

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

航空无损检测 综合知识（Ⅱ级）

王自明 编著

 国防工业出版社
National Defense Industry Press

014061658

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

V267
38
V2

航空无损检测综合知识

(Ⅱ级)

王自明 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

V267
38
V2



北航

C1748125

内 容 简 介

本书概述航空无损检测的对象、作用与特点,常规无损检测方法的基本原理、应用范围与局限性以及无损检测质量控制要求;简述航空工业无损检测技术应用所需的航空材料、航空产品制作工艺及航空产品缺陷的基本知识。附录概述金属材料的基础知识,供有需要的读者阅读。

本书为航空无损检测Ⅱ级(中级)人员资格鉴定与认证考试的综合知识培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

航空无损检测综合知识.Ⅱ级/王自明编著. —北京:
国防工业出版社,2014.8

ISBN 978-7-118-09181-6

I. ①航… II. ①王… III. ①航空器-无损检验
IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 156611 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 9 字数 148 千字

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

编审委员会

主 任 李 伟

副主任 李 莉 陶春虎

成 员 (以姓氏笔画为序)

于 浩	王 斌	王宇魁	尹泰伟	叶 勇
史亦韦	吕 健	刘 嘉	刘昌奎	刘晓燕
闫秀芬	杨国腾	杨胜春	杨春晟	李 泽
李 剑	李秀芬	何 军	何玉怀	张世林
张田仓	张学军	张银东	武振林	苗蓉丽
季 忠	金冬岩	胡成江	侯丽华	徐友良
郭广平	郭子静	黄玉光	章菊华	熊 瑛
欧阳小琴				

编审委员会秘书处

主 任 宋晓辉

成 员	马 瑞	马文利	任学冬	李 彦	李 轩
	张文扬	周静怡	赵 梦	盖依冰	焦泽辉
	谢文博	程 琴			

序 言

三千多年前的汉莫拉比法典,就提出了对制造有缺陷产品的工匠给予严厉的处罚,当然,在今天的以人为本的文明世界看来是不能予以实施的。即使在当时,汉莫拉比法典在总体上并没有得到真正有效地实施,其主要原因在于没有理化检测及评定的技术和方法来评价产品的质量以及责任的归属。从公元前 2025 年到世界工业革命前,对产品质量问题处罚的重要特征是以产品质量造成的后果和负责人为对象的,而对产品制造过程和产品质量的辨识只能靠零星、分散、宏观的经验世代相传。由于理化检测和评估技术的极度落后,汉莫拉比法典并没有解决如何判别造成质量问题和失效的具体原因的问题。

近代工业革命给人类带来了巨大物质文明,也不可避免地给人类带来了前所未有的灾难。约在 160 多年前,人们首先遇到了越来越多的蒸汽锅炉爆炸事件,在分析这些失效事故的经验教训中,英国于 1862 年建立了世界上第一个蒸汽锅炉监察局,把理化检测和失效分析作为仲裁事故的法律手段和提高产品质量的技术手段。随后在工业化国家中,对产品进行检测和分析的机构相继出现。材料和结构的检测开始受到重视则是近半个世纪的事情。第二次世界大战及后来的大量事故与故障,推动了力学、无损、物理、化学和失效分析的快速发展,如断裂力学、损伤力学等新兴学科的诞生以及扫描电镜、透射电镜、无损检测、化学分析等大量的先进分析设备等的應用。

勿容置疑,产品的质量可靠性要从设计入手。但就设计而言,损伤容限设计思想的实施就需要由无损检测和设计用力学性能作为保证,产品从设计开始就应考虑结构和产品的可检性,需要大量的材料性能数据作为设计输入的重要依据。

就材料的研制而言,首先要检测材料的化学成分和微观组织是否符合材料的设计要求,性能是否达到最初的基本设想,而化学成分、组织结构与性能之间的协调关系更是研制高性能材料的基础,对于材料中可能存在的缺陷更需要无损检测的识别并通过力学损伤的研究提供判别标准。

就构件制造而言,一个复杂或大型结构需要通过焊接来实现,要求在结构设

计时就对材料可焊性和工艺可实施性进行评估,使选材具有可焊性、焊接结构具有可实施性、焊接接头缺陷具有可检测性,焊接操作者具有相应的技能水平,这样才能获得性能可靠的构件。

检测和焊接技术在材料的工程应用中的作用更加重要。失效分析作为服役行为和对材料研制的反馈作用已被广泛认识,材料成熟度中也已经考虑了材料失效模式是否明确;完善的力学性能是损伤容限设计的基础,材料的可焊性、无损检测和失效模式不仅是损伤容限设计的保证,也是产品安全和可靠使用的保证。因此,理化检测作为对材料的物理化学特性进行测量和表征的科学,焊接作为构件制造的重要方法,在现代军工产品质量控制中具有非常重要的地位和作用,是武器装备发展的重要基础技术。理化检测和焊接技术涉及的范围极其广泛,理论性与实践性并重,在军工产品制造和质量控制中发挥着越来越重要的作用。近年来,随着国防工业的快速发展,材料和产品的复杂程度日益提高,对产品安全性的保证要求越来越严格;同时,理化检测和焊接新技术日新月异,先进的检测和焊接设备大量应用,对理化检测和焊接从业人员的知识、技能水平和实践经验都提出了更高的要求。

为贯彻《军工产品质量管理条例》和 GJB《理化试验质量控制规范》,提高理化检测及焊接人员的技术水平,加强理化实验室的科学管理和航空产品及科研质量控制,中国航空工业集团公司成立了“中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心”,下设物理冶金、分析化学、材料力学性能、非金属材料性能、无损检测、失效分析和焊工七个专业人员资格鉴定委员会,负责组织中航工业理化检测和焊接人员的专业培训、考核与资格证的发放工作。为指导培训和考核工作的开展,中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心组织有关专家编写了中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证系列培训教材。

这套教材由长期从事该项工作的专家结合航空工业的理化检测和焊接技术的需求和特点精心编写而成,包括了上述七个专业的培训内容。教材全面、系统地体现了航空工业对各级理化检测和焊接人员的要求,力求重点突出,强调实用性而又注意保持教材的系统性。

这套教材的编写得到了中航工业质量安全部领导的大力支持和帮助,也得到了行业内多家单位的支持和协助,在此一并表示感谢。

中国航空工业集团公司

检测及焊接人员资格认证管理中心

前 言

基于航空无损检测Ⅱ级(中级)人员资格鉴定与认证对航空无损检测综合知识的要求,本书内容限定为航空无损检测概论和航空产品技术的初步知识。

全书设两篇和一个附录。第一篇“航空无损检测概论”分为三章:第一章概述航空无损检测的对象、作用与特点;第二章描述航空工业中普遍应用的五种常规无损检测方法(涡流检测、液体渗透检测、磁粉检测、射线照相检测、超声检测)的基本原理、应用范围与局限性;第三章介绍无损检测质量控制要求。第二篇“航空产品技术知识”分为七章:第四章介绍主要航空金属结构材料(结构钢与不锈钢、铝合金、钛合金、高温合金)及主要结构复合材料(先进聚合物基复合材料)的基础知识,及其在航空工业中的典型应用;第五章至第十章介绍航空金属产品制造涉及的基本工艺(铸造、锻造、轧制,热处理、机械加工/特种加工、表面防护,焊接、胶接,及先进聚合物基复合材料的成型与胶接)的基础知识,说明无损检测常见的金属铸件、锻件、轧制产品、熔焊接头缺陷。附录A概述金属及合金的结构、结晶、变形、回复和再结晶、固态转变,金属材料的性能、理化检验,及零件的失效等金属材料的基础知识,供有需要的读者阅读,以有助于对正文内容的理解。

本书经航空无损检测人员资格鉴定委员会审定,定位为航空所有无损检测方法Ⅱ级人员综合知识培训教材。带*号部分是要求熟悉的内容。

史亦韦、李泽、熊瑛、梁菁、李秀芬、程黎明、王蝉、石剑等对本书进行了审查,并提出宝贵意见;本教材试用过程中,许多教师和学员提出了有益的意见和建议。作者对有关参考资料的作者,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。

限于作者水平,加之编写航空无损检测综合知识教材是初次尝试,疏漏恐在所难免,欢迎读者批评、指正。

作 者

2013.4.24

目 录

第一篇 航空无损检测概论

第一章 航空无损检测的对象、作用与特点	3
* 1.1 无损检测	3
1.1.1 无损检测的定义与内涵	3
1.1.2 无损检测的基本过程	4
1.1.3 无损检测的基本要求	6
1.1.4 航空工业研究与应用的无损检测方法	7
1.2 航空无损检测的主要对象——飞机	7
1.2.1 飞机结构与功能	7
1.2.2 飞机制件结构特点	10
1.2.3 飞机结构材料特点	12
1.2.4 飞机零件制造工艺特点	13
1.3 无损检测在航空产品全过程质量控制中的作用	14
1.4 航空工业的无损检测特点	14
复习题	17
第二章 常规无损检测方法的基本原理、应用范围与局限性	19
2.1 涡流检测	19
2.2 液体渗透检测	20
2.3 磁粉检测	22
2.4 射线照相检测	23
2.5 超声检测	25
复习题	28

第三章 航空无损检测质量控制要求	30
3.1 一般要求	30
3.1.1 检测资源	30
3.1.2 质量管理	30
3.1.3 无损检测工艺流程	31
3.2 详细要求	31
3.2.1 检测任务接收	31
* 3.2.2 检测作业质量控制	32
* 3.2.3 原始记录	36
* 3.2.4 检测结果解释与评定	36
* 3.2.5 检测报告	36
* 3.2.6 被检件交接	37
* 3.2.7 检测资料归档	37
复习题	37

第二篇 航空产品技术知识

第四章 航空材料	41
4.1 概述	41
4.2 金属材料	43
4.2.1 金属材料的分类	43
4.2.2 结构钢和不锈钢	45
4.2.3 铝及铝合金	47
4.2.4 钛及钛合金	47
4.2.5 高温合金	48
4.3 先进聚合物基复合材料	49
复习题	50
第五章 金属铸造与铸件缺陷	53
5.1 概述	53
5.2 铸造方法	53

5.2.1	砂型铸造	53
5.2.2	金属型铸造	54
5.2.3	熔模铸造	54
5.2.4	离心铸造	55
5.2.5	凝壳铸造	56
5.3	铸件缺陷	56
5.3.1	铸件缺陷分类	56
* 5.3.2	无损检测常见铸件缺陷	57
	复习题	64
第六章	金属塑性加工与塑性加工制品缺陷	66
6.1	概述	66
6.2	锻造	68
6.2.1	锻造方法	68
6.2.2	锻件分类	69
* 6.2.3	锻件缺陷	69
6.3	轧制	72
6.3.1	轧制方法	72
6.3.2	轧制产品	72
* 6.3.3	轧制产品缺陷	73
	复习题	78
第七章	金属半成品的加工/处理工艺	81
7.1	概述	81
7.2	金属热处理	81
7.3	机械加工/特种加工	82
7.4	表面防护	83
	复习题	84
第八章	金属焊接与熔焊接头缺陷	85
8.1	概述	85
8.2	熔焊方法	86

8.2.1 电弧焊.....	86
8.2.2 电子束焊.....	88
8.3 熔焊接头	89
* 8.4 熔焊接头缺陷	91
复习题	96
第九章 金属结构件胶接	98
9.1 金属胶接	98
9.2 金属胶接结构分类	98
9.3 金属胶接工艺流程	100
9.4 金属胶接结构缺陷	101
复习题	101
第十章 聚合物基复合材料制件的成形与胶接	102
10.1 聚合物基复合材料制件的成形	102
10.2 聚合物基复合材料制件的胶接	103
10.2.1 复合材料胶接	103
10.2.2 复合材料胶接结构分类	103
10.2.3 复合材料胶接工艺流程	104
10.3 先进聚合物基复合材料制件缺陷	105
复习题	105
附录 金属材料基础知识	106
一、金属及合金的结构	106
二、金属及合金的结晶	111
三、金属及合金的变形、回复和再结晶	113
四、金属及合金的固态转变	114
五、金属材料的性能	115
六、金属材料的理化检验	121
七、零件的失效	125
复习题	127

第一篇 航空无损检测概论

基于航空工业特点,航空无损检测人员应当具备的航空无损检测知识包括航空无损检测的对象、作用、特点,及质量控制要求;航空在用无损检测方法的基本知识。

对于Ⅱ级人员的基本要求:熟悉无损检测的定义与内涵,及无损检测作业质量控制要求;了解无损检测在航空产品全过程质量控制中的作用;了解飞机的结构、材料与工艺特点,及与此相关的航空无损检测特点;了解航空工业常用无损检测方法的基本原理、应用范围和局限性。

第一章 航空无损检测的对象、作用与特点

* 1.1 无损检测

1.1.1 无损检测的定义与内涵

无损检测(Nondestructive Testing, NDT)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、性能和组成,测量几何特征,而对原材料和零部件所进行的检测。

无损探伤(Nondestructive Inspection, NDI)、无损检验(Nondestructive Examination, NDE)、无损评价(Nondestructive Evaluation, NDE)可认为是无损检测的同义词。

无损检测的本质特征是利用技术方法,实现对被检对象的检测,而不损害其未来用途和功能。由于无损检测对产品是非破坏性的,因而能对同一批产品实施100%的检测;对受检零件,可实现全体积检测;同一零件可以用同一种方法重复检测,也可用不同检测方法依次检测。与无损检测相对应的是破坏检测,产品检测后会被破坏,因而只能进行抽样检验;对受检零件,只能进行局部检测;往往不能对同一试样进行重复检测。无损检测与破坏检测同属于工艺检测的范畴。无损检测的结果必须与破坏检测的结果相比较后,才能予以正确评价。

无损检测的对象包括原材料和制件。原材料有铸锭、锭坯、管材、棒材、板材、型材等;制件有铸件、锻件、焊接件、胶接结构等。

无损检测的功能包括探测、定位、测量和评定缺陷;评估完整性、性能和组成;测量几何特征。

一般来说,缺陷检测是无损检测最重要的方面。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。例如,射线照相检测是基于材料对透入射线的衰减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,基于衰减的变化,以判断材料和零部件是否存在缺陷的技术。

1.1.2 无损检测的基本过程

1. 工艺流程

无损检测的工艺流程如图 1-1 所示。顾客提出检测任务,无损检测部门会同顾客对任务进行审查确认;无损检测部门接收送检件,根据检测任务进行内容涵盖检测人员、检测仪器(设备)、检测用品(材料)、技术文件和检测环境的工艺策划,实施检测作业,对检测结果予以解释与评定,签发检测报告。

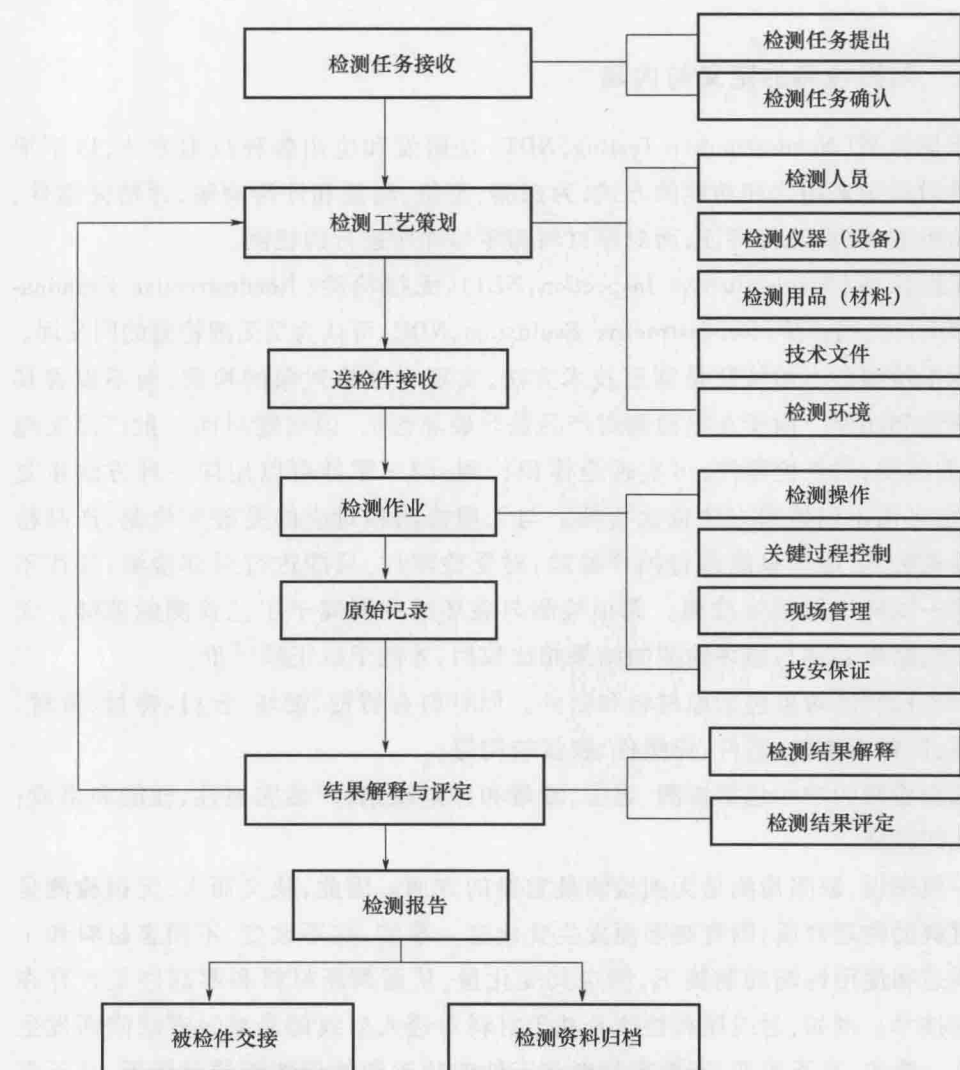


图 1-1 无损检测工艺流程框图

2. 结果解释与评定

如图 1-2 所示,对原材料和零部件实施无损检测获得的响应或痕迹——显示,应通过解释确定显示的类型:伪显示(虚假显示)、非相关显示、还是相关显示?对于所有相关显示,应根据验收标准进行评定,进而对检测对象作出合格或不合格的结论。

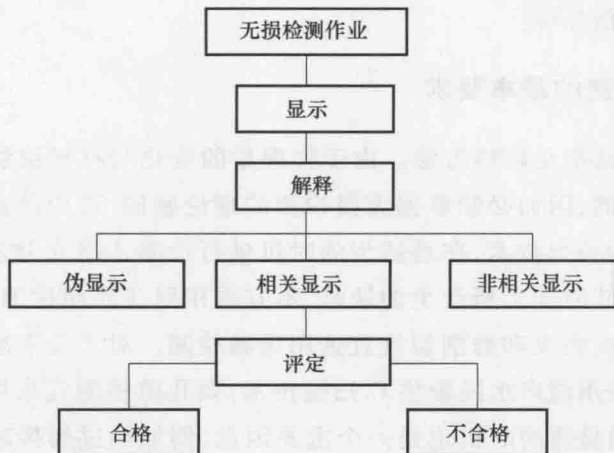


图 1-2 无损检测结果的解释与评定框图

显示的表现形式取决于所采用的无损检测方法,如渗透检测的痕迹、磁粉检测的磁痕、超声检测中指示反射体存在的信号和仪器噪声等。

显示主要源于不连续。不连续是连续性或致密性的缺欠;原材料或制件物理结构或外形“有意”或“无意”的间断。“缺欠”是指与预期状况比较,存在质量特性的偏离。“有意的”间断,例如螺孔、键槽,源于设计或工艺的需要;“无意的”间断源于制造工艺不当,例如裂纹、折叠、夹杂、孔隙、偏析,或与服役条件有关,例如腐蚀、疲劳、磨损。

显然,源于制造工艺不当,或与服役条件有关的不连续就是缺陷。或者说,缺陷是原材料或制件中源于制造工艺不当,或与服役条件有关的连续性或致密性的缺欠、物理结构或外形的间断。尺寸、形状、取向、位置或性质不满足指定的验收标准的缺陷可称为超标缺陷。

缺陷引起的显示,或者说,源于制造工艺不当,或与服役条件有关的不连续引起的显示,称为相关显示。

非缺陷不连续引起的显示,或者说,设计或工艺所要求的不连续引起的显示,称为非相关显示。

不连续以外的状态所导致的显示,或者说,由于设备、仪器、操作不当、外界干扰等因素引起的显示称为伪显示。例如,由于检测人员的手、检验台、检测工具、显像剂被渗透剂污染,操作中渗透剂的飞溅,相邻零件接触等原因,引起零件污染产生的迹痕;由于工件表面粗糙滞留磁粉,工件表面有油污粘附磁粉或由于工件表面有氧化皮等原因形成的磁痕;射线照相检测中的伪缺陷;超声检测中的仪器噪声和外界干扰信号等。

1.1.3 无损检测的基本要求

无损检测方法都是物理方法。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才能充分发挥其效果。例如要发现锻造及轧制加工所产生的缺陷,不宜采用射线照相检测;对于非奥氏体钢的钢件表面淬火裂纹和磨削裂纹宜选用磁粉检测。对于粉末冶金制件的微缺陷超声检测,宜采用超声水浸聚焦 C 扫描技术;微孔隙检测宜采用超声声速测量技术。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作出可靠的判断。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。

在选择评价具体缺陷的无损检测方法时,必须记住:无损检测方法可以彼此补充,几种无损检测方法可能都有能力执行同一任务。具体方法的选择取决于下列因素:缺陷的类型和部位;被检对象的尺寸、形状和材质;以及检测的可达性、所采用的验收标准、可能获得的设备、价格等。

检测方法、检测技术、检测时机确定后,为了确保无损检测的正确实施,还必须对无损检测进行全面、全员、全过程的质量控制。

无损检测作业应控制的要素主要有检测人员、检测仪器设备、检测用品(材