出裂纹缺陷。所以,射线检测法一般适用于焊缝和铸件检查,因为焊缝和铸件中通常存在的气孔、夹渣、密集气孔、冷隔和未焊透、未熔合等缺陷往往是体积型的。

超声波检测具有灵敏度高、指向性好、穿透能力强、检测速度快等优点。它既可检测材料或构件的表面缺陷、又可以检测内部缺陷,尤其对裂纹、叠层和分层等平面状缺陷,具有很强的检出能力。A型显示超声波探伤较难识别缺陷的类型,B型和C型显示可以给出缺陷的图像,对识别缺陷的种类可提供更多的信息。超声波检测适用于钢铁、有色金属和非金

属,也适用于铸件、锻件、轧制的各种型材和焊缝等。但是,一般说来超声波检测只适用于检查几何形状比较简单的工件。对于管材、棒材、平板、钢轨和压力容器焊缝等几何形状较简单的材料或构件,可以实现高速自动化检测,通常采用水浸法或喷水探头。除了探伤以外,超声波法还可用来测量厚度、硬度、淬硬层深度,检测材料的弹性模量和晶粒度,测量零件或构件中的应力,以及进行液位和流量的测量等。声阻检测法适用于检测胶接结构的质量和强度。

涡流法只适用于导体,而且只能检测表面和近表面缺陷。除了探伤以外,涡流法还可以检测材料的电导率、磁导率、晶粒度、热处理状况、材料的硬度和几何尺寸,以及测量金属材料上的非金属涂层、铁磁性材料上的非铁磁性材料涂层的厚度。涡流探伤时,探头可不与工件相接触,也不需要耦合介质,因此可以实现自动化检测。对于管材、棒材、板材等各种型材,可以采用不同类型的探头进行检测或在役进行检测。采用多频多参数涡流检测法,还可以同时给出多种测量信息和数据。

声发射技术被称为动态无损检测技术,它需要在外力或内力的作用下进行检测,而且声发射信号来自缺陷本身或结构异常区域。因此,它可以判断缺陷的严重程度,除极少数材料外,一般的金属和非金属材料在一定条件下都有声发射现象,所以声发射检测可以普遍应用。但是,由于解释声发射信号比较困难,从而使声发射的应用受到了一定限制。目前比较成功的应用是对压力容器的安全评价。此外,声发射还可用于研究疲劳、蠕变、脆断、应力腐蚀和断裂力学测试,监测焊接过程和大型结构与设备,研究纤维增强复合材料和陶瓷材料的性能等。

红外无损检测主要通过热成像装置,可对钢包、锅炉、电子线路、电缆和输变电装置等进行检测,红外线热图法还可检测蜂窝夹芯胶接结构,红外遥测技术可通过卫星或飞机监测电站、电网和变电站的运行是否正常。

微波检测用于材料性能的评价和天线屏蔽器以外的材料中不连续性的鉴定,它是通过对介电材料中水气浓度的检验来实现的。

应变测试是各种机械或者结构物在外力作用时,通过它来获得各部位的应变大小、应力分布状态从而进行强度评价的一种检测方法,它也是无损检测的一个重要领域。

总之,正确地选择无损检测的方法,除掌握各种方法的特点以外,还需要与材料或构件的加工生产工艺、使用条件和状况、检测技术文件和相应标准的要求等相结合,才能正确地确定无损检测方案,从而达到有效检测的目的。

第 2 章 渗透检测和磁粉检测

2.1 渗透检测的特点及适用范围

2.1.1 渗透检测的特点

液体渗透检测是一种最古老的探伤技术。它可以检查金属和非金属材料表面开口状的缺陷。与其他无损检测方法相比，具有检测原理简单、操作容易、方法灵活、适应性强的特点，可以检查各种材料，且不受工件几何形状、尺寸大小的影响，对于小零件可以采用浸液法，对大设备可采用刷涂或喷涂法，可检查任何方向的缺陷。基于这些优点，其应用极为广泛。

液体渗透检测又分着色法和荧光法，就其原理是相同的，都是基于液体的某些物理特性，只是观察缺陷的形式不同。着色法是在可见光下观察缺陷，而荧光法是在紫外线灯的照射下观察缺陷。

液体渗透检测对表面裂纹有很高的检测灵敏度。其缺点是操作工艺程序要求严格，繁琐，不能发现非开口表面的皮下和内部缺陷，检验缺陷的重复性较差。

2.1.2 渗透检测的适用范围

在工业生产中，液体渗透检测用于工艺条件试验、成品质量检验和设备检修过程中的局部检查等。它可以用来检验非多孔性的黑色和有色金属材料以及非金属材料，能显示的各种缺陷如下：

- ① 铸件表面的裂纹、缩孔、疏松、冷隔和气孔；
- ② 锻件、轧制件和冲压件表面的裂纹、分层和折叠等；
- ③ 焊接件表面的裂纹、熔合不良、气孔等；
- ④ 金属材料的磨削裂纹、疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹、热处理淬火裂纹等；
- ⑤ 酚醛塑料、陶瓷、玻璃等非金属材料 and 器件的表面裂纹等缺陷；
- ⑥ 各种金属、非金属容器泄漏的检查；
- ⑦ 在役设备检修时的局部检查。

液体渗透检测不适用于检验多孔性材料或多孔性表面缺陷，因为缺陷显示的图像难以判断。

2.2 渗透检测的原理和方法

2.2.1 液体渗透检测的原理

液体渗透检测的基本原理是依据液体的某些特性为基础，可从四个方面加以叙述。

(1) 渗透 将工件浸渍在渗透液中（或用喷涂、毛刷将渗透液均匀地涂抹于工件表面），如工件表面存在开口状缺陷，渗透液就会沿缺陷内壁逐渐浸润而渗入缺陷内部，如图 2-1(a) 所示。

(2) 清洗 渗透液充分渗入缺陷内以后,用水或溶剂将工件表面多余的渗透液清洗干净,如图 2-1(b) 所示。

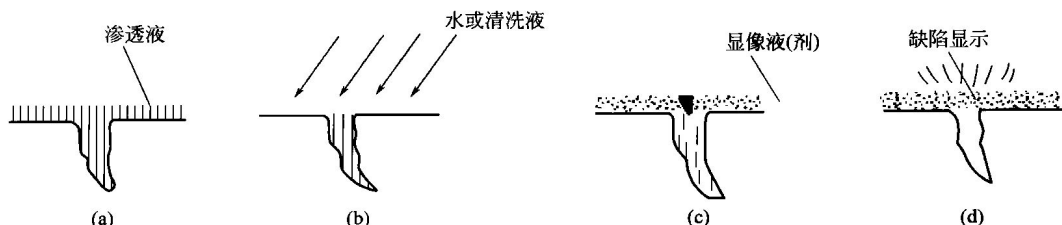


图 2-1 渗透探伤过程

(3) 显像 将显像剂(氧化镁、二氧化硅)配制成显像液并均匀地涂敷在工件表面,形成显像膜,残留在缺陷内的渗透液通过毛细现象的作用被显像膜吸附,在工件表面显示放大的缺陷痕迹,如图 2-1(c) 所示。

(4) 观察 在自然光下(着色渗透法)或在紫外线灯照射下(荧光渗透法),检验人员用目视法进行观察,如图 2-1(d) 所示。

2.2.2 液体渗透检测的方法

2.2.2.1 渗透检测法分类

按照渗透检测法中所使用的渗透液及观察时光线的不同,渗透检测法大致上可以分成荧光渗透检测法、着色渗透检测法两大类,具体分类如图 2-2 所示。

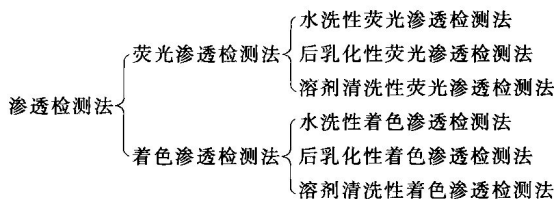


图 2-2 渗透检测法分类

(1) 荧光渗透检测法 荧光渗透检测法使用的渗透检测液是用黄绿色荧光颜料配制而成的黄绿色液体。荧光渗透检测法的渗透、清洗和显像与着色渗透检测法相似,观察则在波长为 365nm 的紫外线照射下进行,缺陷显示呈现黄绿色的痕迹。

荧光渗透检测法的检测灵敏度较高,缺陷容易分辨,常用于重要工业部门的零件面质量检验。它的缺点是在观察时要求工作场所光线暗淡;在紫外线照射下观察,检测人员的眼睛容易疲劳;紫外线对人体皮肤长期照射有一定的危害;其适应性不如着色渗透检测法。

荧光渗透检测法按清洗方法的不同可分成三种:水洗型(自乳化)、后乳化和溶剂清洗型荧光渗透检测法。按显像方法不同、每种方法又可以进一步分成干法显像和湿法显像。

(2) 着色渗透检测法 着色渗透检测法使用的渗透液是用红色颜料配制成的红色油状液体。在自然光线(白色光线)下观察红色的缺陷显示痕迹。所以在观察时不必使用任何辅助光源,只要在明亮的光线照射下便可进行观察。

着色渗透检测法较荧光渗透检测法使用方便,适用范围广,尤其适用于远离电源和水源的场合。着色渗透检测法的缺点是检测灵敏度较低于荧光渗透检测法。常用于奥氏体不锈钢焊缝(对接焊缝和表面堆焊层)的表面质量检验。

着色渗透检测法按使用的渗透液不同可分成水洗型(自乳化)、后乳化和溶剂清洗型着