



高职高专电子信息类“十一五”规划教材

无损检测仪器与设备

主 编 张咏军
主 审 张咏红



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



中国无损检测学会 中国机械工程学会 中国航空学会 中国船舶学会 中国核能学会 中国兵器学会 中国航天学会 中国航空学会 中国船舶学会 中国核能学会 中国兵器学会 中国航天学会

无损检测仪器与设备

主 编 王 强
副 编 王 强



中国无损检测学会 中国机械工程学会 中国航空学会 中国船舶学会 中国核能学会 中国兵器学会 中国航天学会

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

无损检测仪器与设备

主编 张咏军

参编 邓 延 张新民

主审 张咏红

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书共5章,主要介绍了渗透检测、涡流检测、射线照相检测、超声检测、磁粉检测等常规无损检测设备和器材的基础知识。

考虑到教材的实用性和适用面等问题,作者在编写时特别强调了实际技能性指导。针对无损检测技术发展及实际检测需求,本书详细介绍了无损检测技能型人才应该掌握的基本知识。每章末均附有习题。

本书可作为检测技术及应用专业的高职高专教材,也可作为设计、制造等相关专业的辅助教材,还可作为工程技术人员的参考书。

☆ 本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测仪器与设备/张咏军主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2010.2

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2373-3

I. 无… II. 张… III. ① 无损检验—检测仪表—高等学校:技术学校—教材

② 无损检验—检测器—高等学校:技术学校—教材 IV. TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 236220 号

策 划 毛红兵

责任编辑 王 瑛 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 5.625

字 数 122千字

印 数 1~2000册

定 价 9.00元

ISBN 978-7-5606-2373-3 / TG·0025

XDUP 2665001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高职高专电子信息类“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任：杨 勇

副主任：张小虹

成 员：（按姓氏笔画排列）

马 琳	王 平	王宏军	丛迎九
卢庆林	李常峰	李德家	李文森
刘 勇	张玉莲	张 伟	郭亚红
战德刚	段智毅	祝瑞花	栾春光
曾照香	彭丽英	雷少刚	黎 伟

项目策划：毛红兵

策 划：曹 昉 寇向宏

电子教案：马武装

前 言

无损检测(Non-Destructive Testing, NDT)是指在不损伤被测材料的前提下,检查材料的内在或表面缺陷,测定材料的某些物理量、性能、组织状态等的一种检测。无损检测技术是一门综合的工程技术,广泛用于金属材料、非金属材料、复合材料及其制品以及一些电子元器件的检测,它已经在工业生产、物理研究和生物工程等广大科技领域获得了极大的重视和迅猛发展,成为了控制产品质量、保证设备安全运行等方面极为重要的技术手段。

无损检测技术离不开检测仪器和设备,正确地操作与使用仪器和设备是提高检测结果可靠性的重要因素,从业者必须具备丰富的无损检测仪器与设备的相关知识。

由于高职院校无损检测专业设立时间不长,与之相应的专业建设和教学培训体系建设工作刚刚起步,且市面上也无合适的专业教材可选,为了解决教材缺乏对专业技术人才培养产生的制约作用,作者在充分考虑高职高专院校学生的实际情况和教学特点的基础上,收集相关资料,进行选择、整理,完成了本教材的初稿,并依据教材初稿的试用反馈情况进行重新修订,最终编写完成了本书。

本书共5章:第1章为渗透检测设备,讲述渗透检测装置以及常用试块等内容,为正确使用常规无损检测器材并进行必要的性能校验提供了知识基础;第2章为涡流检测设备与器材,讲述涡流检测线圈、涡流检测仪器、涡流检测辅助装置、试样以及检测仪器(系统)的性能评价等内容;第3章为射线照相检测设备与器材,讲述X射线机、 γ 射线机、加速器、工业射线胶片、增感屏和像质计等内容;第4章为超声检测设备与器材,讲述超声检测设备、超声波探头、耦合剂、试块等的组成或结构、原理、特性、性能检测等内容;第5章为磁粉检测仪器与设备,讲述磁粉检测设备的分类、安装、使用、维护以及磁粉、磁悬液的性能要求、试块等内容。

本书由西安航空职业技术学院张咏军担任主编,中航工业西飞公司张咏红担任主审。第1、2、3章由张咏军编写,第4章由中航工业西飞公司邓延编写,第5章由中国飞行试验研究院张新民编写。

本书在编写过程中,特别参考了《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》,在此向所列参考文献的各位作者表示真挚的感谢!

因作者水平所限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2009年12月

目 录

第 1 章 渗透检测设备	1
1.1 渗透检测装置	1
1.1.1 固定式渗透检测装置	1
1.1.2 便携式渗透检测装置	4
1.1.3 整体式渗透检测装置	4
1.1.4 静电喷涂装置	5
1.2 试块	5
1.2.1 铝合金淬火裂纹试块	6
1.2.2 不锈钢镀铬裂纹试块	6
1.2.3 黄铜板镀镍铬层裂纹试块	7
1.2.4 自然缺陷试块	7
1.2.5 吹砂钢试块与组合试块	7
1.3 黑光灯	8
1.3.1 黑光灯的结构	8
1.3.2 使用黑光灯的注意事项	9
1.4 黑白光检测仪器	9
1.4.1 黑光辐照度检测仪	9
1.4.2 白光照度计	10
习题	11
第 2 章 涡流检测设备与器材	12
2.1 涡流检测线圈	12
2.1.1 检测线圈的分类及特点	12
2.1.2 涡流信号的形成	14
2.2 涡流检测仪器	15
2.2.1 检测仪器的分类	15
2.2.2 检测仪器的组成及各部分的作用	15
2.2.3 检测信号的分析与处理技术	17
2.2.4 智能化的涡流检测仪器	19
2.3 涡流检测辅助装置	19
2.3.1 磁饱和装置	19
2.3.2 试样传动装置	20
2.3.3 探头驱动与标记装置	20
2.4 标准试样与对比试样	21

2.4.1 涡流探伤	21
2.4.2 电导率的测量与分选	22
2.4.3 膜层厚度测量	22
2.5 检测仪器(系统)的性能评价	23
2.5.1 涡流探伤仪的性能测试与评价	23
2.5.2 涡流电导仪的性能测试与评价	23
2.5.3 涡流测厚仪的性能测试与评价	23
习题	23
第3章 射线照相检测设备与器材	25
3.1 X射线机	25
3.1.1 X射线机的类型	25
3.1.2 X射线机的基本结构	25
3.1.3 X射线机的技术性能	28
3.1.4 X射线机的使用与维护	30
3.2 γ 射线机	31
3.2.1 γ 射线机的类型	31
3.2.2 γ 射线机的基本构成	31
3.2.3 γ 射线机的使用	33
3.3 加速器	33
3.3.1 电子感应加速器	33
3.3.2 电子直线加速器	34
3.3.3 电子回旋加速器	35
3.4 工业射线胶片	35
3.4.1 射线胶片的结构	35
3.4.2 胶片的主要感光特性与感光特性曲线	36
3.4.3 射线胶片的分类与选用	38
3.5 射线照相检测常用的其他设备和器材	39
3.5.1 增感屏	39
3.5.2 像质计	40
3.5.3 其他设备和器材	43
3.6 X射线实时成像检测设备	44
3.6.1 X射线实时成像检测机理	44
3.6.2 X射线实时成像设备构成	44
习题	45
第4章 超声检测设备与器材	46
4.1 超声检测设备	46
4.1.1 A扫描、B扫描与C扫描	46
4.1.2 A型脉冲反射式超声检测仪	49
4.1.3 数字式超声检测仪	50

4.1.4 自动检测设备	52
4.2 超声波探头	52
4.2.1 压电效应与压电材料	52
4.2.2 探头的结构及各部分的作用	54
4.2.3 探头的主要种类	55
4.2.4 探头电缆线	57
4.3 耦合剂	58
4.3.1 耦合剂的作用	58
4.3.2 常用耦合剂	58
4.4 试块	58
4.4.1 试块的分类	58
4.4.2 标准试块	59
4.4.3 对比试块	60
4.5 超声检测仪器与探头的性能	61
4.5.1 超声检测仪的主要性能	61
4.5.2 探头的主要性能	62
4.5.3 超声检测仪和探头的组合性能	63
4.6 超声检测仪、探头及其组合性能的测试方法	64
4.6.1 超声检测仪性能的测试方法	64
4.6.2 探头性能的测试方法	64
4.6.3 超声检测仪与探头组合性能的测试方法	65
习题	66
第5章 磁粉检测仪器与设备	67
5.1 磁粉检测设备的分类	67
5.2 磁粉检测设备的主要组成	67
5.2.1 磁化电源装置	67
5.2.2 夹持装置	68
5.2.3 指示与控制装置	68
5.2.4 磁粉施加装置	68
5.2.5 照明装置	69
5.2.6 退磁装置	69
5.3 磁粉	70
5.3.1 磁粉的种类	70
5.3.2 磁粉的性能	70
5.3.3 磁粉的性能测定	71
5.4 磁悬液	72
5.4.1 磁悬液的性能要求	72
5.4.2 载液	73
5.4.3 磁悬液浓度及其测定	73

5.4.4 磁悬液的配制 74

5.4.5 磁悬液的使用与维护 74

5.5 标准试块 75

5.5.1 标准试块的作用 75

5.5.2 人工缺陷标准试片 75

5.5.3 缺陷标准试块 76

5.5.4 自然缺陷试块和专用试块 77

5.5.5 试块使用维护注意事项 77

5.6 测量设备与器材 77

5.6.1 磁性材料测量仪器 77

5.6.2 表面磁场测量仪器 77

5.6.3 测光仪器 78

5.6.4 磁粉与磁悬液测定仪器及装置 78

习题 79

参考文献 80

第 1 章 渗透检测设备

渗透检测是无损检测五大常规方法之一，用于检测零件表面开口缺陷。由于这种方法几乎不受被检零件的材料、形状、大小、检验部位及周围环境的限制，因此被广泛用于金属、陶瓷、玻璃、塑料等行业的零部件探伤。渗透检测线主要由若干多功能组合槽、管道系统、零件吊挂输送系统和自动控制系统组成，设有预处理系统、渗透滴落、预清洗、乳化、清洗、干燥、显像、观察、后处理和污水处理等设备。

1.1 渗透检测装置

渗透检测装置有固定式渗透检测装置、便携式渗透检测装置、整体式渗透检测装置、静电喷涂装置、加载试验装置、自动化或半自动化渗透检测装置等。

1.1.1 固定式渗透检测装置

当零件数量较多、要求布置流水作业线时，一般采用固定式渗透检测装置。固定式渗透检测装置由一系列分离的装置组成，这些分离的装置包括预清洗装置、渗透装置、乳化装置、水洗装置、干燥装置、显像装置和检查室等。

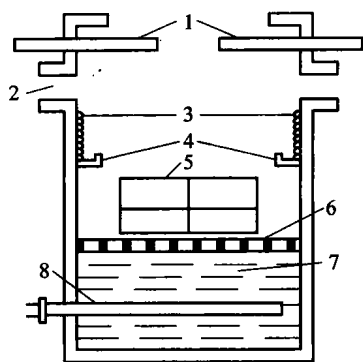
1. 预清洗装置

常用的预清洗装置有三氯乙烯蒸气除油槽、碱性或酸性腐蚀槽、超声波清洗装置等。

三氯乙烯蒸气除油槽的结构如图 1-1 所示，槽中的三氯乙烯液体被加热器加热至沸腾，产生三氯乙烯蒸气，槽的上部是蛇形管冷凝器，蛇形管内不断地通冷水冷却，使三氯乙烯蒸气在冷凝器上冷凝成液体，从而保证三氯乙烯蒸气不再上升，并使其保持在一定的水平面上，被冷凝的三氯乙烯液体被收集后流回槽中重复使用。槽壁装有温度控制器，当三氯乙烯蒸气上升时，温度控制器能自动切断电源，起到安全保护作用。槽的上部有抽风口，可抽掉挥发在槽口的三氯乙烯蒸气。

使用三氯乙烯蒸气除油槽时，应注意如下几点：

- (1) 要保持除油槽的清洁，防止槽液与污染物发生化学反应而呈酸性。
- (2) 操作零件进出槽口要缓慢，防止过多的蒸气被带出槽外。
- (3) 要经常添加三氯乙烯，防止加热器露出液面，引起过热而产生剧毒气体。
- (4) 操作现场禁止抽烟，防止吸入有毒气体。

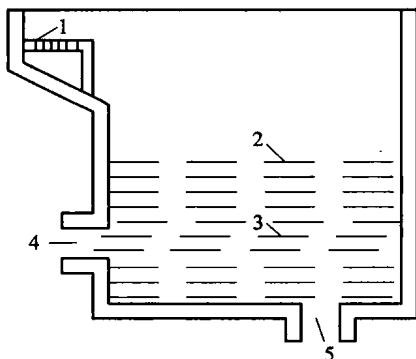


1—滑动盖板；2—抽风口；3—冷凝管；4—冷凝集液槽；
5—零件筐；6—格栅；7—三氯乙烯；8—加热器

图 1-1 三氯乙烯蒸气除油槽的结构

2. 渗透装置

渗透装置主要包括渗透剂槽、滴落架等，如图 1-2 所示。其中渗透剂槽体一般用铝合金或不锈钢薄板制成，滴落架一般直接安装在渗透液槽上，并与其成为一体，这样既能使滴落的渗透剂直接流到渗透剂槽中，又能为实际操作提供一个操作位置。



1—滴落架；2—正常液面标记；3—渗透液；4—排液口；5—排渣口

图 1-2 带滴落架的渗透装置

3. 乳化装置

乳化装置与渗透装置相似，但乳化装置中需安装搅拌器，供定期或不定期地对乳化剂进行搅拌时使用。

4. 水洗装置

常用的水洗装置主要有搅拌水槽、喷洗槽等，如图 1-3 所示。其槽体是由普通钢板或不锈钢板焊接而成的，槽底水平安放管子，管子上有孔眼，空气通过孔眼进入槽底。为了控制槽中水温、水压，槽壁安装有水温表和水压表。清洗喷嘴安装在槽的侧面，喷嘴的角度可以调节，使用时会形成扇形喷射水流，喷洗后的水从槽的底部流出。

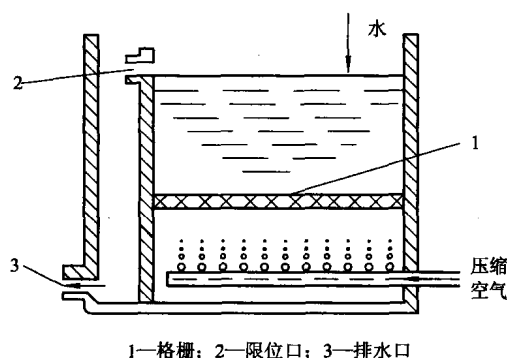


图 1-3 水洗装置

5. 干燥装置

常用的干燥装置是热空气循环干燥器，它是由加热器、循环风扇、恒温控制系统所组成的，如图 1-4 所示。

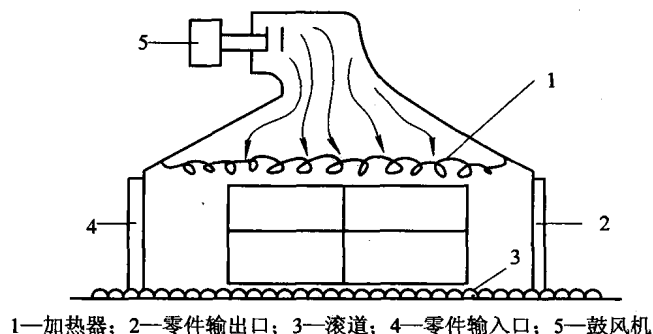


图 1-4 罩式热空气循环干燥器

6. 显像装置

显像装置分为湿式显像装置和干式显像装置两大类。

湿式显像装置的结构与渗透剂槽相似，也是由槽体和滴落架组成的，显像槽中安装浆式搅拌器，以进行不定期的搅拌。

常用的干式显像装置有喷粉柜或喷粉槽等，如图 1-5 所示。柜内装有支撑零件用的格栅，底部装有显像粉，加热器使柜中的显像粉保持干燥松散状态，压缩气管下方有孔眼，当通入压缩空气时，压缩空气将显像粉吹扬起来形成雾状，充满密封柜的全部空间。

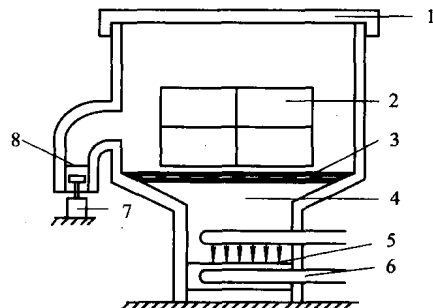


图 1-5 喷粉柜结构示意图

7. 检查室

采用荧光法检测时，必须有暗室，为解释、评定缺陷，室内还应配备有标准的黑光源和白光照明装置。

1.1.2 便携式渗透检测装置

便携式渗透检测装置便于携带、使用方便，适用于现场检测或大型零件的局部检测。

1. 便携式装置的构成

便携式装置主要由渗透剂喷罐、清洗剂喷罐、显像剂喷罐、检测灯等部分组成。若采用荧光法检测，则所用检测灯应为黑光灯；若采用着色法检测，则所用检测灯应为白光灯。

2. 喷罐的结构

喷罐的结构如图 1-6 所示，在喷罐内封装渗透检测材料的同时，按一定的比例装入了气雾剂(如乙烷、氟利昂等)，气雾剂在常温下会汽化，形成压力。使用时，只要压下头部的阀门，渗透检测材料就会从头部的喷嘴自动喷出。喷罐内部的压力随渗透检测材料的种类和温度的不同而异，温度越高，压力越大。

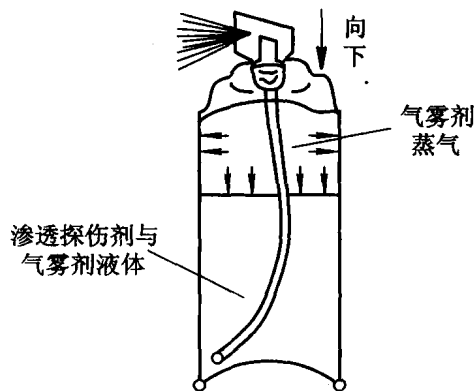


图 1-6 喷罐的结构

3. 使用喷罐的注意事项

(1) 喷嘴与被测件表面之间应保持一定的距离。在渗透检测材料刚从喷嘴喷出时，由于气流集中，渗透检测材料呈液滴状而还未形成雾状，距离太近，会使渗透检测材料施加不均匀。

(2) 喷罐不宜放在靠近火源、热源处。

(3) 对于废弃的喷罐，应破坏空罐密封性后再遗弃。

1.1.3 整体式渗透检测装置

整体式渗透检测装置占地面积小，各部分连接紧凑，既适于连续的大批量中小型零件的渗透检测，也便于进行自动检测。

1.1.4 静电喷涂装置

1. 静电喷涂原理

喷枪接通负高压，使喷出的渗透剂或显像剂带负电，零件接地为阳极，在高压静电场的作用下，使渗透剂或显像剂吸附到零件表面上，如图 1-7 所示。

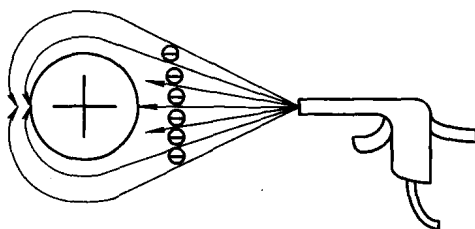


图 1-7 静电喷涂法示意图

2. 静电喷涂装置

静电喷涂装置由负高压发生器、高压空气泵、粉末漏斗柜及喷枪等组成。

(1) 负高压发生器供给喷枪负高压，发生器中装有过电流自动保护装置。

(2) 高压空气泵将渗透剂加压后送入喷枪中进行喷涂。

(3) 粉末漏斗柜用来将显像粉压入喷枪中进行喷粉显像。

(4) 喷枪用于喷涂渗透剂或显像粉。喷枪柄上装有低压开关，与静电发生器上的继电器相连接，开关打开时，继电器工作，产生静电，渗透剂或显像粉到达喷枪头上。枪柄上还安装有触发安全锁，以保证偶然掉地或碰撞时，渗透剂或显像剂不会喷射出来。

3. 静电喷涂的特点

(1) 静电喷涂可使渗透检测材料均匀地分布在零件表面上，并增加其对零件表面的附着力，因而灵敏度可相应提高。

(2) 渗透检测材料喷射量的 70% 以上都能够吸附到零件上，若喷涂速度调节得当，很少会有液滴或粉末飞出静电场，既可大量节约渗透检测材料，又可减少环境污染，保持工作场所的清洁。

(3) 采用同工位操作，不需要渗透液槽、显像粉柜等一系列容器，占地面积小。

1.2 试 块

常用试块类型主要为铝合金淬火裂纹试块、不锈钢镀铬裂纹试块、黄铜板镀镍铬层裂纹试块、自然缺陷试块、吹砂钢试块与组合试块。在渗透检测中，试块主要有以下几个作用：

(1) 评价所用渗透剂等级、渗透检测系统和工艺的灵敏度。

(2) 确定渗透检测的工艺参数。

(3) 比较不同渗透检测系统的相对优劣。

1.2.1 铝合金淬火裂纹试块

铝合金淬火裂纹试块也称 A 型试块，其形状如图 1-8 所示。它主要用于对比试验，可在同一工艺条件下，比较两种不同的渗透检测系统的灵敏度，也可使用同一组渗透检测材料，在不同的工艺条件下进行工艺灵敏度试验。理论上，试块刻槽两侧上的裂纹形状和分布应是对称的，但实际上有时会有所不同，因此，使用时应予以注意。

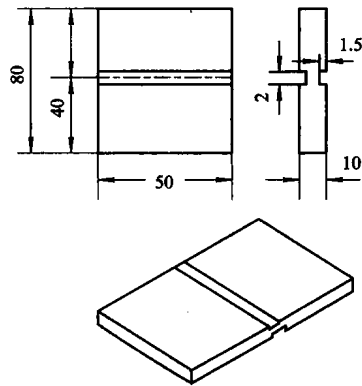


图 1-8 铝合金淬火裂纹试块

铝合金淬火裂纹试块的优点是制作简单，在同一试块上可具有多种尺寸的裂纹，且形状类似于自然裂纹。其缺点是裂纹尺寸较大且不能控制，试块表面易氧化，清洗效果不佳，多次使用后重现性较差。因此，铝合金淬火裂纹试块不适用于渗透检测材料的灵敏度鉴别，且使用次数不能多于 3 次。

1.2.2 不锈钢镀铬裂纹试块

不锈钢镀铬裂纹试块又称 B 型试块，其形状如图 1-9 所示。它主要用于校验操作方法与工艺系统的灵敏度。其具体做法是：按预先规定的工艺程序对 B 型试块进行渗透检测，再把实际的显示图像与标准工艺图像照片相比较，从而评定操作方法正确与否或确定工艺系统的灵敏度。

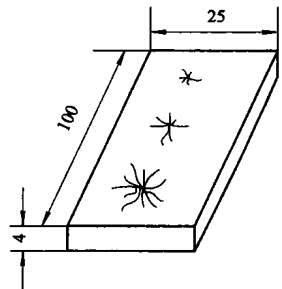


图 1-9 不锈钢镀铬裂纹试块

这种试块的优点是裂纹深度尺寸可控，一般不超过镀铬层厚度，在同一试块上可具有多种尺寸的裂纹，制作工艺简单，重复性好，使用方便。其缺点是由于试块检测面没有分开，故不便于比较不同渗透检测材料或不同工艺方法灵敏度的优劣。

1.2.3 黄铜板镀铬层裂纹试块

黄铜板镀铬层裂纹试块又称 C 型试块, 其形状如图 1-10 所示。它既可用于某一渗透检测系统性能的对比试验和校验, 也能进行两个渗透检测系统的性能比较。当进行对比试验时, 不仅要评价缺陷条纹的完整性, 还要评价试块上显示的亮度、清晰度和灵敏度。

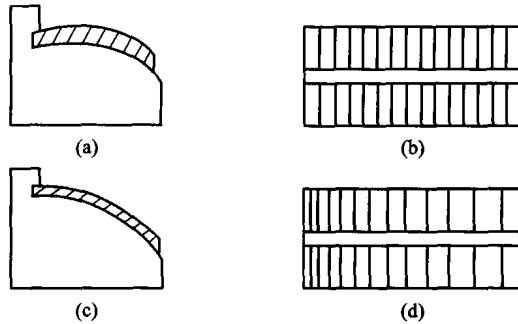


图 1-10 黄铜板镀铬层裂纹试块及弯曲夹具示意图

(a) 圆柱面夹具; (b) 等距离分布的裂纹; (c) 非圆柱面夹具; (d) 由密到疏排列的裂纹

这种试块的优点是裂纹较浅, 易于清洗, 不易被堵塞, 可多次重复使用。其缺点是试块的镀层表面光洁, 使表面多余的渗透液易于清洗, 与实际零件的检验情况差异较大, 因而所得结论不能认为可等同于在工业检测零件上所获得的结果; 制作比较困难, 特别是裂纹尺寸的有效控制更为困难; 在制造过程中, 不会生成两块完全相同裂纹尺寸的试块, 因此, 使用时应予以注意。

1.2.4 自然缺陷试块

为克服人工裂纹试块与实际被检零件两者的表面粗糙度、清洗状况及检验情况相差较大的缺点, 可选择带有缺陷的零件与人工裂纹试块一起使用。

选择自然缺陷试块时应注意以下几点:

- (1) 应选择有代表性的零件作为缺陷试块。
- (2) 试块上所带的缺陷应有代表性。
- (3) 最好选择带有细小裂纹和其他细小缺陷的试件, 同时, 还要选择浅而宽的开口缺陷试件。
- (4) 选择好缺陷试件后, 应用草图或照相的方法记录好缺陷的位置和大小, 以备校验时对照。

1.2.5 吹砂钢试块与组合试块

吹砂钢试块主要用于渗透剂的清洗性能校验和去除剂的去除性能校验, 也用于校验去除零件表面多余渗透剂的工艺方法是否妥当。

还可将不锈钢镀铬五点裂纹试块与吹砂钢试块等两种不同的试块组合在一起, 构成组合试块, 用于监测渗透检测系统性能的变化。由普惠飞机公司研制的 PSM 试块的示意图如图 1-11 所示。