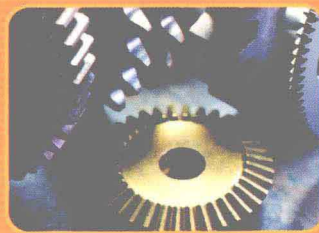
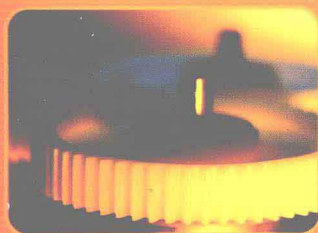


职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

ZHIYE JIAOYU JINSHU CAILIAO YU RECHULI JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

金属材料检测技术

胡美些◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

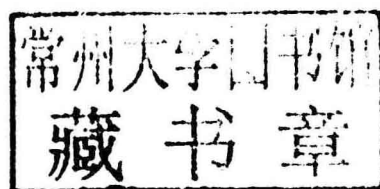
金属材料检测技术

主 编 胡美些

副主编 石 富

参 编 张 发 杜茂华 邢 珂

主 审 董俊慧



机械工业出版社

本书是根据职业教育金属材料与热处理技术专业的教学计划和“金属材料检测技术”课程的教学大纲编写的。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。

本书所用标准新,内容深浅适宜,文字简洁流畅,特别注重实用性和应用性,同时突出职业教育的特色。为便于教学,本书配备了电子教案和部分习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),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教学用书,也可供成人高校、普通中专、成人中专等材料类专业的学生以及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料检测技术/胡美些主编. —北京:机械工业出版社, 2011.5

职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

ISBN 978-7-111-34327-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第076468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 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13.5印张·332千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34327-1

定价:28.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

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，也是控制结构材料的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，因此有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，所以有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

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	4
七、学习本教材的目的、要求及方法	4
复习思考题	5
第一单元 化学成分检验	6
模块一 化学分析法	6
一、含碳量的测定	7
二、含锰量的测定	7
三、含铬量的测定	7
四、含铂量的测定	7
五、含钨量的测定	7
六、含钒量的测定	7
模块二 钢的火花检验	7
一、火花的形成及结构	7
二、检验设备与操作	9
三、钢的成分与火花特征	9
模块三 微区化学分析	14
一、概述	14
二、电子探针 X 射线显微分析	14
三、俄歇电子能谱分析技术	15
四、离子探针显微分析技术	16
模块四 光谱分析	16
一、发射光谱分析	16
二、X 射线荧光光谱分析	18
三、激光显微光谱分析	18
四、原子吸收和原子荧光光谱分析	19
复习思考题	20
第二单元 显微组织分析与检验	21
模块一 金相试样的制备	21
一、取样	21
二、制样	22
三、显微组织的显示	25
模块二 光学显微镜及电子显微镜在显微分析中的应用	27
一、光学显微镜	27
二、电子显微镜	33
模块三 定量金相方法	36
一、定量金相的标准符号及基本公式	37
二、测量方法	37
三、常用显微组织参数测定	38
四、图像分析仪	42
模块四 彩色金相技术	42
一、彩色成像的基本原理	42
二、干涉膜的形成方法	43
三、彩色金相在显微检验中的应用	44
模块五 典型工程合金的显微组织检验	46
一、结构钢与工具钢	46
二、钢中非金属夹杂物的显微检验	51
三、铸铁	54
四、不锈钢和奥氏体锰钢	56
五、非铁合金	58
六、粉末冶金材料与硬质合金	61
模块六 热处理质量及缺陷组织检验	63
一、偏析与带状组织	63
二、过热与过烧	64
三、脱碳	66
四、表面硬化层深度的测定	67
五、表面渗金属（或涂覆处理）的显微检验	69
复习思考题	71
第三单元 宏观组织检验及断口分析	72
模块一 宏观检验	72
一、钢的酸蚀检验	72
二、印痕法检验	77
三、液体着色渗透法	78
模块二 断口制取及保养	79
一、断口试样的选择	80
二、断口试样的清洗	82

三、断口试样的保养	84	三、冲击试验的应用	128
模块三 宏观断口分析	85	模块五 疲劳试验	130
一、断裂分类	85	一、疲劳失效的特点	130
二、各类断口的形貌特征	88	二、疲劳的性能指标	131
三、裂纹源位置及裂纹扩展方向的判断	92	三、疲劳特征的影响因素	133
模块四 显微断口分析	92	复习思考题	135
一、显微断口分析方法	92	第五单元 无损检测	136
二、断口显微形貌特征	93	模块一 内部缺陷检测	136
三、断口显微形貌与显微组织的关系	96	一、射线检测	136
四、断口的典型显微形貌特征举例	98	二、超声检测	147
模块五 失效分析	100	三、声发射检测	156
一、失效	100	模块二 表面缺陷检测	162
二、失效分析的目的	102	一、磁力检测	162
三、失效分析方法	103	二、渗透检测	167
复习思考题	106	三、涡流检测	173
第四单元 力学性能试验	108	四、红外线检测	178
模块一 硬度试验	108	复习思考题	179
一、硬度试验的意义及分类	108	第六单元 残余应力的测定	181
二、布氏硬度试验法	108	模块一 概述	181
三、洛氏硬度试验法	110	一、残余应力的分类	182
四、维氏硬度试验法	112	二、残余应力对材料质量的影响	182
模块二 静拉伸试验	113	模块二 残余应力的产生	189
一、静拉伸试验的特点与意义	113	一、残余应力产生的根本原因	190
二、试样	113	二、热处理时的残余应力	190
三、拉伸试验机	114	三、热处理工件的残余应力分布及影响	
四、应力-应变曲线及其力学性能指标	116	因素	192
五、抗拉强度	120	四、表面淬火工件的残余应力	193
六、几种常用钢材的静拉伸数据	120	五、化学热处理工件的残余应力	195
七、影响拉伸试验性能数据的主要		六、焊接残余应力	196
因素	120	模块三 残余应力的测定	197
模块三 压缩、弯曲及扭转试验	121	一、残余应力的特点	197
一、压缩试验	121	二、常用残余应力测定方法	198
二、弯曲试验	122	三、X射线应力测定法	
三、静扭转试验	124	(GB/T 7704—2008)	200
四、剪切试验	125	复习思考题	209
模块四 冲击试验	126	参考文献	210
一、冲击试验的意义	126		
二、冲击试验与冲击试验机	127		

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，均会涉及到金属材料成分和性能的检测。

一、检验的必要性

热处理质量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“事后检验”的方法，如检测硬度和显微组织等。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、图样及其它有关凭证。

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，又要便利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、毛坯及半成品的检验。
- (2) 中间检验 在进行某个工艺过程中对某一工序或某批工件的检验。
- (3) 最后检验 零件经过相应的工艺过程后的检验。

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。

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) 用于热处理过程的检验，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) 用于焊接检验。如焊接结构件破坏的组织分析、焊接原材料进厂检验等。

3) 用于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) 用于测定压力成形缺陷和质量控制。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查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, 并可间接检验其它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剩余寿命的估算; ③硬度及硬化层深度的检测。

2) 无损检测的方法。无损检测的方法如图 0-1 所示, 有用于表面检测的液体渗透检测; 有用于一定深度的射线检测、超声检测、涡流检测、磁粉检测和微波检测等; 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。

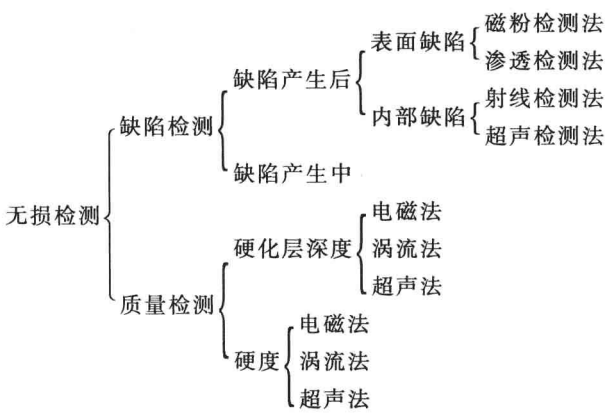


图 0-1 无损检测的方法

(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, 反映出其它力学性能的大小; ②大多数零部件经硬度试验后, 不受损伤, 可看作是无损试验; 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。

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。材料的冲击吸收功越大,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。

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要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，不仅涉及到化学知识，钢铁冶炼知识，还涉及到光学中的一些知识。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，例如，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物理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

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它组分分离后，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，适于常量分析，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、含碳量的测定

测定钢铁中含碳量的方法很多,其原理大都是首先在高温下将钢铁试样中的碳燃烧生成 CO_2 ,然后再进行测定。如用氢氧化钾溶液吸收 CO_2 ,从测得的 CO_2 的体积计算出碳含量的容积定碳法;用氢氧化钡溶液吸收 CO_2 ,用醋酸标准液滴定过量氢氧化钡的容量法;用烧碱石棉吸收 CO_2 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。其中气体容量定碳法是最为常用的方法。

二、含锰量的测定

测定钢铁中锰含量的方法有亚砷酸钠-亚硝酸钠容量法(过硫酸铁容量法)、磷酸-三价锰容量法、过硫酸铵比色法、过碘酸盐比色法、高氧酸法、火焰原子吸收光谱法、电位滴定法、电流滴定法、高锰酸钾滴定法等,其中容量法是测定钢中含锰量较常用方法。

三、含铬量的测定

测定钢铁中含铬量的方法主要有过硫酸铵银盐容量法、二苯卡巴阱比色法、二甲苯橙法、电位或目视滴定法、高锰酸钾滴定法、火焰原子吸收光谱法等。一般低合金钢常采用二苯卡巴阱比色法,高合金钢常采用容量法。

四、含铂量的测定

测定钢铁中含铂量的方法有硫氰酸盐直接比色法、硫氰酸盐-萃取比色法、EDTA容量法、硫化乙酰胺沉淀重量法、原子吸收光谱法、离子交换分离-8-羟基喹啉重量法等,其中硫氰酸盐直接比色法最为常用。

五、含钨量的测定

钢铁中含钨量的测定方法有硫氰酸盐直接比色法、对苯二酚比色法、氯化四苯砷盐-三氯甲烷萃取比色法、酸解重量法等,其中硫氰酸盐直接比色法最为常用。

六、含钒量的测定

测定钢铁中含钒量的方法有高锰酸钾氧化容量法、钽试剂-三氯甲烷萃取比色法、火焰原子吸收光谱法、电位滴定法、电流滴定法、硫酸亚铁铵滴定法等,其中容量法应用最广。高锰酸钾氧化容量法是在硫酸-磷酸混合酸介质中,用高锰酸钾氧化钒,然后以亚硝酸钠还原,用硫酸亚铁铵标准溶液滴定测量钒的含量。

模块二 钢的火花检验

钢的火花检验是一种最简便的鉴别钢的种类(或称钢种)的方法,此法多用于钢材混号、废钢分类以及无其它分析手段时,对钢材成分进行大致定性或半定量的分析。火花检验适用于碳钢、合金钢及铸铁,能鉴别出钢中常见的合金元素,但对S、P、Cu、Al、Ti等元素则无法看出其火花特征。火花检验由于方法简便易行,火花特征不受热处理工艺影响,所以应用广泛。

一、火花的形成及结构

火花束由流线、节点、苞花、爆花、花粉和尾花等组成。

(1) 流线 试件在高速回转砂轮上磨削的颗粒在高温下运行的轨迹就是流线。流线分为平直流线、断续流线、波浪流线、螺旋流线和不规则流线,其中波浪流线不常见,碳钢的流线是平直流线,铬钢、钨钢、高合金钢和灰铸铁的流线是断续流线。图1-1所示为火花流

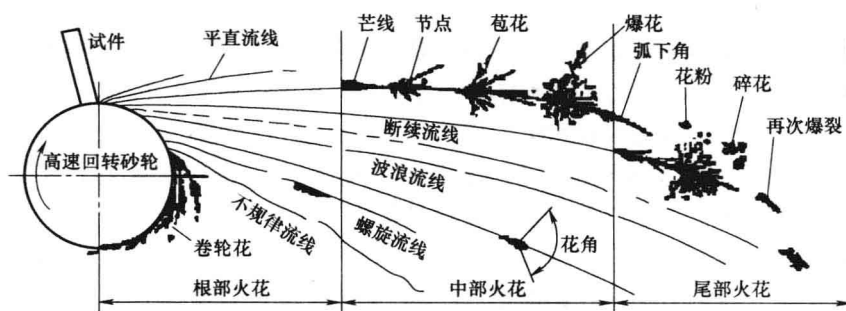


图 1-1 火花流线形状示意图

线形状示意图。

(2) 节点与苞花 流线上明亮又较粗的点称为节点和苞花。节点是含 Si 的特征，苞花是含 Ni 的特征。

(3) 爆花 爆花分布在流线上，是钢中含碳元素所特有的火花特征。爆花形式随钢中含碳量、其它元素成分、温度、氧化性以及钢的组织等因素而变化。粉碎状的花粉随含碳量的增高而增加。爆花在火花鉴别中占有重要地位。

试件磨削颗粒沿砂轮旋转的切线方向被抛射，此时磨削颗粒处于高温状态，表面被强烈氧化，形成一层 FeO 薄膜。钢中的碳在高温下极易与氧发生反应使 FeO 还原 ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$)，被还原的 Fe 将再次被氧化，然后再次还原。这种氧化还原的过程循环进行，当颗粒表面的氧化膜不能约束反应生成的 CO 时，就有爆裂现象发生。粉碎的颗粒外逸时的火花称为“爆花”。磨削颗粒经一次爆裂后，在碎粒中若仍残留有未参加反应的 Fe、C，将继续发生反应，则可能出现二次、三次等多次爆花。这时，随着爆花次数的增加（反应物减少），火花亮度也随之降低。图 1-2 所示为爆花的各种形式示意图。

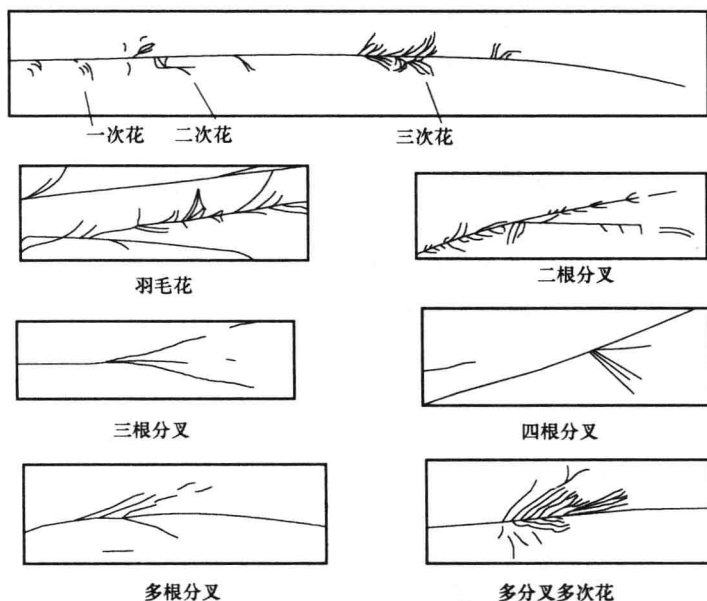


图 1-2 爆花的各种形式示意图

由爆花爆裂而产生的若干聚集的短线称为“芒线”。随着钢中碳含量增加，芒线又有二根分叉、三根分叉、四根分叉及多根分叉的不同。

(4) 尾花 尾花是流线末端特征，有狐尾尾花和枪尖尾花两种。狐尾尾花一般是钢中含钨的特征，其亮度和粗细程度比流线其它部位更明亮、更粗一些，狐尾尾花的数量及长度与钢中的含钨量成反比。枪尖尾花一般认为是钢中含钼的特征，但也不是在所有含钼钢中都能看到，有时在一些不含钼的钢中也能见到枪尖尾花。

(5) 色泽 火花颜色的明暗表明了颗粒运行的温度，火花为亮的黄白色、亮白色表明温度高，暗红色则表明温度低。颗粒的亮暗与 CO 形成、合金元素含量、颗粒的氧化性能及氧化程度有关。

二、检验设备与操作

检验设备可选用手提式电动砂轮或台式砂轮，手提式电动砂轮携带方便，且可使火花束散开，有利于观察单条火花形象；台式砂轮磨出来的火花与人观察的视角不相适应，较不方便。手提式电动砂轮的功率为 0.1 ~ 0.3kW，台式砂轮的功率为 0.5 ~ 1.0kW，转速为 3000r/min。砂轮片的主要成分为普通氧化铝，不宜使用碳化硅或白色氧化铝。手提式电动砂轮的直径为 200 ~ 300mm，厚度为 20 ~ 25mm，粒度为 46 ~ 60 目，中等硬度。可备已知钢种试样，作为校核之用。

操作注意事项：

1) 工作场地应有一定的亮度，不能太亮，也不能太暗。白天可在室内光线不太明亮处工作，夜晚应在稍暗的灯光下工作，才能清晰辨别火花的形状与色泽。

2) 试样与砂轮接触应有适当的压力，压力过大，砂轮易磨损且火花过密；压力过小，火花的形态又不能完全表现出来。

3) 磨削试样时应使火花束大致向水平方向发射，这样有利于观察火花束的各部分。

4) 工作时最好带上护目眼镜，工作量大时还应带上口罩以防飞扬铁末的损害。

5) 检验含碳量较高的钢的火花时，应打磨成单一流线火花形象，以利于观察多次爆裂特征，方能较准确地判断钢的含碳量。

三、钢的成分与火花特征

1. 碳钢的火花特征

钢的火花鉴别是以碳钢为基础，再考虑加入合金元素的影响。碳钢的火花特征主要考虑流线长短、粗细及色泽、爆花数量多少等。普通碳钢爆花的多少和强弱与其碳含量有关。碳含量增高，流线由粗长变为细短，数量由少变多，颜色由暗到明亮 ($w_C < 0.6\%$)，爆花由少变多，分叉由二根分叉到三次花多分叉，花粉从无到有直至大量出现。但碳的质量分数大约超过 0.6% 后，爆裂强度就逐渐减弱。碳钢的火花特征见表 1-1，主要考虑流线的长短、粗细、色泽及爆花数量的多少等。纯铁的火花流线短而粗，量较少，无爆花。随着铁的纯度不同，花束中也杂有二、三根分叉，但强度较弱，角度较小，爆花芒线较短。

$w_C = 0.05\% \sim 0.10\%$ 的碳钢，其流线较粗，呈弧形，长度中等，数量较少，具有草黄带红的色泽，爆花数量较少，呈现三、四根分叉的一次花形式，爆裂强度较弱。爆花位于流线的中部与尾部之间，流线与爆花清晰，无杂乱现象，芒线粗且长。

$w_C = 0.15\% \sim 0.20\%$ 的碳钢，火花流线仍较粗，量多而稍长，略带弧形，整个火花束为草黄且带有微红色。在爆花的芒线上有明显呈直线脱离的枪尖尾花，呈现一次多分叉单花

表 1-1 碳钢的火花特征

w_c (%)	流 线					爆 花				磨砂轮时手的感觉
	颜色	亮度	长度	粗细	数量	形状	大小	花粉	数量	
0	亮黄 ↓ 黄橙	暗 ↓ 亮	长 ↓ 短	粗 ↓ 细	少 ↓ 多	无	爆花			软 ↓ 硬
0.05						二根分叉	小 ↓ 大	无	少 ↓ 多	
0.1						三根分叉		无		
0.2						多根分叉		无		
0.3						二次花多分叉		微量		
0.4						三次花多分叉		稍多		
0.5	亮 ↓ 暗	长 ↓ 短	粗 ↓ 细	↓ 多	复杂	小	多量	多		
0.6										
0.7										
0.8										
0.8 以上	黄橙	暗	短	细	多	复杂	小	多量	多	硬

形式，爆花角度较大，芒线粗长并有明亮的节点，不时地出现一、二枝二次爆花的芒线。

$w_c=0.4\% \sim 0.5\%$ 的碳钢，火花流线比较细长且多，色泽黄，较明亮，爆花有分叉，多为二次爆花。在流线尾部及中尾部有节点，爆裂强劲，爆花大且多，伴随有二、三层枝状爆花，爆花量较多且密集，附有少量花粉。根部有小型爆花与稍暗的流线交织，芒线较细且长。

$w_c=0.6\%$ 的碳钢，火花流线细长而量多，挺直而强劲，尖端分叉，大型爆花多在流线尾端，其后有较强的枝状爆花。芒线细长有较多花粉，呈明黄色。

$w_c=0.7\% \sim 0.8\%$ 的碳钢，流线可分为明显的三部分，总体来看是短、细、直、量多。爆花为多分叉、多次花形式，量多且密集，大型爆花减少，枝状爆花增多。芒线间花粉较多，但细而疏，色泽呈黄亮色。

$w_c>0.8\%$ 的碳钢，随着含碳量增加而流线增多的趋势减慢，流线逐渐细化，长度逐渐缩短。爆花和花粉缓慢增多，花形逐渐变小。整个火花束的色泽由橙黄变成暗橙。

2. 合金元素对火花特征的影响

钢中加入合金元素后，火花特征将发生变化。Ni、Si、Mo、W 等合金元素抑制爆花爆裂，Mn、V 等合金元素则助长爆花爆裂。部分合金元素对火花特征的影响见表 1-2。

表 1-2 部分合金元素对火花特征的影响

合金元素	对爆裂的影响	流线					爆花			特征	触感抗力
		根部色泽	色泽	长短	粗细	多少	多少	芒线	花粉		
Mn	助长	黄	白亮(低 C) 黄亮	低 Mn 长 高 Mn 短	粗	低 Mn 多 高 Mn 少	多而整齐	白色， 细长	(高 C) 多		
低 Cr			白亮(低 C) 明亮(高 C)	低 C 长 高 C 短		低 C 多 高 C 少	较大		(高 C) 有		
V			黄亮				多	细			

(续)

合金元素	对爆裂的影响	流线					爆花			特征	触感 抗力
		根部色泽	色泽	长短	粗细	多少	多少	芒线	花粉		
W	抑制	暗红	橙红	中	细	少	少	红色,秃尾	没有	断续流线狐尾	硬
Mo		深橙红		长	细		少	橙红色,细	没有	枪尖($w_{Mo}=1.0\%$,低C)	硬
Si			橙黄 (高Si)	短	粗		少	白色,短	没有	流线尖端白亮点(低C) 钩状尾花 (高Si低C)	不太硬
Ni			黄	短	细		少	黄色,细	没有	流线上出现鼓肚 (低Ni,低C)	硬
高Cr			黄	短		较少	少				硬

(1) 钨 钨对爆花产生的抑制作用最强。钨在一般钢中形成碳化物，其熔点高，导热性差，导致磨削钢粒在离开砂轮的瞬间 CO 反应受阻。 $w_W=1\%$ 时，爆花显著减少； $w_W>2.5\%$ 时，爆花呈秃尾状。随着钨含量的增加，火花色泽变暗，当 $w_W=5\%$ 时，可完全抑制爆花的产生，火花束呈暗红色。钨对爆花抑制作用的大小还与钢中含碳量有关，低碳钢中 $w_W=4\%\sim5\%$ 时，完全可以抑制爆花发生。钨钢中含碳量越高，越是呈暗红色火花。

(2) 钼 钼具有较强的抑制爆花作用，它能细化芒线并加深火花色泽。钼钢火花不明亮，钼含量较高时火花呈深橙红色。有没有枪尖尾花，取决于钼钢的碳含量，含碳量低则枪尖明显，钼钢中 $w_C=0.5\%$ 时，就不易出现枪尖尾花。

(3) 硅 硅是抑制爆花的元素。 $w_{Si}=2\%\sim3\%$ 时，抑制作用较明显，它能使爆裂芒线缩短。如观察硅钢片 $w_{Si}=4\%\sim5\%$ ， $w_C=0.5\%\sim0.1\%$ 的火花，只能在火花束间发现 1~2 根单芒线爆花，并出现明亮的闪点。硅锰弹簧钢的火花呈橙黄色，流线粗而短，芒线粗且少。

(4) 镍 镍对爆花有较弱的抑制作用，使花形不整齐和缩小，流线较碳钢细。随着镍含量增高，流线的数量减少，长度变短，色泽变暗。

(5) 铬 铬对火花的影响比较复杂，在低铬、低碳钢中，铬助长火花爆裂，增加流线的数量及长度，火花束呈亮白色，爆花为一、二次花，花型较大。在含碳较高的低铬钢中，铬助长爆裂作用不明显，有时观察不到枝状爆花。虽然火花束仍然显得很明亮，但流线短而少。随着铬含量增加，爆裂强度、流线长度、流线数量等均有所减少，色泽也将变暗。铬钢中若含有其它抑制爆裂或助长爆裂的合金元素，则火花现象表现复杂，需有较丰富的经验才能鉴别。

(6) 锰 锰元素有助长爆花爆裂的作用。锰钢的火花爆裂强度比碳钢高，爆花位置比碳钢离砂轮远。钢中含锰量稍高时，钢的火花比较整齐，色泽也比碳钢黄亮，含碳量较低的锰钢火花呈白亮色，爆花核心有大而白亮的节点，花型较大，芒线稀少且细长。含碳量较高的锰钢，其爆花有较多的花粉。低锰钢的流线粗而长，量较多，高锰钢的流线短粗且量少。由于锰是助长爆花爆裂的元素，因此有时可能误认为钢的碳含量高。