

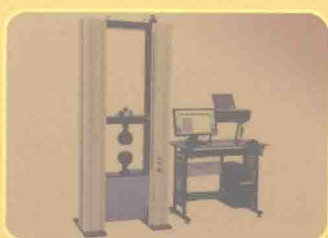


“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

金属材料检测技术

第2版

胡美些◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

金属材料检测技术

第2版

主 编 胡美些
副主编 李小飞
参 编 石 富 张 发 杜茂华 邢 珂
戈 楠
主 审 张永民(企业) 石淑琴



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》,同时参考无损检测员、金相实验工、化学分析工等工种的职业资格标准,在第1版的基础上修订而成的。全书共分六个单元,内容包括化学成分检验、显微组织分析与检验、宏观组织检验及断口分析、力学性能试验、无损检测和残余应力的测定。本书在第1版的基础上扬长避短,突出实践性和应用性,内容更加贴近生产实际,反映岗位需求,准确地体现技能标准,突出新知识、新技术、新工艺。

为便于教学,本书配套有电子课件等教学资源,选择本书作为教材的教师可来电(010-88379197)索取,或登录 www.cmpedu.com 网站,注册、免费下载。

本书可作为高等职业院校金属材料与热处理技术专业、无损检测专业教材,也可以作为在职职工学习和实操培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料检测技术/胡美些主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2014.6

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-47113-4

I. ①金… II. ①胡… III. ①金属材料-检测-高等职业教育-教材
IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 132265 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚 王海霞 版式设计:霍永明

责任校对:张薇 封面设计:张静 责任印制:杨曦

涿州市京南印刷厂印刷

2014 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·1 插页·435 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-47113-4

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版



图 2-29 铁素体组织金相图



图 2-30 奥氏体组织金相图

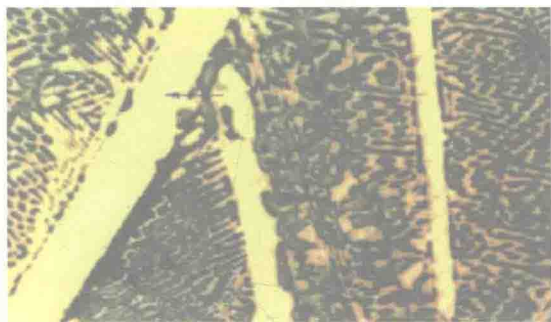


图 2-31 渗碳体组织金相图



图 2-32 高碳针片状马氏体组织金相图



图 2-35 奥—贝斜铁等温淬火组织，钼酸钠水溶液
(500×)



图 2-36 可锻铸铁石墨化退火组织，化学染色
(500×)



图 2-37 碳的质量分数为 0.23% 的铸钢 930℃ 高温
淬火组织，焦亚硫酸钾、盐酸水溶液着色 (500×)



图 2-38 T7 工具钢退火组织，焦亚硫酸钾溶液着色
(640×)



图 4-39 冲击试验机



图 5-45 用 CSK-IA 试块测试斜探头入射点的图片



图 5-68 固定式探伤机



图 5-69 便携式探伤机



图 5-72 磁痕显示



图 5-73 磁粉探伤操作

第2版前言

本书是按照教育部《关于开展“十二五”职业教育国家规划教材选题立项工作的通知》，经过出版社初评、申报，由教育部专家组评审确定的“十二五”职业教育国家规划教材，是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准（试行）》，同时参考无损检测员、金相实验工、化学分析工等工种的职业资格标准，在第1版的基础上修订而成的。

随着教学改革的不断深入，金属材料检测技术在课程体系、教学内容、教学模式等方面都有了新的变化，为了适应这种形势的需要，本次修订时增加了金属材料检测方法的最新技术和相应的检测流程。各个知识点的安排力求符合学生的认知规律，采用图文并茂的方法，尽可能用清晰逼真的图片、表格形式展现知识点，以提高可读性。

另外，为了贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，在修订过程中力求书中内容涵盖国家职业标准（中级）的知识、技能要求，确实保证毕业生达到中级技能人才的培养目标。本书编写模式新颖，在正文内容之外，还穿插了很多相关的小故事、典型案例分析和关键技术点的提醒。

全书共分六个单元，由内蒙古机电职业技术学院胡美些任主编，内蒙古工业大学李小飞任副主编。具体编写人员及分工如下：胡美些编写绪论、第一单元、第六单元；内蒙古机电职业技术学院邢珂编写第四单元；内蒙古机电职业技术学院石富、李小飞共同编写第二单元；内蒙古机电职业技术学院张发和陕西工业职业技术学院戈楠编写第五单元；内蒙古工业大学杜茂华编写第三单元。本书由中国航天科工集团第六研究院科技处调研员张永民、浙江机电职业技术学院石淑琴任主审。本书经全国职业教育教材审定委员会专家赵红军、李柏模审定。教育部评审专家在评审过程中对本书内容及体系提出了很多宝贵的建议，也在此对他们表示衷心的感谢。

在编写过程中，编者参阅了国内外出版的有关教材和资料，得到了渤海船舶职业技术学院王学武教授的有益指导，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书是在贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的文件精神，加强职业教育教材建设，满足职业院校深化教学改革对教材建设要求的基础上，按职业教育材料类专业教学研讨及教材建设会议讨论通过的大纲而编写的。

金属材料检测技术是保证结构件质量的重要环节，也是控制结构材料内在质量的重要依据，对保证构件制作过程的顺利进行以及提高企业的经济效益起着重要作用。因此金属材料检测技术是高等职业教育材料类专业的重要课程。由于热处理工件的特殊性，进行质量检测是必经程序，所以金属材料检测技术又是热处理技术专业的重要专业课之一。

本书在内容安排上分两大部分，一部分（第一至第四单元）是常规性能检验，即化学成分检验、显微组织分析及检验、宏观组织检验及断口分析和力学性能试验，这部分是热处理专业的必修内容，也是本课程的基础部分；另一部分（第五和第六单元）是重要零件的检测，即无损检测和残余应力的测定。考虑到高职学生的培养目标和岗位能力需求，本书对各种检测设备也进行了适当的介绍。

本书大多采用国家最新标准，考虑到有的产品标准更新与国家标准更新不同步，产品标准落后于国家标准，因此个别部分仍采用工程习惯叫法。有的产品虽然推出了国家新标准，但旧的标准仍然可用，所以个别地方仍采用旧标准，以便和工程实际紧密联系。

本书采用单元、模块化设计，紧密结合职业教育的办学特点和教学目标，强调实践性、应用性和创新性，努力降低理论深度，理论知识坚持以应用为目的，以必需、够用为度，注重内容的精选和创新，既考虑了知识结构的合理性、系统性，又兼顾了职业技术培训的要求，内容力求突出实践应用，重在能力的培养。为了便于教学，本书配备了电子教案。

本书由内蒙古机电职业技术学院胡美些（绪论，第一、第六单元）、石富（第二单元）、邢珂（第四单元）、张发（第五单元）以及内蒙古工业大学杜茂华（第三单元）共同编写。胡美些担任主编，石富担任副主编，内蒙古工业大学董俊慧教授担任主审。

在本书的编写过程中，引用或参考了大量已出版的文献和资料，书后难以一一列举，在此向原作者一并致谢。

由于编者学识水平和收集资料来源有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正，共同商榷（电子邮箱：humeixie@sina.com）。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论	1
一、检验的必要性	1
二、检验依据	1
三、检验方式	1
四、检验内容	2
五、检验方法	2
六、本教材论述的内容	5
七、学习本教材的目的、要求及方法	5
复习思考题	5

第一单元 化学成分检验

模块一 化学分析法	6
一、钢中碳含量的测定	7
二、钢中硫含量的测定	10
三、钢中磷含量的测定	13
四、钢中硅含量的测定	16
五、钢中锰含量的测定	17
模块二 钢的火花检验	19
一、火花的形成及结构	19
二、检验设备与操作	21
三、钢的成分与火花特征	22
模块三 微区化学分析	28
一、概述	29
二、电子探针 X 射线显微分析	29
三、俄歇电子能谱分析技术	32
四、离子探针显微分析技术	33
模块四 光谱分析	33
一、发射光谱分析	34
二、X 射线荧光光谱分析	35
三、激光显微光谱分析	36
四、原子吸收和原子荧光光谱分析	36

复习思考题	37
-------	----

第二单元 显微组织分析与检验

模块一 金相试样的制备	38
一、取样	38
二、制样	39
三、显微组织的显示	44
模块二 光学显微镜及电子显微镜在显微分析中的应用	46
一、光学显微镜	46
二、电子显微镜	53
模块三 定量金相方法	59
一、定量金相的标准符号及基本公式	59
二、测量方法	60
三、常用显微组织参数测定	60
四、图像分析仪	64
模块四 彩色金相技术	65
一、彩色成像的基本原理	65
二、干涉膜的形成方法	66
三、彩色金相在显微检验中的应用	66
模块五 典型工程合金的显微组织检验	70
一、结构钢与工具钢	70
二、钢中非金属夹杂物的显微检验	76
三、铸铁	78
四、不锈钢和奥氏体锰钢	82
五、非铁合金	83
六、粉末冶金材料与硬质合金	87
模块六 热处理质量及缺陷组织检验	89
一、偏析与带状组织	89
二、过热与过烧	90
三、脱碳	92
四、表面硬化层深度的测定	95
五、表面渗金属(或涂覆处理)的显微检验	97
复习思考题	99

第三单元 宏观组织检验及断口分析

模块一 宏观检验

一、钢的酸蚀检验

二、印痕法检验

三、液体着色渗透法

模块二 断口制取及保养

一、断口试样的选择

二、断口试样的清洗

三、断口试样的保养

模块三 宏观断口分析

一、断裂分类

二、各类断口的形貌特征

三、裂纹源位置及裂纹扩展方向的判断

模块四 显微断口分析

一、显微断口分析方法

二、断口显微形貌特征

三、断口显微形貌与显微组织的关系

四、断口的典型显微形貌特征举例

模块五 失效分析

一、失效

二、失效分析的目的

三、失效分析方法

模块六 典型案例

一、发动机活塞销短期服役断裂失效

二、焊接钢轨的失效

三、汽轮机末级叶片断裂失效分析

复习思考题

第四单元 力学性能试验

模块一 硬度试验

一、硬度试验的意义及分类

二、布氏硬度试验法

三、洛氏硬度试验法

四、维氏硬度试验法

五、其他硬度试验

模块二 静拉伸试验

一、静拉伸试验的特点与意义

二、试样

三、拉伸试验机

四、应力-应变曲线及其力学性能指标

五、抗拉强度

六、几种常用钢材的静拉伸数据

七、影响拉伸试验性能数据的主要因素

模块三 压缩、弯曲及扭转试验

一、压缩试验

二、弯曲试验

三、静扭转试验

四、剪切试验

模块四 冲击试验

一、冲击试验的意义

二、冲击试验与冲击试验机

三、冲击试验的应用

模块五 疲劳试验

一、疲劳失效的特点

二、疲劳的性能指标

三、疲劳特征的影响因素

复习思考题

第五单元 无损检测

模块一 内部缺陷检测

一、射线检测

二、超声检测

三、声发射检测

四、衍射时差法超声检测技术

模块二 表面缺陷检测

一、磁力检测

二、渗透检测

三、涡流检测

四、红外线检测

复习思考题

第六单元 残余应力的测定

模块一 概述

一、残余应力的分类

二、残余应力对材料质量的影响

模块二 残余应力的产生

一、残余应力产生的根本原因

二、热处理时的残余应力

三、热处理工件的残余应力分布及影响因素

四、表面淬火工件的残余应力

五、化学热处理工件的残余应力

六、焊接残余应力

模块三 残余应力的测定

一、残余应力的特点

二、常用残余应力测定方法

三、X射线应力测定法

四、超声法检测残余应力

复习思考题

参考文献

绪 论



内容导入

金属材料是人类较早开发利用、目前居世界主流的一类材料。金属材料一般分为钢铁材料和非铁金属两大类。半导体材料和超导材料也属于金属材料范畴。金属材料的应用几乎渗透到国民经济的各个领域,如石油与化工设备、起重运输设备、宇航运载工具、车辆与船舶制造、冶金、矿山、建筑及国防工业等。为了更合理地使用金属材料,充分发挥其作用,在各个领域使用金属材料时,均会涉及金属材料成分和性能的检测。

一、检验的必要性

金属材料的热处理作为调整组织和性能的手段之一,其质量优劣将直接反映机械产品的内在特性。经过热处理的零件,其工作效能的高低、使用寿命的长短主要取决于材料本身及热处理质量。检验热处理质量常采用“事前检验”和“事后检验”的方法。“事前检验”是指在投产前对金属原材料进行检验,以防止将不合格的原材料投入到生产中。“事后检验”是指在热处理工艺之后检验产品质量,如检测硬度和显微组织等;或者是产品失效之后通过各种检验手段分析失效原因。在控制热处理质量方面,这种质量检验是不可缺少的,它的主要作用是根据质量标准,通过检验把次品和废品剔除出去,使之不能进入下一道工序或出厂,避免不必要的损失,如经济受损、工程延期以及工程质量事故等。

二、检验依据

进行材料检测的依据是:

- 1) 供货合同。
- 2) 国家标准或行业标准。
- 3) 供方提供的发货单、计量单、装箱单、产品合格证、化验单、技术鉴定单、图样及其他有关凭证。

三、检验方式

根据检验对象的不同,可采取不同的检验方式。选择检验方式的原则是:既要保证质量,又要便于生产和尽可能节省工作量。检验方式按照其特点和作用不同,可以分为三种。

1. 按照工艺过程次序划分

- (1) 预先检验 在进行某个工艺过程之前对原材料、毛坯及半成品进行的检验。
- (2) 中间检验 在工艺过程中对某一工序或某批工件进行的检验。

(3) 最后检验 零件经过相应工艺过程后的检验。

2. 按照检验产品数量划分

(1) 全数检验 即对产品逐件检验, 这种检验应是非破坏性的, 且检验项目和费用少。

(2) 抽样检验 根据事先确定的方案, 从一批产品中随机抽取一部分进行检验, 并通过检验结果对该批产品进行估计和判断。

3. 按照检验预防性划分

(1) 首件检验 在改变处理对象、条件或操作者以后, 对头几件产品进行的检验。

(2) 统计检验 运用数理统计方法对产品进行抽检, 并通过对抽检结果的分析, 了解产品质量的波动情况, 从而发现工艺过程中出现的不正常预兆, 找出产生异常现象的原因, 及时采取措施, 预防不合格产品的产生。

(3) “三检制”检验 生产出的产品首先进行自检, 即按照生产工艺要求, 生产者自己进行检验; 然后进行互检, 即同类生品生产人员互相检验; 最后进行专检, 即专职检验人员对其产品作最终质量认定, 以防止不合格品转入下道工序。

四、检验内容

依据以上内容对金属材料作以下检验:

- 1) 数量验收 (包括清点件数和计重)。
- 2) 质量检验。
- 3) 外观检验。
- 4) 理化检验。

五、检验方法

检验方法包括:

1. 规格尺寸的检验

2. 外观缺陷的检验

- 1) 包装和标志的检验。
- 2) 外观质量缺陷的检验。外观质量缺陷主要有裂纹、结疤、麻点、刮伤、表面夹杂、分层、粘结、气泡和折叠等。

3. 成分、性能及组织的检验

(1) 成分的检验 每一个钢种都有一定的化学成分, 化学成分是钢中各种化学元素的质量分数。保证钢的化学成分是对钢的质量的最基本要求, 只有进行化学分析, 才能确定某牌号钢的化学成分是否符合标准。

对于碳素结构钢, 主要分析五大常见元素, 即碳、硅、锰、硫、磷; 对于合金钢, 除分析上述五大元素外, 还要分析合金元素。

(2) 显微组织的检验 显微组织检验是借助金相显微镜来检验钢中的内部组织及其缺陷。显微组织的检验包括奥氏体晶粒度的测定、钢中非金属夹杂物的检验、脱碳层深度的检验以及钢中化学成分偏析的检验等。其中, 钢中化学成分偏析的检验项目又包括亚共析钢带状组织的检验、工具钢碳化物不均匀性的检验、球化组织和网状碳化物的检验、带状碳化物及碳化物偏析的检验等。

显微组织的检验主要用于以下方面:



1) 热处理过程的检验, 包括热处理质量的控制、热处理参数的控制、热处理缺陷的检验和热处理废品及零件失效的分析。

2) 焊接检验, 如焊接结构件破坏的组织分析、焊接原材料进厂检验等。

3) 铸造过程的组织检验, 包括非金属夹杂物检验、碳化物偏析检验、组织粗细检验等。

4) 测定压力成形缺陷和进行质量控制, 如带状组织检验、组织颗粒度大小检验等。

(3) 宏观组织的检验 宏观组织检验是用肉眼或不大于十倍的放大镜检验金属表面或断面以确定其宏观组织缺陷的方法。宏观组织检验也称为低倍组织检验, 其检验方法很多, 包括酸浸试验、硫印试验、断口检验和塔形车削发纹检验等。

1) 酸浸试验可以显示一般疏松、中心疏松、锭型偏析、点状偏析、皮下气泡、残余缩孔、翻皮、白点、轴心晶间裂纹、内部气泡、非金属夹杂物(肉眼可见的)及夹渣、异金属夹杂等, 并进行评定。

2) 硫印试验是利用钢中硫化物与硫酸反应生成硫化氢, 硫化氢与相纸的溴化银反应生成硫化银, 使相纸变成棕色这一原理来检验钢中硫的宏观分布情况, 并可间接检验其他元素在钢中的偏析和分布情况。

3) 断口检验是根据检验目的采取适当的方法将试样折断以检验断口质量, 或对在使用过程中破损的零部件和在生产制造过程中由于某种原因而导致破损的工件断口进行观察和检验。可按断口的宏观形貌和冶金缺陷将断口分类, 以评定钢材质量。

4) 塔形车削发纹检验是检测钢材不同深度处的发纹。试验时将钢材试样车成不同尺寸的阶梯, 进行酸浸或磁粉检测后, 检测其裂纹程度, 以衡量钢中夹杂物、气孔和疏松存在的多少。发纹严重危害钢的力学性能, 特别是疲劳强度等, 因此, 对重要用途的钢材都要进行塔形车削发纹检验。

(4) 无损检测 无损检测也称为无损探伤, 它是在不破坏构件尺寸及结构完整性的前提下, 探查内部缺陷并判断其种类、大小、形状及存在部位的一种检验方法, 常用于生产中的在线检验和机器零部件的检验。

1) 无损检测的目的。无损检测的目的包括: ①检测金属材料成形过程中的质量缺陷, 如裂纹、气孔、夹杂等; ②分析缺陷和强度的关系, 评价零部件存在缺陷时的承载能力及估算剩余寿命; ③硬度及硬化层深度的检测。

2) 无损检测的方法。无损检测方法如图 0-1 所示, 有用于表面检测的液体渗透检测和磁粉检测; 有用于一定深度的射线检测、超声检测、涡流检测和微波检测等; 还有用于难以接近区域的光热辐射检测。这些方法能检测出钢材表层及内层的各种缺陷, 如气孔、缩孔、裂纹和夹杂等。

(5) 力学性能检测 力学性能检测包括硬度、拉伸、压缩、弯曲、疲劳及磨损等方面的检测。

1) 硬度。硬度是衡量金属材料软硬程度的指标, 是金属材料抵抗局部塑性变形的能力。硬度检测是应用最为广泛和方便的方法之一, 这是由于硬度能敏感地反映热处理工艺与材料成分、组织、结构之间的关系。此外, 硬度试验还具有如下特点: ①硬度试验可以代替某些力学性能试验, 反映出其他力学性能的大小; ②大多数零部件经硬度试验后, 不受损伤, 可看作无损试验; ③硬度检测仪价格便宜, 操作迅速简便, 数据重现性好; ④除特殊要求外, 均在实物上进行测试; ⑤可以测定零部件的特定部位、微观组织中的某一相或组织内的硬度。

根据试验方法的不同, 硬度可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、肖氏硬度和显微硬度等。这些硬度试验方法适用的范围不同, 最常用的是布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法。



图 0-1 无损检测方法

2) 拉伸试验。强度指标和塑性指标都是通过材料试样的拉伸试验测得的，拉伸试验的数据是工程设计和机械制造零部件设计中选用材料的主要依据。

常温强度指标包括屈服强度（或规定比例伸长时的应力）和抗拉强度。高温强度指标包括蠕变强度、持久强度、高温规定比例伸长时的应力等。钢的强度要求随其用途而定。

钢的主要塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。凡是要求具有一定强度的钢材一般都要求具有一定的塑性，以防止钢材过硬和过脆。对于需要进行变形加工的钢材，塑性指标尤为重要。

3) 冲击试验。冲击试验可以检测材料的冲击吸收能量。所谓冲击吸收能量，就是规定形状和尺寸的试样在一次冲击作用下折断所吸收的功。材料的冲击吸收能量越大，其抵抗冲击的能力越高。

根据采用的能量和冲击次数，可分为大能量一次冲击试验（简称冲击试验）和小能量多次冲击试验（简称多次冲击试验），小能量多次冲击试验方法目前尚未形成国家标准。



金属检测案例

某厂选用 3Cr2W8V 钢制造热锻模具用于锻造 25 钢的齿状零件，模具加工成形后外部的尺寸为 500mm×250mm×115mm，质量为 110kg。在同一模具上开出预锻和终锻两个型腔，加工时发现模具毛坯锻件硬度偏高，采用 HR150 型洛氏硬度计测试硬度为 30HRC。为便于加工，该厂将此模具进行了一次降低硬度退火，但温度和时间已无记录。加工后的模具由本厂进行热处理，淬火加热炉采用箱式电阻炉。为防止氧化，在模具周围填充旧渗碳剂加以保护。模具淬火时先采用 500℃、850℃ 两次预热，后经 1050℃×4h 保温，冷却介质选用全损耗系统用油。淬火过程中听到模具开裂声音，随即停止冷却，并放在 630℃ 回火炉中回火，回火时裂纹继续扩展使模具成为多个碎块。由于发现模具开裂，中止继续回火。事后该厂对模具进行了化学成分检验分析、硬度测定、断口形貌检测、金相组织检测等大量试验与分析工作，最终找到了热锻模具开裂的主要原因是锻造组织存在严重缺陷，包括粗大的奥氏体晶粒（锻造过热组织）和严重的碳化物带状分布，而且模具淬火前未经充分退火细化晶粒，导致热锻模具在正常温度淬火时开裂。



六、本教材论述的内容

本教材共分六个单元，主要介绍金属材料，特别是钢铁材料的各种检测技术和检测方法。根据职业院校的人才培养目标，主要论述以下内容：

- 1) 金属材料化学成分的检测方法。
- 2) 宏观组织检验的方法、零件失效的相关内容和断口分析技术。
- 3) 金相试样的制备方法和光学显微镜及电子显微镜在显微分析中的应用。
- 4) 金属材料的各种硬度检测技术以及静拉伸、弯曲、压缩、扭转和冲击试验。
- 5) 金属材料内部缺陷、外部缺陷的各种无损检测技术。
- 6) 残余应力的产生、危害及其测定方法。

上述内容包括了金属材料在各种使用场合下的检测技术，是使用金属材料的工程技术人员和学习金属材料的各专业学生必备的专业理论知识，如果再辅以实验内容，即是一本实用性很强的教材。

七、学习本教材的目的、要求及方法

1. 学习本教材应达到的目的及要求

- 1) 了解金属材料的检验方式、检验依据和检验内容。
- 2) 掌握各种检测技术的原理、特点及使用范围。
- 3) 初步掌握如何使用仪器进行金属材料性能和缺陷的检测。

2. 对本教材学习方法的建议

1) 坚持理论与实践结合，即在分析问题时一定不能脱离金属材料使用的具体场合和生产条件。由于金属材料种类很多，应用场合也五花八门，因此在学习中理论与实践相结合是必须掌握的一个重要原则。

2) 善于综合运用各方面的知识。因为“金属材料检测技术”涉及的知识领域十分广泛，只有将各方面的知识融会贯通，并能在不同条件下加以应用，才能提高分析与解决问题的能力。如第一单元的化学成分检验，不仅涉及化学知识、钢铁冶炼知识，还涉及一些光学知识。又如第二单元的显微组织分析与检验，也要涉及金属学的知识。在金属材料的不同使用场合，可能还需要在了解材料的成形方法及工艺之后，才能更好地掌握该场合下使用的金属材料的检测技术。

3) 由于本课程实践性很强，所以一定要加强实训环节，提高动手能力。



复习思考题

1. 金属材料检验的依据是什么？
2. 无损检测的目的是什么？
3. 什么是硬度？硬度检测有哪些特点？
4. 力学性能检测包括哪些内容？
5. 什么是显微检测？主要应用在哪些方面？

第一单元 化学成分检验



内容导入

钢的化学成分是钢中各种化学元素的质量分数。冶炼时,要进行炉前快速分析。成材时,要进行成品分析。选材使用和科学试验时,有时也需要进行成分分析。如果不进行化学成分检验而去使用,往往会造成事故或损失。因此,金属材料化学成分的检验是非常必要的一道工序。

化学成分分析按其任务可分为定性分析和定量分析。定性分析的任务是鉴定物质所含的组分,如所含的元素、离子。定量分析的任务是测定各组分的相对含量。化学成分分析按其原理和所使用的仪器设备又可分为化学分析和仪器分析。化学分析是以化学反应为基础的分析方法。仪器分析则是以被测材料的物理或化学性质为基础的分析方法,由于分析时常需要用到比较复杂的分析仪器,故称为仪器分析法。

本单元主要介绍钢的化学分析法、钢的火花检验和仪器检验的原理、特点、功能及适用范围等。

模块一 化学分析法



案例导入

钢是以铁、碳为主要化学成分的合金,还含有少量的锰、硅、硫、磷等元素,为改善或获得某些性能还可能加入一些其他元素。钢中各种元素及元素的含量,将直接影响钢的各种性能。在许多金属材料失效溯源时,材料成分检测是分析问题的一种非常有效的手段。Q235 钢地脚螺栓断裂原因分析见表 1-1。

表 1-1 Q235 钢地脚螺栓断裂原因分析 (质量分数,%)

元素	C	Mn	S	P	Si
断裂试样	0.095	0.14	0.056	0.015	0.14
标准值	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65	≤0.05	≤0.045	≤0.30

由表 1-1 可看到,硅、锰含量比标准值低很多,尤其是锰含量。钢中锰元素可减弱硫的有害作用,这是因为锰与硫形成的硫化锰熔点(1600℃)高于始锻温度,并在高温下有一定塑性,从而使钢不会发生热脆。而此 Q235 钢件中锰含量严重低于标准值,硫含量又较高,这样锰与硫形成的硫化锰很少,且剩余的硫较多,所以钢的塑性大大降低,脆性增大,这样加工成的地脚螺栓在使用过程中很容易发生断裂。



化学分析是以化学反应为基础的分析方法，主要分为以下几种。

1. 重量分析法

通常是将被测组分与试样中的其他组分分离后，使其转变为一种纯粹的、化学组成固定的化合物，然后称其重量，从而计算被测组分含量的一种分析方法。此法分析速度较慢，但准确度高，目前它在某些测定中仍用作标准方法。

2. 滴定分析法（容量分析法）

将一种已知准确浓度的试剂溶液（即标准溶液）滴加到待测物质的溶液中，直到所滴加的试剂与待测物质按化学计量关系定量反应为止，然后根据试液的浓度和体积，通过定量关系计算待测物质含量的方法。滴定分析法简便、快速，适用于常量分析，其准确度高，应用广泛。

3. 比色分析法

许多物质的溶液是有颜色的，这些有色溶液颜色的深浅与溶液的浓度有关，溶液的浓度越高，其颜色越深。因此可通过比较溶液颜色的深浅来测定溶液中该种有色物质的浓度，这种方法称为比色分析法。如果比色分析测定是用肉眼进行观察的，则称为目视比色分析法；如果比色分析测定是用光电比色计或用分光光度计来进行的，则称为光电比色分析法或分光光度分析法。后两种方法由于采用了仪器，因而属于仪器分析法。

4. 电导分析法

电导分析法是利用溶液的导电能力来进行定量分析的一种方法。

下面就钢中常见元素的测定原理和方法进行简单介绍：

一、钢中碳含量的测定

测定钢铁中碳含量的方法很多，其原理大都是首先在高温下将钢铁试样中的碳燃烧生成二氧化碳，然后再进行测定。如用氢氧化钾溶液吸收二氧化碳，从测得的二氧化碳的体积计算出碳含量的容积定碳法；用氢氧化钡溶液吸收二氧化碳，用醋酸标准液滴过量氢氧化钡的容量法；用烧碱石棉吸收二氧化碳的重量法以及电导法、非水滴定法、电弧法、真空冷凝法、感应炉燃烧红外吸收法、库仑滴定法等。其中燃烧后气体容量法是目前国内外广泛采用的标准方法，适用于金属功能材料中碳的质量分数为 0.03% ~ 2% 的碳含量的测定。

1. 原理

试样与助熔剂在高温（1200 ~ 1350℃）管式炉中加热通氧燃烧，将碳完全氧化成二氧化碳，除去二氧化硫后将混合气体收集于量气管中，并测量其体积。然后以氢氧化钾溶液吸收二氧化碳，再测量剩余气体的体积。吸收前后气体体积之差即为二氧化碳的体积，由此计算碳的质量分数。

2. 试剂及材料

试剂及材料包括：①助熔剂，包括锡粒（0.4 ~ 0.8mm）、铜、氧化铜、五氧化二钒、纯铁粉等，各助熔剂中碳的质量分数应不超过 0.005%，使用前应做空白试验，并从试样的测定值中扣除；②玻璃棉或石棉纤维；③碱石棉或碱石灰；④粒状活性氧化铝或无水氯化钙；⑤粒状活性二氧化锰；⑥密度约为 1.84g/mL 的硫酸；⑦硫酸封闭溶液，于 1000mL 水中加 1mL 硫酸，滴加数滴甲基橙溶液（1g/L）使溶液呈稳定的浅红色，混匀；⑧高锰酸钾-氢氧化钾洗液，称取 30g 氢氧化钾溶于 70mL 高锰酸钾饱和溶液中；⑨氧气，纯度在 99.5% 以上。

3. 仪器及设备

(1) 气体容量法定碳装置 (见图 1-1)

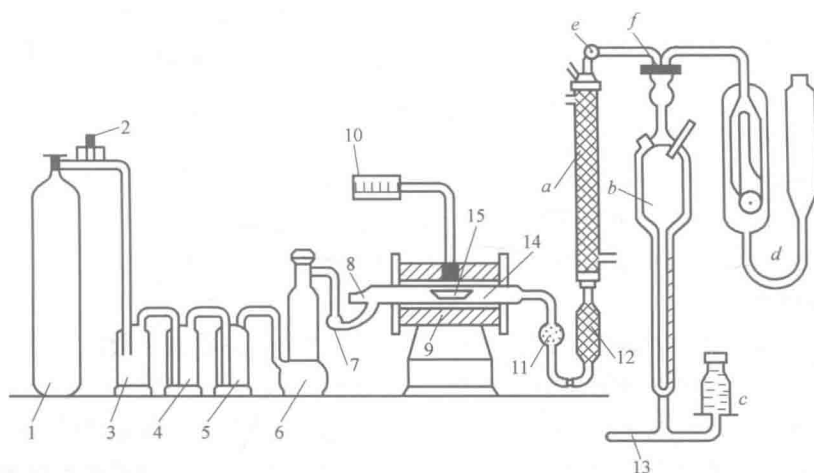


图 1-1 气体容量法定碳装置

1—氧气瓶 2—氧气表 3—缓冲瓶 4、5—洗气瓶 6—干燥塔 7—供氧活塞 8—玻璃磨口塞 9—高温管式炉
10—温度控制器 11—球形干燥器 12—除硫管 13—容量定碳仪 (包括冷凝管 *a*、量气管 *b*、水准瓶 *c*、
吸收器 *d*、小活塞 *e*、三通活塞 *f*) 14—瓷管 15—瓷舟

1) 洗气瓶 4 内盛有高锰酸钾-氢氧化钾溶液, 溶液的装入量约为瓶容积的 1/3。
2) 洗气瓶 5 内盛有浓硫酸, 装入量约为瓶容积的 1/3。
3) 干燥塔 6 内装有碱石棉 (或碱石灰) 及活性氧化铝 (或无水氯化钙)。上层装碱石棉 (或碱石灰), 下层装活性氧化铝 (或无水氯化钙), 中间隔以玻璃棉, 在底部及顶部也铺以玻璃棉。

4) 高温管式炉 9 可升温至 1450℃, 内插瓷管 14, 其尺寸 $\phi \times L$ 为 (23 ~ 24) mm × 600mm。

5) 温度控制器 10 可调节电流以保证燃烧试料所需的温度 (1200 ~ 1350℃)。

6) 球形干燥器 11 内装有玻璃棉或石棉纤维 (预先在高温下燃烧至无碳)。

7) 除硫管 12 内装有活性二氧化锰, 两端塞有脱脂棉。

8) 瓷舟 15 长 88mm 或 97mm, 使用前在 1200℃ 的管式炉中通氧灼烧 2 ~ 4min 至无碳。也可于 1000℃ 的高温炉中灼烧 1h 以上, 冷却后储存于盛有碱石棉 (或碱石灰) 及无水氯化钙的未涂油脂的干燥器中备用。

9) 量气管 *b* 内盛有氯化钠溶液 (浓度为 260g/L) 或硫酸溶液, 每一格刻度为 0.05mL。它是在 16℃、101.32kPa (760mmHg) 的标准状况下刻制的。

10) 吸水器 *d* 内盛有氢氧化钾溶液 (浓度为 400g/L)。

11) 小活塞 *e* 有一方可通大气。

(2) 长钩 用低碳镍铬丝或耐热合金丝制成, 用于推进和拉出瓷舟。

(3) 水银气压计 气压值应按下式校正

$$p = p'(1 - 0.000163t - 0.0026\cos 2\varphi - 0.0000002H)$$

式中 p ——校正后的气压值 (kPa);