

DINDT

无损检测综合知识

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材

无损检测综合知识

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

主 编 王自明

主 审 张 引



机械工业出版社

本书是《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》中的一本。内容包括：无损检测概论；无损检测应用所需材料、工艺及缺陷的实用知识；无损检测人员资格鉴定与认证的主要内容。

本书可供无损检测Ⅱ、Ⅲ级人员和参加培训及考核的师生使用，也可供质量管理人员、大专院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

无损检测综合知识/《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会编. —北京：机械工业出版社，2004.10

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材
ISBN 7-111-15418-5

I.无 ... II.国 ... III. 无损检验—技术培训—教材
IV.TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 105643 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：吕德齐 武江

责任印制：石冉

北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1 092mm 1/16·16.25 印张·367 千字

0 001—4 000 册

定价：32.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

编审委员会

主 任：马恒儒

副主任：陶春虎 郑 鹏

成 员：（以姓氏笔画为序）

王自明 王任达 王跃辉 史亦韦 叶云长 叶代平 付 洋
任学冬 吴东流 吴孝俭 何双起 苏李广 杨明纬 林猷文
郑世才 徐可北 钱其林 郭广平 章引平

审定委员会

主 任：吴伟仁

副主任：徐思伟 耿荣生

成 员：（以姓氏笔画为序）

于 岗 王海岭 王晓雷 王 琳 史正乐 任吉林 朱宏斌
朱春元 孙殿寿 刘战捷 吕 杰 花家宏 宋志哲 张京麒
张 鹏 李劲松 李荣生 庞海涛 范岳明 赵起良 柯 松
宫润理 徐国珍 徐春广 倪培君 贾慧明 景文信

编委会办公室

主 任：郭广平

成 员：（以姓氏笔画为序）

任学冬 朱军辉 李劲松 苏李广 徐可北 钱其林

序 言

无损检测技术是产品质量控制中不可缺少的基础技术,随着产品复杂程度增加和对安全性保证的严格要求,无损检测技术在产品质量控制中发挥着越来越重要的作用,已成为保证军工产品质量的有力手段。无损检测应用的正确性和有效性一方面取决于所采用的技术和设备的水平,另一方面在很大程度上取决于无损检测人员的经验和能力。无损检测人员的资格鉴定是指对报考人员正确履行特定级别无损检测任务所需知识、技能、培训和实践经历所作的验证;认证则是对报考人员能胜任某种无损检测方法的某一级别资格的批准并作出书面证明的程序。对无损检测人员进行资格鉴定是国际通行做法。美国、欧洲等发达国家都建立了有关无损检测人员资格鉴定与认证标准,国际标准化组织 1992 年 5 月制定了国际标准 ISO 9712,规定了人员取得级别资格与所能从事工作的对应关系,通过人员资格鉴定与认证对其能力进行确认。无损检测人员资格鉴定与认证对确保产品质量的重要性日益突出。

改革开放以来,船舶、核能、航天、航空、兵器、化工、煤炭、冶金、铁道等行业先后开展了无损检测人员资格鉴定与认证工作,对提高无损检测人员素质,确保产品质量发挥了重要作用。随着社会主义市场经济体制不断完善,国防科技工业管理体制改革逐步深化,技术进步日新月异,特别是高新技术武器装备科研生产对质量工作提出的新的更高要求,现有的无损检测人员资格鉴定与认证工作已经不能适应形势发展的要求。未来十年是国防科技工业实现跨越发展的重要时期,做好无损检测人员资格鉴定与认证工作对确保高新技术武器装备研制生产的质量具有极为重要的意义。

为进一步提高国防科技工业无损检测技术保障水平和能力,“国防科工委关于加强国防科技工业技术基础工作的若干意见”提出了要研究并建立与国际惯例接轨,适应新时期发展需要的国防科技工业合格评定制度。2002 年国防科技工业无损检测人员的资格鉴定与认证工作全面启动,各项工作稳步推进,2002 年 11 月正式颁布 GJB 9712—2002《无损检测人员的资格鉴定与认证》;2003 年 8 月出版了《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》;2003 年 9 月国防科工委批准成立国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证委员会,授权其统一管理和实施承担武器装备科研生产的无损检测人员资格鉴定与认证工作,标志着国防科技工业合格评定制度的建立开始迈出了重要的第一步。鉴于国内尚无一套能满足 GJB 9712 和《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》要求的教材,为了做好国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考核工作,国防科工委科技与质量司组织有关专家编写了这套国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材。

本套教材比较全面、系统地体现了 GJB 9712—2002《无损检测人员的资格鉴定与

认证》和《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》的要求，包括了对无损检测 I、II、III 级人员的培训内容，以 II 级要求内容为主体，注重体现 III 级所要求的深度和广度，强调实际应用；同时教材体现了国防科技工业无损检测工作的特色，增加了典型应用实例、典型产品及事故案例的介绍，并力图反映无损检测专业技术发展的最新动态。全套教材共 11 册，包括《无损检测综合知识》、《涡流检测》、《渗透检测》、《磁粉检测》、《射线检测》、《超声检测》、《声发射检测》、《计算机层析成像检测》、《全息和散斑检测》、《泄漏检测》和《目视检测》。

由于无损检测技术涉及的基础科学知识及应用领域十分广泛，而且计算机、电子、信息等新技术在无损检测中的应用发展十分迅速，教材编写难度较大。加之成书比较仓促，难免存在疏漏和不足之处，恳请培训教师和学员以及读者不吝指正。愿本套教材能够为国防科技工业无损检测人员水平的提高和促进无损检测专业的发展起到积极的推动作用。

本套教材参考了国内同类教材和培训资料，编写过程中得到许多国内同行专家的指导和支持，谨此致谢。

《国防科技工业无损检测人员
资格鉴定与认证培训教材》编审委员会

2004 年 3 月

前 言

根据“国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材”的编写要求和分工,我们承担了《无损检测综合知识》教材编写,并贯彻以下编制原则:一是紧密围绕考试大纲,强调实用;二是突出共性并体现国防科技工业无损检测工作特色;三是教材内容按照无损检测概论,材料、工艺及缺陷,人员资格鉴定与认证三部分进行编排。

全书设三篇和一个附录。第一篇“无损检测概论”分为七章:第1章概述无损检测及其在国防科技工业中的作用,描述国防科技工业中已实际应用的10种无损检测方法,说明无损检测方法的选择原则;第2章至第6章介绍五大常规无损检测方法——涡流检测、液体渗透检测、磁粉检测、射线照相检测和超声检测的物理原理、设备器材、检测技术和实际应用;第7章简介无损检测质量控制的实用知识;第二篇“材料、工艺及缺陷”分为四章:第8章介绍材料、工艺及缺陷的初步知识;第9章重点介绍国防科技工业中大量使用的主要金属结构材料——钢铁材料(非合金钢、低合金钢和合金钢)、高温合金材料、轻金属材料(铝合金、钛合金和镁合金)的分类、特点与应用、产品牌号表示方法等,对复合材料和火炸药也作了简单介绍;第10章介绍武器装备和主导民品制造涉及的基本工艺——金属铸造、金属塑性加工、金属焊接、粉末冶金、金属热处理、机械加工、金属腐蚀与防护的典型工艺方法;第11章介绍基本工艺可能产生的常见缺陷。第三篇“人员资格鉴定与认证”介绍国家军用标准 GJB 9712《无损检测人员的资格鉴定与认证》的主要内容。附录列出了20幅典型缺陷照片,说明这些缺陷的主要特征及五大常规无损检测方法的适用性和局限性,其意图在于使读者意识到影响有效无损检测方法选择的诸多因素。

本书第2章至第7章依次由徐可北和周俊华、宫润理、宋志哲、郑世才、史亦韦、王自明和张引编写,第1章、第8章~13章和附录由王自明编写。全书由王自明整理定稿。张引担任主审,陶春虎、郑鹏参加了审定工作。

本书定位为所有无损检测方法Ⅱ、Ⅲ级人员的综合知识教材,全书按照对Ⅲ级人员的要求编写,带“*”号部分可供Ⅱ级人员学习。

编写组对有关参考文献的作者,对所有热情关心、支持和指导本教材编写的领导、专家和朋友们表示衷心感谢。

限于编者水平,错误和疏漏恐在所难免,热诚欢迎培训教师、学员和读者提出宝贵意见。

《无损检测综合知识》编写组

2004年5月

目 录

序言

前言

第一篇 无损检测概论

第1章 概述	1	2.3.1 检测线圈	18
*1.1 无损检测	1	2.3.2 检测仪器	19
*1.2 常规无损检测方法	2	2.3.3 辅助装置	20
1.2.1 涡流检测	2	2.3.4 标准试样与对比试样	20
1.2.2 液体渗透检测	2	2.4 检测技术	23
1.2.3 磁粉检测	3	2.4.1 缺陷检测	23
1.2.4 射线照相检测	4	2.4.2 电导率测量与材质鉴别	26
1.2.5 超声检测	5	2.4.3 厚度测量	27
1.3 其他无损检测方法	6	2.5 实际应用	27
1.3.1 声发射检测	6	2.5.1 原材料检测	27
1.3.2 计算机层析成像检测	7	2.5.2 零件检测	28
1.3.3 全息干涉/错位散 斑干涉检测	8	2.5.3 核设施检测	29
1.3.4 泄漏检测	10	2.5.4 铝合金电导率测量	29
1.3.5 目视检测	10	复习题	30
1.3.6 红外检测	10	第3章 液体渗透检测	31
1.4 无损检测技术进展	11	3.1 概述	31
1.5 无损检测方法的选择	12	3.2 物理基础	31
复习题	14	3.2.1 毛细管作用	31
第2章 涡流检测	16	3.2.2 乳化现象	32
2.1 概述	16	3.2.3 黑光和荧光	32
2.2 物理基础	16	3.2.4 对比度和可见度	32
2.2.1 电阻率和电导率	16	3.3 设备器材	33
2.2.2 电磁感应现象	17	3.3.1 检测设备	33
2.2.3 法拉第电磁感应定律	17	3.3.2 检测器材	33
2.2.4 涡流	18	3.3.3 光学仪器	35
2.2.5 集肤效应与透入深度	18	3.3.4 标准试块	36
2.3 设备器材	18	3.4 检测技术	37
		3.4.1 渗透检测的时机	37

3.4.2 检测工艺流程	37	5.2.1 射线分类	57
3.4.3 预处理	38	5.2.2 X射线与 γ 射线 的主要性质	58
3.4.4 渗透处理	38	5.2.3 光子与物质 的相互作用	58
3.4.5 去除处理	39	5.2.4 射线衰减规律	59
3.4.6 干燥处理	40	5.2.5 影像质量的基本因素	60
3.4.7 显像处理	40	5.2.6 射线照相检测技术的 基本原理与灵敏度	62
3.4.8 检验	41	5.3 设备器材	63
3.4.9 后处理	42	5.3.1 X射线机	63
3.5 实际应用	43	5.3.2 常用 γ 射线源的主要特性	64
复习题	43	5.3.3 工业射线胶片	65
第4章 磁粉检测	45	5.3.4 像质计	67
4.1 概述	45	5.4 检测技术	68
4.2 物理基础	46	5.4.1 射线照相检测工艺的基本过程	68
4.2.1 磁粉检测中的 相关物理量	46	5.4.2 射线照相检测的 基本透照布置	68
4.2.2 电流的磁场	47	5.4.3 透照参数	69
4.2.3 磁介质	47	5.4.4 缺陷识别	70
4.2.4 铁磁性材料	48	5.4.5 典型工件射线照相检测技术	70
4.2.5 退磁场	48	5.4.6 辐射防护	71
4.2.6 漏磁场	48	5.5 实际应用	72
4.3 设备器材	48	复习题	73
4.3.1 磁粉检测设备	48	第6章 超声检测	74
4.3.2 测量仪器	49	6.1 概述	74
4.3.3 磁粉与磁悬液	49	6.2 物理基础	75
4.3.4 标准试片与标准试块	49	6.2.1 超声波的一般特性	75
4.4 检测技术	51	6.2.2 超声波入射到界面上 的行为	77
4.4.1 连续法和剩磁法	51	6.2.3 超声波的声场	78
4.4.2 湿法和干法	51	6.2.4 超声波在传播过程中的衰减	79
4.4.3 磁化方法和磁化电流	52	6.3 设备器材	79
4.4.4 退磁	54	6.3.1 超声检测仪	79
4.4.5 磁痕分析	54	6.3.2 探头	81
4.4.6 磁粉检测的质量控制	54	6.3.3 水浸自动检测系统	82
4.5 实际应用	55	6.3.4 标准试块与对比试块	83
复习题	55	6.4 检测技术	84
第5章 射线照相检测	57		
5.1 概述	57		
5.2 物理基础	57		

6.4.1 脉冲反射法与穿透法	85	6.5.6 焊接件检测	91
6.4.2 直射声束法与斜射声束法	86	6.5.7 复合材料检测	92
6.4.3 接触法与液浸法	86	复习题	92
6.4.4 厚度测量	87	第7章 无损检测质量控制	94
6.4.5 仪器和探头的选择	87	7.1 质量、质量管理 与质量控制	94
6.4.6 检测仪器的调整	87	7.2 无损检测在全过程 质量控制中的作用	95
6.4.7 扫查	88	7.3 无损检测质量 控制相关知识	96
6.4.8 检测结果的评定	88	*7.4 无损检测作业的 质量控制	98
6.5 实际应用	89	复习题	103
6.5.1 铸锭检测	89		
6.5.2 锻件检测	90		
6.5.3 铸件检测	90		
6.5.4 管材检测	91		
6.5.5 板材与棒材的检测	91		

第二篇 材料、工艺及缺陷

第8章 概述	104	8.4.1 缺陷分类	115
*8.1 材料	104	8.4.2 缺陷分析	115
8.1.1 金属材料	104	8.4.3 常见缺陷	115
8.1.2 有机高分子材料	105	8.5 失效	115
8.1.3 无机非金属材料	105	*8.5.1 失效的概念	116
8.1.4 复合材料	106	*8.5.2 失效的类型	116
8.1.5 金属材料的性能	106	8.5.3 机件失效的原因	117
*8.2 工艺	110	8.5.4 决定失效类型与 失效程度的因素	117
8.2.1 装配	111	复习题	118
8.2.2 金属铸造	111	第9章 材料	119
8.2.3 金属塑性加工	111	9.1 金属学的初步知识	119
8.2.4 金属焊接	111	9.1.1 金属材料的结构	119
8.2.5 粉末冶金	112	9.1.2 金属及合金的相图	123
8.2.6 金属热处理	112	9.1.3 金属及合金的结晶	127
8.2.7 机械加工	112	9.1.4 金属及合金的变形、 回复和再结晶	128
8.2.8 特种加工	113	9.1.5 金属及合金的固态转变	129
8.2.9 表面处理	113	9.1.6 金属材料的组织检验	131
*8.3 应力应变	113	9.2 钢	131
8.3.1 应力	113	*9.2.1 非合金钢	131
8.3.2 应力状态	114	9.2.2 低合金钢和合金钢	133
8.3.3 应变	114		
*8.4 缺陷	115		

9.3 高温合金	138	10.4 粉末冶金	164
9.3.1 高温合金分类	139	10.4.1 粉末制取	164
9.3.2 高温合金制备特点	140	10.4.2 粉末成形	165
9.4 轻金属	141	10.4.3 粉末烧结	165
*9.4.1 铝及铝合金	142	10.5 金属热处理	166
9.4.2 钛及钛合金	144	10.5.1 退火	166
9.4.3 镁及镁合金	147	10.5.2 正火	167
9.5 聚合物基复合材料		10.5.3 淬火与固溶处理	168
与蜂窝夹层结构	147	10.5.4 回火和时效处理	169
9.5.1 聚合物基复合材料	147	10.5.5 冷处理	170
9.5.2 蜂窝夹层结构	148	10.6 金属机械加工	170
9.6 火炸药	148	10.7 金属腐蚀与防护	174
9.6.1 火药	149	10.7.1 金属腐蚀	174
9.6.2 炸药	149	10.7.2 表面防护	175
复习题	149	10.8 其他工艺	176
第10章 工艺	151	复习题	177
10.1 金属铸造	151	第11章 缺陷	179
*10.1.1 砂型铸造	151	11.1 金属铸造工艺缺陷	179
10.1.2 金属型铸造	152	11.1.1 铸件缺陷分类	179
10.1.3 熔模铸造	152	*11.1.2 无损检测常	
10.1.4 离心铸造	152	见的铸件缺陷	179
10.1.5 凝壳铸造	152	11.2 金属焊接工艺缺陷	182
10.2 金属焊接	153	*11.2.1 熔焊缺陷	182
*10.2.1 熔焊	153	11.2.2 压焊缺陷	186
10.2.2 压焊	154	11.2.3 钎焊缺陷	187
10.2.3 钎焊	155	11.3 金属塑性加工工艺缺陷	187
10.2.4 焊接接头	155	*11.3.1 锻件缺陷	187
10.3 金属塑性加工	158	11.3.2 轧制产品缺陷	190
*10.3.1 金属塑性加工分类	158	11.3.3 挤压制品缺陷	194
*10.3.2 锻造	159	11.3.4 拉拔钢丝缺陷	196
10.3.3 轧制	161	11.4 粉末冶金工艺缺陷	197
10.3.4 挤压	161	11.5 金属热处理工艺缺陷	197
10.3.5 拉拔	163	11.6 机械加工与特	
10.3.6 冲压	163	种加工工艺缺陷	198
10.3.7 冷弯	164	11.7 其他工艺缺陷	199
10.3.8 旋压	164	11.8 服役缺陷	200
10.3.9 高能率加工	164	复习题	200

第三篇 人员资格鉴定与认证

第 12 章 概述	202	*13.7.2 考试的内容	214
12.1 重要性	202	*13.7.3 考试的进行	215
*12.2 国防科技工业无损检测		13.7.4 考试的评分	215
人员的资格鉴定与认证	202	*13.7.5 考试的合格条件	215
12.3 国家军用标准		*13.7.6 补考和重新考试	216
GJB 9712—2002 的编制原则	204	13.8 认证	216
复习题	204	13.9 有效期和更新认证	217
第 13 章 国家军用标准		*13.9.1 有效期	217
GJB 9712—2002 的主要内容	205	13.9.2 更新认证	217
13.1 范围	205	13.10 其他	218
13.2 术语和定义	205	复习题	218
*13.2.1 操作授权	206	附录 典型缺陷主要特	
13.2.2 资格鉴定、认证、证书	206	征、冶金分析与检测方法	219
13.2.3 认证机构、资格鉴定机构	206	A.1 爆裂	219
13.2.4 报考人、雇主或用人单位	206	A.2 冷隔	220
13.2.5 培训	206	A.3 角裂纹(螺栓)	222
13.2.6 实践经历	206	A.4 磨削裂纹	223
13.2.7 无损检测方法		A.5 回旋管道裂纹	224
和无损检测技术	207	A.6 热影响区裂纹	226
13.2.8 无损检测规程	207	A.7 热处理裂纹	227
13.2.9 资格鉴定考试、		A.8 表面缩裂	228
通用考试、专门考试	207	A.9 螺纹裂纹	229
13.2.10 特殊项目考试	208	A.10 管裂纹	230
13.2.11 学员	208	A.11 氢脆裂纹	232
13.2.12 考试试件	208	A.12 焊接件夹杂	233
*13.3 缩略语	208	A.13 锻件夹杂	234
13.4 资格的级别	209	A.14 未焊透	235
13.4.1 分级	209	A.15 分层	236
*13.4.2 无损检测 I 级	209	A.16 折叠和发纹(1)	237
*13.4.3 无损检测 II 级	209	A.17 折叠和发纹(2)	239
13.4.4 无损检测 III 级	210	A.18 显微缩松	240
13.5 认证的一般原则	210	A.19 气孔	241
*13.6 报考条件	211	A.20 晶间腐蚀裂纹	242
13.7 考试	213	参考文献	244
*13.7.1 考试项目	213		

第一篇 无损检测概论

第1章 概述

*1.1 无损检测

无损检测 (Nondestructive Testing, 缩写为 NDT), 就是研发和应用各种技术方法, 以不损害被检对象未来用途和功能的方式, 为探测、定位、测量和评价缺陷, 评估完整性、性能和成分, 测量几何特征, 而对材料和零 (部) 件所进行的检测。一般来说, 缺陷检测是无损检测中最重要的方面。因此, 狭义而言, 无损检测是基于材料的物理性质因有缺陷而发生变化这一事实, 在不改变、不损害材料和工件的状态和使用性能的前提下, 测定其变化量, 从而判断材料和零部件是否存在缺陷的技术。就是说, 无损检测是利用材料组织结构异常引起物理量变化的原理, 反过来用物理量的变化来推断材料组织结构的异常。它既是一门区别于设计、材料、工艺和产品的相对独立的技术, 又是一门贯穿于武器装备和主导民用产品设计、研制、生产和使用全过程的综合技术。在设计阶段, 用于支持损伤容限设计; 在研制、生产阶段, 用于剔除不合格的原材料、坯料及工序不合格品, 改进制造工艺, 鉴定产品对验收标准的符合性, 判定合格与否; 在在役检测中, 用于监测产品结构和状态的变化, 确保产品运行的安全可靠。在核能、航天、航空、兵器 and 船舶等国防科技工业的产品设计、研制、生产和使用中, 无损检测技术已经获得广泛应用。

由于物理量的变化与材料组织结构的异常不一定是一一对应的, 因此, 不能盲目地使用无损检测, 否则不但不能提高产品的可靠性, 而且要增加制造成本。因而必须掌握无损检测的理论基础, 选用最适当的无损检测方法, 应用正确的检测技术, 在最适当的时机进行检测, 正确评价检测获得的信息, 才能充分发挥其效果。例如要发现锻造及冲压加工所产生的缺陷, 不宜采用射线检测; 对于表面淬火裂纹等则应选用磁粉检测等。此外, 无损检测的时机也是一个重要因素, 例如经过焊接或热处理的某些材料会出现延迟断裂现象, 即在加工或热处理后, 经过几个小时甚至几天才产生裂纹。因此, 必须了解这些情况以确定检测时机。

无损检测的可靠性与被检工件的材质、组成、形状、表面状态、所采用的物理量的性质以及被检工件异常部位的性质、形状、大小、取向和检测装置的特性等关系很大, 而且还受人为因素、标定误差、精度要求、数据处理和环境条件等的影响, 因此, 需要根据不同情况选用不同的物理量, 而且有时往往需要综合考虑几种不同物理量的变化情况, 才能对材料组织结构的异常情况做出可靠的判断。可见, 不管采用哪一种检测方法,

要完全检测出异常部位是十分困难的，而且往往不同的检测方法会得到不同的信息，因此综合应用几种方法可以提高无损检测的可靠性。

根据物理原理的不同，无损检测方法多种多样。工程应用中最普遍采用的有涡流检测（ET）、液体渗透检测（PT）、磁粉检测（MT）、射线照相检测（RT）和超声检测（UT），通称五大常规无损检测方法。其中，射线照相检测和超声检测主要用于检测内部缺陷，磁粉检测和涡流检测可以检测表面和近表面缺陷，液体渗透检测只能检测表面开口缺陷。已获工程应用的其他无损检测方法主要有：声发射检测、计算机层析成像检测、全息干涉/错位散斑干涉检测、泄漏检测、目视检测和红外检测。

*1.2 常规无损检测方法

1.2.1 涡流检测

涡流检测（Eddy Current Testing, ET）是基于电磁感应原理揭示导电材料表面和近表面缺陷的无损检测方法。

当载有交变电流的检测线圈接近被检件时，材料表面和近表面会感应出涡流，其大小、相位和流动轨迹与被检件的电磁特性和缺陷等有关；涡流产生的磁场作用会使线圈阻抗发生变化，测定线圈阻抗即可获得被检件物理、结构和冶金状态的信息。涡流检测可以用于测量或鉴别电导率、磁导率、晶粒尺寸、热处理状态、硬度；检测折叠、裂纹、孔洞和夹杂等缺陷；测量非铁磁性金属基体上非导电涂层的厚度，或者铁磁性金属基体上非铁磁性覆盖层的厚度；还可用于金属材料分选、并检测其成分、微观结构和其他性能的差别。

由于涡流检测有多种敏感反应，一方面应用范围广，另一方面对检测结果的干扰因素多。因此，涡流检测仪器一般都根据不同的检测目的，采用不同的方法抑制干扰信息，提取有用信息，制成不同类型的专用仪器，例如涡流电导仪、涡流探伤仪和涡流测厚仪。涡流检测的主要优点是：非接触，检测速度快，能在高温状态下进行检测；主要局限是：只能检测导电材料；检测灵敏度相对较低。

1.2.2 液体渗透检测

液体渗透检测（Liquid Penetrant Testing, PT）是基于毛细管现象揭示非多孔性固体材料表面开口缺陷的无损检测方法。简称渗透检测。

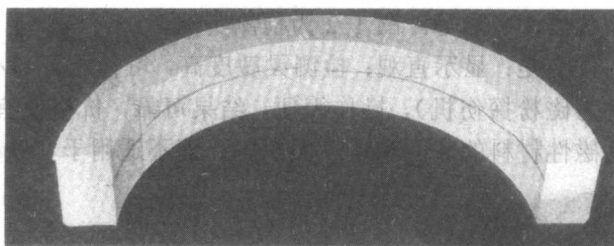
将液体渗透液借助毛细管作用渗入工件的表面开口缺陷中，用去除剂（如水）清除掉表面多余的渗透液，将显像剂喷涂在被检表面，经毛细管作用，缺陷中的渗透液被吸附出来并在表面显示。

液体渗透检测的基本步骤是：预处理、渗透、去除、干燥、显像、检验和后处理。

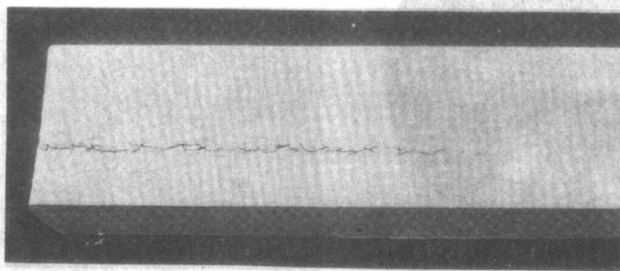
有两种渗透检测方法：荧光渗透检测和着色渗透检测。渗透检测适用于表面裂纹、折叠、冷隔、疏松等缺陷的检测，被广泛用于铁磁性和非铁磁性锻件、铸件、焊接件、机加工件、粉末冶金件、陶瓷、塑料和玻璃制品的检测。图 1-1 是渗透检测实例。

渗透检测在使用和控制方面都相对简单。渗透检测所使用的设备可以是分别盛有渗透液、去除剂、显像剂的简单容器组合，也可以是复杂的计算机控制自动处理和检测系统。

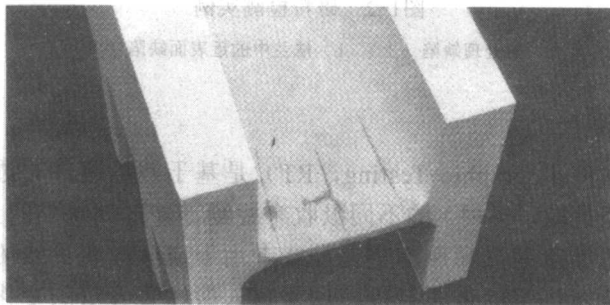
渗透检测的主要优点是：显示直观；操作简单；渗透检测的灵敏度很高，可检出开度小至 $1\mu\text{m}$ 的裂纹。渗透检测的主要局限是：它只能检出表面开口的缺陷；粗糙表面和孔隙会产生附加背景，从而对检测结果的识别产生干扰；对零件和环境有污染。



a)



b)



c)

图1-1 渗透检测显示

a) 分层 b) 焊接缩裂 c) 铝锻件裂纹

1.2.3 磁粉检测

磁粉检测 (Magnetic Particle Testing, MT) 是基于缺陷处漏磁场与磁粉的相互作用而显示铁磁性材料表面和近表面缺陷的无损检测方法。

当被检材料或零件被磁化时，表面或近表面缺陷处由于磁的不连续而产生漏磁场；漏磁场的存在，亦即缺陷的存在，借助漏磁场处聚集和保持施加于工件表面的磁粉形成的显示（磁痕）而被检出；磁痕指示出缺陷的位置、尺寸、形状和程度。施加于工件表面的磁粉可以是干磁粉，也可以是置于载液（例如水载液、油基载液和乙醇载液）中的湿磁粉。

磁粉检测的基本步骤是：预处理、磁化工件、施加磁粉或磁悬液、磁痕分析与评定、退磁和后处理。

磁粉检测可发现的主要缺陷有：各种裂纹、夹杂（含发纹）、夹渣、折叠、白点、分层、气孔、未焊透、疏松、冷隔等。图 1-2 为检测实例。

磁粉检测的主要优点是：显示直观；检测灵敏度高，可检测开口小至微米级的裂纹；设备简单（主要设备为磁粉探伤机），操作简便，结果可靠，价格便宜；磁粉检测的主要局限是：只能检测铁磁性材料的表面和近表面缺陷，而不适用于非铁磁性材料。

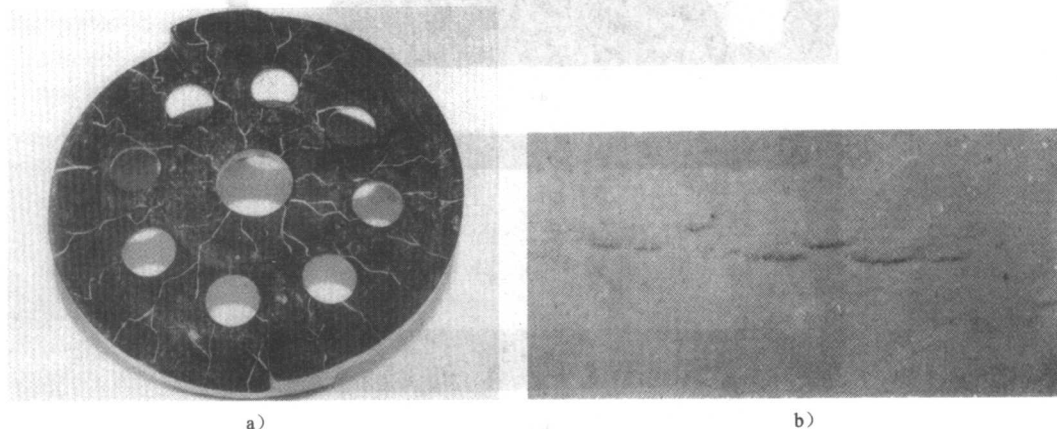


图1-2 磁粉检测实例

a) 热处理缺陷（上） b) 法兰中的近表面缺陷（下）

1.2.4 射线照相检测

射线照相检测（Radiographic Testing, RT）是基于被检测件对透入射线（无论是波长很短的电磁辐射还是粒子辐射）的不同吸收来检测零件内部缺陷的无损检测方法。

由于零件各部分密度差异和厚度变化，或者由于成分改变导致的吸收特性差异，零件的不同部位会吸收不同量的透入射线。这些透入射线吸收量的变化，可以通过专用底片记录透过试件未被吸收的射线而形成黑度不同的影像来鉴别。根据底片上的影像，可以判断缺陷的性质、形状、大小和分布。

射线照相检测主要适用于体积型缺陷，如气孔、疏松、夹杂等的检测，也可检测裂纹、未焊透、未熔合等。工业应用的射线检测技术有三种：X 射线检测、 γ 射线检测和中子射线检测。其中使用最广泛的是 X 射线照相检测，主要设备是 X 射线探伤机，其核心部件是 X 射线管，常用管电压不超过 450kV，对应可检钢件的最大厚度约 70~80mm；当采用加速器作为射线源时，可获得数十兆电子伏的高能 X 射线，可检测厚度 500~600mm 的钢件。图 1-3 为检测实例。

射线照相检测的主要优点是：可检测工件内部的缺陷，结果直观，检测对象基本不受零件材料、形状、外廓尺寸的限制；主要局限是：三维结构二维成像，前后缺陷重叠；被检裂纹取向与射线束夹角不宜超过 10° ，否则将很难检出。

射线的辐射生物效应可对人体造成损伤，必须采取妥善的防护措施。

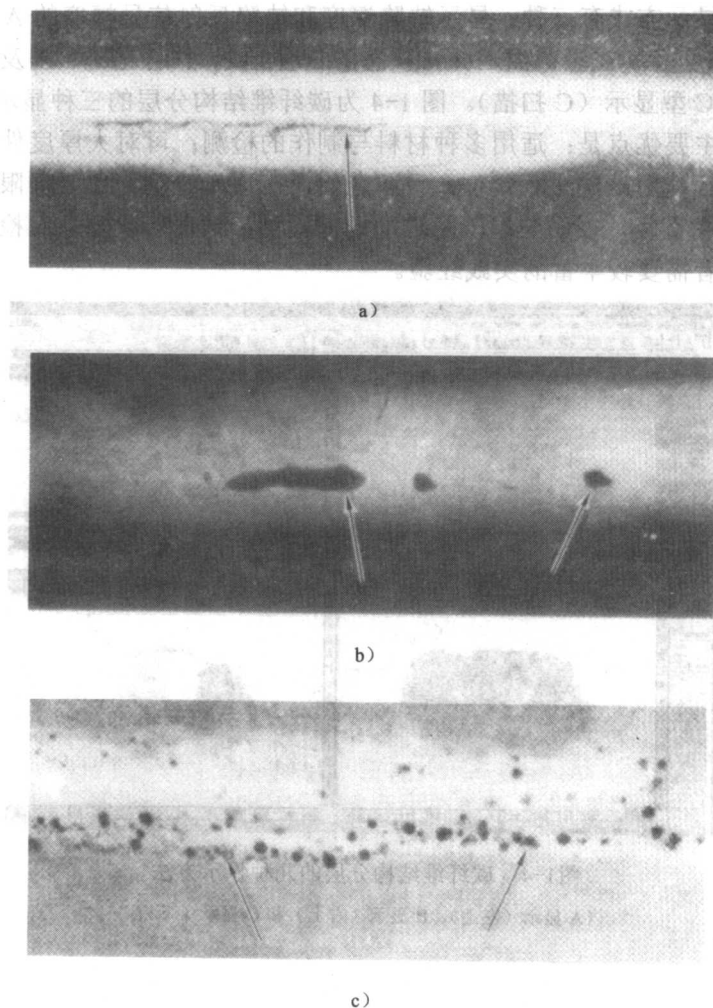


图1-3 射线照相检测实例

a) 纵向裂纹 b) 拉长的孔洞 c) 孔隙

1.2.5 超声检测

超声检测 (Ultrasonic Testing, UT) 是利用超声波 (常用频率为 $0.5 \sim 25\text{MHz}$) 在介质中传播时产生衰减, 遇到界面产生反射的性质来检测缺陷的无损检测方法。

对透过被检件的超声波或反射的回波进行显示和分析, 可以确定缺陷是否存在及其位置以及严重程度。超声波反射的程度主要取决于形成界面材料的物理状态, 而较少取决于材料具体的物理性能。例如, 在金属/气体界面, 超声波几乎产生全反射; 在金属/液体和金属/固体界面, 超声波产生部分反射。产生反射界面的裂纹、分层、缩孔、发纹、脱粘和其他缺陷易于被检出; 夹杂和其他不均匀性由于产生部分反射和散射或产生某种其他可检效应, 也能够被检出。具体检测方法主要有脉冲回波法和超声穿透法, 其中以超声脉冲回波法应用最广。