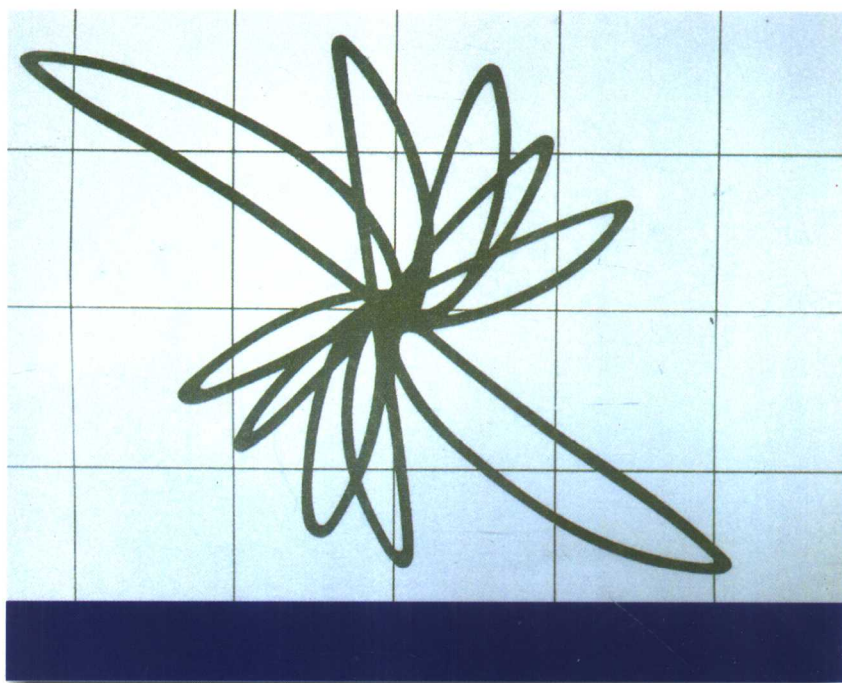


NDT

冶金无损检测人员技术资格鉴定与认证培训教材

金属材料的 涡流检测



冶金无损检测人员技术资格鉴定委员会 编



中国科学技术出版社

责任编辑：许 慧 周晓慧

封面设计：福瑞来书装

EDDY CURRENT TESTING FOR METAL MATERIALS

ISBN 7-5046-4425-0



9 787504 644251 >

ISBN 7-5046-4425-0/TG·11

定价：35.00元

冶金无损检测人员技术资格鉴定与认证培训教材

金属材料的涡流检测

冶金无损检测人员技术资格鉴定委员会 编

范 弘 主编

中国科学技术出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

金属材料的涡流检测/冶金无损检测人员技术资格鉴定委员会编,范弘主编. —北京:中国科学技术出版社,2006.7

冶金无损检测人员技术资格鉴定与认证培训教材

ISBN 7-5046-4425-0

I. 金... II. 冶... III. 范... IV. 金属材料—涡流检验—技术培训—教材
V. TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 076478 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京玥实印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:11.25 字数:300 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1-1000 册 定价:35.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

冶金无损检测人员技术资格鉴定 委员会培训教材编审组

主任：贾慧明

副主任：李 杰 杨世维

成 员：（以姓氏笔画为序）

于 平	左建国	邝素军	朱启云
刘学英	刘卓然	李 杰	李 玲
苏明国	杨世维	范 弘	贾慧明
韩世全	熊 渝		

内 容 简 介

本书是冶金无损检测人员资格鉴定与认证的培训教材。它系统地介绍了涡流探伤的基本原理、基本方法、探伤设备、探伤标准,并重点介绍了冶金材料和产品的涡流检测方法和技术特点、在役工业装置的涡流探伤以及涡流检测技术在其他方面的应用。同时本书也概述了金属材料加工工艺和缺陷的基础知识以及作为中、高级涡流检测人员必须掌握的其他常规无损探伤方法。全书 30 余万字,图表 200 余幅,并附有练习题和答案。

本书适用于冶金中、高级无损检测人员的培训教学,也可供其他行业的无损检测人员以及大专院校无损检测专业的学生参考。

序 言

近二十年以来,随着我国国民经济的快速发展,产品的复杂程度和对安全性能的要求不断提高。机械、石油、化工、电力、船舶、兵器、铁道等行业和领域,对金属材料 and 产品质量的要求亦日臻增高。无损检测作为质量控制中不可缺少的技术发挥着越来越重要的作用,已经成为保证金属材料和产品质量的有力手段。

无损检测技术应用的正确性和有效性,一方面取决于所采用技术和设备的水平,另一方面取决于使用技术和设备的人员的能力、水平和经验。为了确保实施无损检测的可靠性,通过技术培训,对无损检测人员进行资格鉴定与认证是国际通行的做法。对此,国际标准化组织制定了国际标准 ISO9712;我国等同采用颁布了国家标准 GB/T9445《无损检测——人员资格鉴定与认证》,都规定了获取各级别资格的无损检测人员所能从事的专业工作以及对人员的能力进行确认的方法。与 ISO 接轨、遵循国家标准,我国冶金行业对从事冶金无损检测人员履行各级别无损检测任务所需知识、技术、培训和经历也做出规定。

几十年来,无损检测在冶金行业中的应用日益广泛和普及,尤其是改革开放以来,冶金行业中的无损检测技术发展迅速,具有鲜明行业特色的大型自动化的无损探伤设备的水平和数量不断增加。今天,当你走进任何一家钢铁生产企业,就会看到各式各样在线或离线的自动化无损探伤设备。在同一家冶金生产企业中出现几套甚至几十套探伤设备的情况并不罕见。设备需要具有一定理论基础和实践经验的专业人员操作,冶金无损检测技术资格鉴定委员会(原冶金部无损检测人员资格鉴定考核委员会),作为冶金行业中无损检测专业人员的培训和认证基地,自 20 世纪八十年代以来,为冶金企、事业单位培养和输送了大量合格的专业技术人员 and 人才。对于提高冶金无损检测人员素质,确保冶金产品质量发挥了重要作用。

教材是进行人员培养和教学的直接工具。1993 年和 1997 年,冶金无损检测人员技术资格鉴定委员会相继组织编撰了《金属材料的超声波检测》和《金属材料的涡流检测》两部教材,在介绍通用基础理论、技术的基础上,还特别侧重讲述了专门用于冶金行业自动化无损检测技术应用人员所需培训的内容。经过十多年的试用和不断改进,这些教材已经趋于成熟和完善。正式出版全面、系统地介绍冶金行业无损检测技术的教材,用于冶金无损检测人员培训与资格鉴定的时机已经成熟。

这些教材可满足对冶金无损检测 I、II、III 级人员的培训内容和要求,其中以 II 级内容为主体,同时体现对 III 级要求的深度和广度,强调实用性。该套教材体现出冶金工业无损检测技术的特点,并力图反映无损检测专业技术发展动态和趋势。

相信经过我们的努力,无损检测事业一定会绽放出更美丽的花朵,结出更丰硕的果实。

贾慧明

2006 年 4 月 26 日

编者说明

《金属材料的涡流检测》是冶金无损检测人员技术资格鉴定委员会组织编写的系列培训教材中的一本。它专门用于冶金行业中、高级涡流检测人员的技术培训与教学。

本书是在原冶金部无损检测人员技术资格鉴定委员会组织编写的《金属材料的涡流检测》(内部出版)基础上,重新编写而成。原书从1997年开始使用,一直用作冶金行业涡流检测人员技术资格鉴定与认证的培训教学用书。经过近十年的试用,原书中存在的一些缺陷与不足,特别是不适合冶金行业无损检测专业读者需要的内容均充分显现出来。在这些年中,许多培训教师和学员对原书提出了很好的修改意见和建议,这些都为本教材的重新撰写提供了借鉴和帮助。

编写一部近30万字的培训教材是一项艰巨的工作。它既要达到培训中、高级人员技术水平要求,又要适应于冶金行业一般无损检测从业人员的接受能力,做到这一点是非常困难的。虽然本书即将正式出版,但限于编者水平,书中一定存在着许多缺欠、不足,甚至错误,这里恳切期盼各位专家同行们的批评和指教。

本书按照《冶金无损检测人员技术资格鉴定培训与考试大纲》的要求编写。本书目录中标有“*”的章节,只适合于冶金高级(Ⅲ级)涡流检测人员的培训与学习,中级(Ⅱ级)人员在培训时这些内容可以从略。

本书在编写过程中,主要参考了日本非破坏检查协会编写的《渦流探傷試験B》和美国无损检测学会(ASNT) Nondestructive Testing Handbook的涡流检测部分,同时也收集和选用了一些国内无损检测专著、教材、手册、标准和文献中的有关内容。在编写过程中,根据冶金行业中、高级无损检测人员培训的特点,力求实用,并尽量与国际上通行的各国无损检测的等级技术要求相适应。在系统地介绍涡流检测的必要知识的同时,尽可能多地反映近年来科研和设备制造方面的新成果。

在本书编写过程中,我们得到了许多国内同行专家的指导和支持,还有许多同志为本书付出了辛勤的劳动,在此一并致以深深的谢意。

2006年4月于北京

目 录

第一章	钢铁工艺及无损检测概论	(1)
1.1	无损检测及其在国民经济中的地位	(1)
1.2	无损检测人员的职责	(1)
1.2.1	无损检测 I 级人员的职责	(2)
1.2.2	无损检测 II 级人员的职责	(2)
1.2.3	无损检测 III 级人员的职责	(2)
*1.3	钢铁生产与钢中缺陷	(3)
1.3.1	炼铁	(3)
1.3.2	炼钢	(3)
1.3.3	钢的压力加工	(5)
1.3.4	钢的冶炼和压力加工缺陷	(6)
1.3.5	钢的热处理缺陷	(7)
1.4	超声波探伤法(UT)简介	(7)
1.4.1	超声波的概念和特性	(7)
1.4.2	超声波探伤原理和方法	(8)
1.4.3	超声波探头	(9)
1.4.4	超声波探伤的特点与应用范围	(10)
1.5	磁粉/漏磁探伤法(MT)简介	(10)
1.5.1	漏磁通与漏磁场探伤原理	(10)
1.5.2	漏磁场探伤中磁化场强度和方向的选择	(11)
1.5.3	漏磁场探伤的传感器	(13)
1.5.4	漏磁场探伤的应用特点	(13)
1.6	射线探伤法(RT)简介	(14)
1.6.1	射线与射线探伤原理	(14)
1.6.2	射线照相胶片与射线探伤灵敏度	(14)
1.6.3	射线照相法的特点	(14)
1.6.4	X 射线实时成像检验	(15)
1.7	渗透探伤法(PT)简介	(15)
1.7.1	毛细现象与渗透探伤原理	(15)
1.7.2	渗透探伤的基本过程	(16)
1.7.3	渗透探伤的种类	(16)
1.7.4	渗透探伤的应用特点和范围	(16)
*1.8	电磁超声探伤(EMA)技术简介	(17)
1.8.1	电磁超声波的激发机理	(17)
1.8.2	电磁超声换能器	(18)
1.8.3	电磁超声的应用特点	(18)

第一章习题	(19)
第二章 涡流检测概述	(20)
2.1 涡流检测原理	(20)
2.2 涡流检测发展简史	(20)
2.3 涡流检测的应用范围	(21)
2.3.1 涡流检测的应用对象	(21)
2.3.2 涡流检测的用途	(21)
2.4 涡流检测的特点	(22)
第二章习题	(24)
第三章 涡流检测的物理基础	(25)
3.1 金属的电磁特性	(25)
3.1.1 金属的导电性能	(25)
3.1.2 金属的导磁性能	(28)
3.2 电磁感应原理	(31)
3.2.1 电磁感应的基本定律	(31)
3.2.2 涡流检测中的电磁感应	(32)
3.2.3 线圈的电感	(32)
3.3 正弦交流电及其表示方法	(33)
3.3.1 正弦交流电的基本概念	(33)
3.3.2 正弦交流电路的阻抗	(34)
3.3.3 正弦交流电的矢量表示方法	(36)
3.4 涡流的趋肤效应	(37)
3.4.1 金属平板中的趋肤效应	(37)
3.4.2 金属圆棒中的趋肤效应	(39)
3.4.3 铁磁性材料磁导率对趋肤效应的影响	(40)
3.5 检测线圈的感应电压	(40)
3.5.1 空心线圈的感应电压	(40)
3.5.2 含有试件的线圈的感应电压	(41)
3.5.3 检测线圈感应电压的归一化	(44)
3.5.4 检测线圈感应电压与阻抗的关系	(44)
3.6 涡流检测的阻抗分析	(45)
3.6.1 穿过式线圈检测金属棒材的阻抗分析	(45)
3.6.2 穿过式线圈检测金属管材的阻抗分析	(47)
3.6.3 内插式线圈检测金属管材的阻抗分析	(48)
3.6.4 点式线圈检测金属板材的阻抗分析	(49)
3.7 相似定律和涡流探伤的阻抗分析	(50)
3.7.1 影响线圈阻抗的因素	(50)
3.7.2 涡流检测的模型试验	(51)
3.7.3 缺陷引起的线圈阻抗变化	(52)
第三章习题	(54)

第四章 涡流探伤装置	(56)
4.1 检测线圈	(56)
4.1.1 检测线圈的功能和组成	(56)
4.1.2 检测线圈的种类和特点	(56)
4.1.3 检测线圈中信号的形成和检出	(58)
4.1.4 检测线圈的性能分析	(60)
4.1.5 检测线圈的制作	(64)
4.2 涡流探伤仪	(65)
4.2.1 涡流探伤仪的信号处理方法	(66)
4.2.2 涡流探伤仪的基本电路	(69)
4.2.3 涡流探伤仪的信号显示方式	(74)
4.2.4 涡流探伤仪的发展和计算机化涡流探伤仪	(76)
4.3 辅助探伤装置	(78)
4.3.1 磁饱和装置	(78)
4.3.2 信号耦合装置	(79)
4.3.3 机械传动装置	(80)
第四章习题	(82)
第五章 涡流探伤基本方法	(84)
5.1 涡流探伤方法分类	(84)
5.1.1 按检测线圈的类型分类	(84)
5.1.2 按检测线圈与被检工件的相对运动方式分类	(86)
5.2 探伤前的技术准备	(87)
5.2.1 探伤方法的选择	(87)
5.2.2 检测线圈的选择	(87)
5.2.3 涡流探伤仪的选择	(89)
5.2.4 工件传动方式的选择	(90)
5.2.5 磁饱和装置的选择	(90)
5.2.6 控制台的选择	(91)
5.2.7 对比试样的准备	(91)
5.2.8 被检工件的准备	(91)
5.2.9 设备运转前的准备工作	(91)
5.2.10 仪器和设备的预运转	(92)
5.3 探伤中各参数的设定和调整	(92)
5.3.1 检测频率的选择	(92)
5.3.2 激励电流的选择	(94)
5.3.3 灵敏度的确定	(95)
5.3.4 相位的设定	(95)
5.3.5 滤波方式的选择和滤波器档位的设定	(96)
5.3.6 报警电平的设定	(97)
5.3.7 探伤速度的确定	(97)
5.3.8 磁饱和电流的设定	(98)

5.3.9	标记延迟时间的设定	(98)
5.4	检验结果及其处理	(99)
5.4.1	检验结果的再检验	(99)
5.4.2	退磁处理	(100)
5.4.3	标记与记录	(102)
	第五章习题	(103)
第六章	金属材料 and 产品的涡流探伤	(105)
6.1	钢管的涡流探伤	(105)
6.1.1	钢管种类和钢管中常见缺陷	(105)
6.1.2	钢管涡流探伤方法和探伤设备	(106)
6.1.3	钢管涡流探伤的对比样管	(108)
6.1.4	钢管涡流探伤工艺	(110)
6.2	钢棒的涡流探伤	(112)
6.2.1	钢棒涡流探伤方法和探伤设备	(112)
6.2.2	钢棒涡流探伤实例	(113)
6.2.3	钢棒涡流探伤的对比样棒	(114)
*6.3	坯材的涡流探伤	(116)
6.3.1	坯材探伤的特点	(116)
6.3.2	方坯和矩形坯的热态探伤	(117)
6.3.3	板坯的热态探伤	(117)
*6.4	高温高速线材的涡流检测	(118)
6.4.1	高速线材涡流检测的特点	(118)
6.4.2	高速线材的涡流检测技术	(119)
	第六章习题	(120)
*第七章	工业装置的在役涡流检测	(121)
7.1	配管检查和多频涡流检测技术	(121)
7.1.1	配管在役涡流检测中的不利因素	(121)
7.1.2	配管的单频涡流探伤	(122)
7.1.3	配管的多频涡流检测技术	(122)
7.2	管道检查和远场涡流检测技术	(126)
7.2.1	铁磁性管道、管线在役涡流检测中的不利因素	(126)
7.2.2	远场涡流检测技术	(127)
7.2.3	铁磁性管道、管线的远场涡流检测	(128)
7.3	构件检查和探头式线圈检测技术	(129)
7.3.1	设备结构件和零部件检查的特点	(129)
7.3.2	探头式线圈检测技术	(130)
	第七章 习题	(133)
第八章	涡流探伤标准	(135)
8.1	标准的基础知识	(135)

8.1.1	标准的性质	(135)
8.1.2	国内外标准的代号和表示方法	(136)
8.1.3	方法标准与验收标准	(137)
* 8.2	国内外涡流探伤标准概况	(138)
8.2.1	国外涡流探伤标准概况	(138)
8.2.2	国内涡流探伤标准概况	(140)
8.3	GB/T7735 与钢管涡流探伤方法	(141)
8.3.1	探伤原理	(141)
8.3.2	探伤要求	(141)
8.3.3	探伤方法	(141)
8.3.4	对比试样	(142)
8.3.5	探伤设备	(142)
8.3.6	探伤设备运行和调整	(142)
8.3.7	探伤结果的评定	(142)
8.4	YB/T4083 与涡流探伤设备的性能评价	(143)
8.4.1	综合性能的测试条件	(143)
8.4.2	综合性能的测试项目和测试方法	(144)
第八章习题		(146)
* 第九章	涡流检测的其他应用	(147)
9.1	材料测量方面的应用	(147)
9.1.1	非铁磁性金属的材质测量	(147)
9.1.2	铁磁性材料的材质测量	(149)
9.2	厚度测量方面的应用	(151)
9.2.1	涡流测厚原理	(151)
9.2.2	涡流测厚方法	(153)
9.3	位移、振动等测量方面的应用	(153)
9.3.1	位移测量	(154)
9.3.2	振动测量	(155)
9.3.3	转速测量	(156)
第九章习题		(157)
习题答案		(159)
参考文献		(165)

* 表示适合冶金高级(Ⅲ级)涡流探伤人员的学习内容

第一章 钢铁工艺及无损检测概论

1.1 无损检测及其在国民经济中的地位

所谓无损检测,是以不损坏被检测对象的结构完整性和使用性为前提,运用物理和化学方面的技术,对被检测对象进行宏观缺陷、几何特性、化学成分、组织结构和力学性能的测量和检定,借以评价被检测对象的质量等级和安全程度。

无损检测的英文是 Non - destructive testing。我们习惯上将无损检测称之为 NDT,即它的英文缩写。

无损检测包括探伤和测量两个内容。探伤是指对被检测对象进行宏观缺陷的检测,包括缺陷的类型、形状、大小、位置和分布等;测量是对被检测对象进行几何特性、化学成分、组织结构和力学性能变化的检测,例如厚度测量、成分测定、组织状态与应力分布测定等。

无损检测技术在各行各业中应用得十分广泛,所使用的方法也多种多样。据不完全统计,目前已有的无损检测方法和手段不下 70 余种。在这众多的检测方法当中,应用最多的是:射线检测(RT)、超声波检测(UT)、涡流检测(ET)、磁粉检测(MT)和渗透检测(PT)。我们将它们称之为五大常规检测。

无损检测技术是一门在国民经济中占有重要位置的新兴技术。它的重要地位是由它的可靠性、安全性与经济性所决定的。

无损检测技术的可靠性指的是,它可以在不损坏工件使用性的情况下,对工件进行 100% 的检查。它不像破坏性取样检测那样,经过检测的样品已经丧失了完好性或使用性,而没有经过检测的工件仍然可能存在问题。

无损检测技术的安全性指的是,它能够把隐藏在材料与结构中的危害性缺陷或隐患检测出来,从而使被检对象安全运行。这正是无损检测技术产生与发展的基础。

无损检测技术的经济性指的是,由于它的使用可以在生产和运行中产生出巨大的经济效益。虽然使用无损检测本身需要投资和消耗,但如果综合考虑无损检测能防止不合格品流入后续加工而节约能源、能避免事故和降低维修费用等,无损检测使得成本大大降低。德国蒂森钢厂仅钢坯探伤一项每年就节约 120 多万欧元资金。瑞典斯堪的那维亚钢厂由于采用铸坯高温探伤技术,可在年产 240 万吨的连铸生产线上每年节约 6 亿度的电能。

由于无损检测技术的三大优越性,世界各国对无损检测重要性的认识越来越清楚,投资也与日俱增。美国在 1970 ~ 1975 年间,无损检测设备的年平均增长率达到 10.5%,其中新设备增长率高达 21%。在发动机制造业中,无损检测费用占全部制造费用的 13%,在火箭制造业中则占 20%。

1.2 无损检测人员的职责

无损检测应用的正确性和有效性,除了取决于所采用技术和设备的水平外,还取决于检测人员的技术能力和经验。无损检测人员所承担的责任要求他们具备相应的无损检测理论

和实践知识,从而能够完成检测、编写技术文件、对无损检测进行管理、监督或评价等。为此,在国际和国内,都制定了专门的规程,通过对检测人员的培训、考核,来评定检测人员是否能够胜任其职责,并颁发证书给予证明。

我国的国家标准 GB/T9445 - 2005 等同采用国际标准化组织(ISO)发布的标准 ISO9712: 1999,将从事无损检测工作的人员分为三个等级。各级人员的职责分列如下。

1.2.1 无损检测 I 级人员的职责

(1) 持有 NDT I 级证书的人员有资格按照 NDT 操作指导书要求,并在 II 级或 III 级人员的监督下实施 NDT 操作。I 级人员应能做到:

- ① 调整设备;
- ② 实施检测;
- ③ 按验收准则记录检测结果并进行分类;
- ④ 报告结果。

(2) I 级人员不应负责选择检测方法或技术。

1.2.2 无损检测 II 级人员的职责

持有 NDT II 级证书的人员有资格按所制定的或经认可的工艺规程,实施和指导无损检测工作。具体包括:

- ① 解释该 II 级人员具有资格的检测方法的应用局限性;
- ② 按 NDT 规范、标准、技术条件和工艺规程,编写适合于实际工作情况的操作指导书;
- ③ 安装设备并验证其调试情况;
- ④ 实施和监督检测;
- ⑤ 按适用的规范、标准和技术条件,解释和评定检测结果;
- ⑥ 准备 NDT 操作指导书;
- ⑦ 实施或监督所有 I 级人员的工作;
- ⑧ 培训或指导 II 级以下人员;
- ⑨ 整理和编写无损检测结果报告。

1.2.3 无损检测 III 级人员的职责

(1) 持有 III 级证书的人员可被授权来指导其具有资格的各种 NDT 方法的全部工作。具体包括:

- ① 对 NDT 装备和工作人员承担全部责任;
- ② 制定和批准检测技术和工艺规程;
- ③ 解释规范、标准、技术条件和工艺规程;
- ④ 确定用于特定 NDT 工作的特殊检测方法、技术和工艺规程;
- ⑤ 按现行的规范、标准、技术条件,解释和评定检测结果;
- ⑥ 若被认证结构授权,可受理资格监督考试;
- ⑦ 可实施或监督所有 I 级和 II 级人员的工作。

(2) 持有 III 级证书的人员应:

- ① 对所有的材料、加工和产品制造工艺有足够的实际知识,以便选择检测方法和确定检测技术,并在没有现成标准可采用的情况下协助制定验收标准;
- ② 一般的熟悉其他 NDT 方法;
- ③ 具有培训或指导 III 级以下人员的能力。

1.3 钢铁生产与钢中缺陷

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料。金属材料资源丰富、质地优良、种类繁多、性能各异,能满足各行业的不同需要。同时,金属材料还可以通过不同的工艺方法,使性能获得进一步改善,从而更扩大其适用的范围。

在金属材料的生产和使用过程中,由于操作不当或受技术水平的限制,有时在材料的表面或内部会产生各种缺陷或损伤,这些部位将导致机件过早的失效与破坏,降低使用寿命,甚至造成事故。因此从事无损检测技术研究及冶金产品质量控制的工作者,充分了解金属材料的生产、加工过程对材料性能和缺陷的形成影响,具有重要的意义。

1.3.1 炼铁

铁在自然界中以氧化物形式存在。含铁量较多并且具有冶炼价值的矿物,称铁矿石。炼铁就是从铁矿石中提取铁及其他有用元素形成生铁的过程。

(1) 炼铁的原料及其作用

炼铁的原料主要有铁矿石、燃料和熔剂。

常见的铁矿石有磁铁矿(Fe_3O_4)和赤铁矿(Fe_2O_3)两种。铁矿石中也含有脉石(SiO_2 、 Al_2O_3)和杂质(硫、磷等),它们是铁、钢中杂质的主要来源。

炼铁的主要燃料是焦炭。焦炭燃烧提供热量。燃烧形成的一氧化碳及焦炭本身都是优质还原剂。焦炭燃烧创造了炼铁过程的必要条件。

炼铁使用的熔剂为石灰石(CaCO_3)。熔剂的作用是与矿石中的脉石及燃料中的灰分相互作用,形成熔点低、流动性好和比重小的熔渣,从而使铁水与杂质分离开。

(2) 高炉冶炼过程

现代炼铁过程是在高炉内进行的。所谓炼铁过程的实质是把铁从含铁的氧化物(铁矿石)中还原出来。

图 1.1 为高炉示意图。矿石、燃料及熔剂按一定比例组成炉料,从炉顶装入炉内。由风口送入热风与焦炭燃烧后,产生的大量的热量及高温的炉气(含大量 CO)使炉温升高。炉气与炉料发生一系列反应,最后形成生铁和炉渣。生成的高温铁水与炉渣积蓄在炉缸内,到达一定数量时,分别由出铁口及出渣口排出炉外。

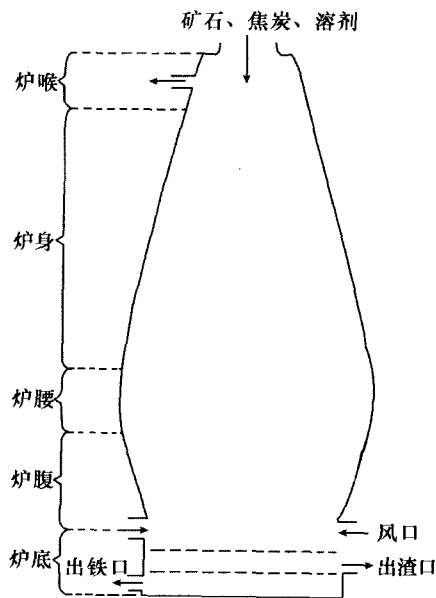


图 1.1 高炉示意图

高炉的主要产品是生铁,性能较脆。它是以铁碳为主(含碳量大于 2.11%),并含有少量硅、锰、硫、磷等杂质的合金。生铁主要有两种:铸造生铁含硅量高,流动性好,主要用于铸造业。因其断口呈暗灰色,又称灰口铸铁;炼钢生铁主要用作炼钢原料,因其断口呈白亮色,又称白口铸铁。高炉的副产品是煤气和炉渣,煤气是良好的燃料,炉渣可用做建筑材料。

1.3.2 炼钢

(1) 炼钢的基本原理

炼钢是将生铁中的碳及硅、锰、硫、磷等杂质通过氧化的方法而降低,使其达到规定的含

量。炼钢过程的实质是杂质的氧化过程。

磷、硫在钢中通常是有害的,炼钢时应尽可能的除去。碳、硅、锰、硫、磷氧化后生成的氧化物以气体或炉渣的形式排出。其中硅、锰氧化时会放出大量热量,可作为炼钢的热源。

向铁液中供入的氧,使碳、硅、锰等元素氧化的同时,铁也被氧化形成亚铁(FeO),需将其脱氧,使铁反入钢液中。钢的脱氧方法是加入脱氧剂(如 Fe-Si 合金、 Fe-Mn 合金、铝)。

(2) 炼钢方法

现代炼钢方法主要有转炉、平炉及电炉炼钢法三种。图 1.2 为各种炼钢炉示意图。

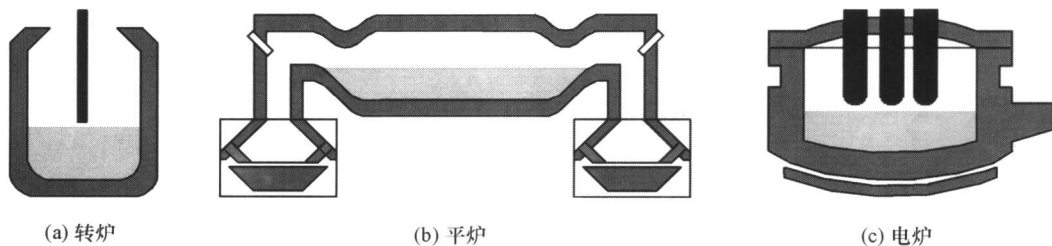


图 1.2 炼钢炉示意图

转炉炼钢法是将纯氧或空气吹入铁水中,使碳、硅、锰、磷等元素氧化去除,并靠某些元素氧化时放出的热量使铁水温度升高,从而得到成分、温度合格的钢水。转炉炼钢不消耗外部燃料,冶炼时间短(几十分钟一炉),生产率高,钢的品种多,质量好,成本低,投资少,故被广泛采用。

平炉炼钢法是利用煤气、天然气或重油等燃烧的热,熔化炉料,靠炉气中的氧使铁水中杂质氧化,从而得到成分、温度合格的钢水。平炉炼钢对原料条件可以放宽,冶炼过程容易控制,钢的品种、质量和转炉钢相似,但冶炼时间长(几小时一炉),生产率低,已逐渐为转炉所代替。

电炉炼钢法是利用电能作为热源的炼钢方法。常用的电炉有电弧炉和感应炉两种。电弧炉的炉盖上开有 3 个圆孔,插入 3 根石墨电极。通电时,电极与炉料之间产生电弧,依靠电弧产生的热量将炉料熔化。然后加入铁矿石氧化其中的杂质,加入石灰等造渣剂去除硫、磷,从而得到成分、温度合格的钢水。电弧炼钢的炉内温度高,可冶炼难熔的合金钢,炉内气氛及炉渣成分容易调节,除硫、除磷很彻底,钢的质量好,但因以电能为热源,故成本高。

(3) 钢的浇注方法

炼好的钢水,很少一部分直接铸成铸件使用。绝大部分钢水都浇注成钢锭,然后轧成各种钢材。浇注钢锭是重要的一环,对钢材质量影响很大。钢的浇注方法有模铸法和连铸法两种。

图 1.3 中(a)和(b)是模铸法的示意图,(a)是上注法,(b)是下注法。钢水浇入一定形状的钢锭模中,凝固后脱去钢锭模即得钢锭。模铸法设备较复杂、工序多、劳动强度大、钢水损失多、钢锭质量差。

图 1.3 中(c)是连铸法示意图。钢水经中间罐连续地注入水冷结晶器中,钢液中的热量被流经结晶器的冷却水迅速带走,形成一定厚度的坯壳,接着由拉坯机拉出结晶器,坯壳进入二次冷却区后再直接喷水冷却,使坯壳内的钢液全部凝固而成钢坯,再经矫直由切割机切成一定长度,准备轧制。连铸法的成材率和机械化程度高,便于自动化生产,劳动强度低,生产率高,是一种先进的生产方法。

连铸坯与铸锭相比,一般断面较小,凝固速度快,因此它的组织致密、成分偏析较小,特别