

现代铜加工生产技术丛书

铜加工产品性能 检测技术

梅恒星 李耀群 编著



冶金工业出版社

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

现代铜加工生产技术丛书

铜加工产品性能检测技术

梅恒星 李耀群 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2008

内 容 简 介

本书是《现代铜加工生产技术丛书》之一,详细介绍了铜加工产品性能检测技术等。全书共分7章,内容包括:铜及铜合金化学成分检测、铜及铜合金组织结构分析、物理参数检测、力学及工艺性能检测、铜合金腐蚀试验、铜及铜合金的无损检测、铜加工企业检测实验室建设与试验数据处理等。

本书可供铜及铜合金加工生产的产品质量检测人员、工程技术人员、高级技工阅读,也可供相关专业的高校师生及金属质量检测和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铜加工产品性能检测技术/梅恒星,李耀群编著—北京:
冶金工业出版社,2008.3

(现代铜加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4480-8

I. 铜… II. ①梅… ②李… III. 铜—金属加工—性能—检测 IV. TG146.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 024577 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4480-8

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 3 月第 1 版,2008 年 3 月第 1 次印刷

148mm×210mm;13.75 印张;366 千字;422 页;1-3500 册

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



李耀群 1962年毕业于北京钢铁学院（现北京科技大学）压力加工专业。教授、高级工程师。

现任高新张铜股份有限公司技术总监、中国有色金属加工工业协会理事、江苏省高级技术职称评审委员会委员。

曾任北京冶金研究所副总工程师、北京铝箔厂厂长、北京京圣工业技术开发公司总工程师、中国信息协会有色分会常务理事等。

先后率团访问日本、英国、俄罗斯、法国、德国等国家的有色金属加工企业。主持“超高强度不锈钢”等科研项目获北京市科技进步奖三等奖。参加“内螺纹铜管”标准制定，2005年被全国有色金属标准化技术委员会授予“有色金属标准化特殊贡献者”称号。

在有关刊物上发表论文、译文100多篇，出版著作《多辊冷轧机冷轧技术》、《现代铜加工生产技术丛书》等6部，参与《铜加工技术实用手册》编写并担任编写委员会委员。



梅恒星 1968年毕业于北京钢铁学院(现北京科技大学)冶金物理化学专业。高级工程师。现任中国有色金属加工工业协会重有色分会秘书长、《铜加工》杂志主编,国家级计量认证/审查认可评审员。

长期从事有色金属产品化学分析工作,曾任洛阳铜加工厂中央试验室主任、洛阳铜加工集团检测中心主任。组织或参与多项分析方法标准起草和标准样品研制,曾获多项部级科技进步奖三等奖和四等奖。

在有关杂志上发表论文多篇,参与有色金属工业职工培训教材《分析化学》审稿并担任编委会委员;参与《铜加工技术实用手册》编写并担任编写委员会委员。

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
铜加工技术实用手册	268.00
铜加工生产技术问答	69.00
铜水(气)管及管接件生产、使用技术	28.00
冷凝管生产技术	29.00
铜及铜合金挤压生产技术	35.00
铜及铜合金熔炼与铸造技术	28.00
铜合金管及不锈钢管	20.00
现代铜盘管生产技术	26.00
高性能铜合金及其加工技术	29.00
铝加工技术实用手册	248.00
铝合金熔铸生产技术问答	49.00
镁合金制备与加工技术	128.00
薄板坯连铸连轧钢的组织性能控制	79.00
彩色涂层钢板生产工艺与装备技术	69.00
铝合金材料的应用与技术开发	48.00
大型铝合金型材挤压技术与工模具优化设计	29.00
连续挤压技术及其应用	26.00
多元渗硼技术及其应用	22.00
铝型材挤压模具设计、制造、使用及维修	43.00
金属挤压理论与技术	25.00
金属塑性变形的实验方法	28.00
复合材料液态挤压	25.00
型钢孔型设计(第2版)	24.00
简明钣金展开系数计算手册	25.00
控制轧制控制冷却	22.00
金属塑性变形力计算基础	15.00
板带铸轧理论与技术	28.00
高精度板带轧制理论与实践	70.00
小型型钢连轧生产工艺与设备	75.00

《现代铜加工生产技术丛书》

编 委 会

主 任 潘家柱

副主任 郭照相 钟卫佳 贾明星

编 委 (按姓氏笔画排序)

王跃进	冯天杰	刘占海	刘 瑞
孙立金	孙叙芝	孙徐良	杨世弘
杨建军	肖克建	宋宝楹	李文君
李保成	李贻煌	李耀群	张登科
周 宁	林永兴	郑显伟	苗德纯
赵孟禄	徐 弘	袁映辉	浦益龙
郭铁军	唐燕林	戚建萍	傅迎客
蒋明根	鲍志成	潘兆友	

编写组成员

组 长 李耀群

副组长 张登科

撰稿专家 (按姓氏笔画排序)

马可定	王碧文	兰利亚	刘永亮
刘华山	杨丽娟	汪明朴	肖恩奎
李耀群	范顺科	易茵菲	居敏刚
赵宝良	钱俏鹂	郭 莉	曹建国
梅恒星			

前 言

2004 年，中国的铜加工材产量居世界第一位，2006 年，中国的铜加工材产量已占全球铜加工材产量的三分之一，消费量也居世界首位。目前中国已经成为铜材的生产和消费大国。

铜及铜合金加工材产品的质量主要取决于其化学成分、组织结构和表面质量等。因此，加工过程半成品及产成品的质量检测就显得十分重要，它既可为企业控制产品质量、提高成品率提供指导，又可向用户提供产品质量评价，促进产品销售和应用。

产品质量是靠先进的设备、良好的工艺、严格的管理和高素质的员工生产出来的。但产品质量的不断改进和产品质量的评价，需要借助齐全的检测手段。目前，即使在一些规模比较大的国内铜加工企业，也缺乏齐全、先进的检测手段，更不具备研制新产品、改进现有产品质量所需要的完善的检测体系。

随着铜加工技术的不断进步，铜加工材的新产品、新牌号不断涌现，如框架材料、齿环材料等，这些新产品在成分分析、性能检测等方面都有新的要求，因此，性能检测技术、方法、内容和设备的不断提高和改进也愈显重要。

铜加工过程及产品的性能检测涉及化学成分检测、组织结构检测、力学性能检测、物理性能检测、无损检测、腐蚀试验。要做到准确、及时地检测，提供科学、公正的检测数据，不仅要求检测实验室具备先进的检测

仪器、训练有素的人员和良好的检测技术，而且必须对实验室进行科学的管理。本书将依次介绍铜及铜合金加工过程半成品及产成品的化学成分检测、组织结构检测、物理参数测试、力学及工艺性能检测、耐蚀性能检测、探伤检测等，并介绍铜加工企业理化检测实验室建设、评定认可及检测数据的处理等。

本书共分7章，第1章由梅恒星、胡晓春撰写；第2章和第3章由路俊攀撰写；第4章由王永翔撰写；第5章由秦勇撰写；第6章由李湘海撰写；第7章由梅恒星撰写。全书由梅恒星、李耀群统编和审定。

本书几位作者在不同的检测领域多年从事检测工作，都是检测工作领域的专家，又具有多年的检测实验室管理经验。因此，本书既有各个检测领域的具体检测方法的论述，也有结合铜加工企业生产对检测专业管理经验的总结，又反映了铜加工产品检测领域最新的检测技术进展，技术性和实用性并举，是铜加工产品性能检测人员必备的技术读物，也可供铜加工企业和铜材使用单位的工程技术人员和企业管理人员参考，以便他们更好地了解、利用检测手段为生产和科研服务，更好地提高产品质量。

本书在编写和出版过程中，得到了中铝洛阳铜业有限公司总经理钟卫佳、国际铜业协会亚洲区总裁徐弘、有色金属技术经济研究院院长贾明星等的大力支持，同时上述三个单位对我国铜加工业的发展都做出过重要贡献，在此我们表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中不妥之处，欢迎业界专家和广大读者批评指正。

作 者

2007年12月18日

目 录

1 铜及铜合金化学成分检测	1
1.1 分析化学的任务、发展历程及化学分析方法的分类 ...	1
1.1.1 分析化学的任务	1
1.1.2 分析化学发展历程	1
1.1.3 分析化学的发展趋势	2
1.1.4 化学分析方法的分类	3
1.2 铜及铜合金化学分析常识	4
1.2.1 铜及铜合金产品化学分析特点	4
1.2.2 铜及铜合金产品化学分析样品	5
1.2.3 铜及铜合金化学分析方法标准	8
1.2.4 检测结果有效性判定	15
1.2.5 仪器分析的特点	18
1.3 滴定法	20
1.3.1 滴定分析法概述	20
1.3.2 铜合金常用的滴定方法	22
1.3.3 滴定法——碘量法测定铜量	25
1.4 重量法	26
1.4.1 重量法主要的分离方法	26
1.4.2 恒电流电解重量法测定铜量	28
1.5 分光光度法	32
1.5.1 分光光度法原理	32
1.5.2 分光光度计的构造	33

1.5.3	显色反应与显色条件	34
1.5.4	工作曲线	35
1.5.5	铜合金常用的分光光度分析方法	35
1.5.6	以 1, 10 二氮杂菲分光光度法测定铁量	41
1.6	原子吸收光谱法	44
1.6.1	原子吸收光谱法原理	44
1.6.2	火焰法原子吸收光谱仪构造及仪器性能	45
1.6.3	火焰原子吸收法仪器条件选择	47
1.6.4	火焰原子吸收分析中的干扰与消除	49
1.6.5	铜及铜合金中常见元素火焰原子 吸收光谱分析方法	50
1.7	电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)	59
1.7.1	ICP-AES 方法原理及仪器各部分功能	60
1.7.2	仪器使用条件选择	63
1.7.3	ICP-AES 分析中的干扰	64
1.7.4	铜及铜合金各元素 ICP-AES 分析方法 行业标准简介	64
1.8	摄谱与直读发射光谱法	74
1.8.1	原子光谱与光谱分析	74
1.8.2	发射光谱的光源	77
1.8.3	色散系统	80
1.8.4	试样激发方法	82
1.8.5	发射光谱分析方法	83
1.8.6	铜及铜合金光电直读分析方法行业标准 简介	95
1.9	X 射线荧光光谱分析法	101
1.9.1	X 射线光谱	102
1.9.2	X 射线荧光光谱仪	105

1.9.3 X射线荧光定性分析	106
1.9.4 X射线荧光定量分析	107
1.9.5 铜及铜合金X射线荧光光谱分析 方法行业标准简介	112
1.10 红外吸收分析法	117
1.10.1 碳、硫的测定	117
1.10.2 氧的测定	118
1.11 化学分析用标准样品研制	120
1.11.1 术语	120
1.11.2 标样的基本要求和在分析测试中的应用	120
1.11.3 有色金属标准样品研制相关技术标准	121
1.11.4 铜合金标准样品研制程序	122
2 铜及铜合金组织结构分析	140
2.1 金属的晶体结构及铜合金的相	140
2.1.1 金属和合金的晶体结构	140
2.1.2 金属相和相图	144
2.1.3 铜合金中的相和二元相图	153
2.2 宏观组织检验	164
2.2.1 体视显微镜	165
2.2.2 宏观组织检验用样品	166
2.2.3 宏观组织检验及组织特点	169
2.3 显微组织检验	172
2.3.1 金相显微镜	172
2.3.2 试样制备	178
2.3.3 显微组织检验	183
2.3.4 晶粒度的测量	184
2.3.5 纯铜中氧的测量(金相法)	187

2.3.6 织构分析	189
2.4 电子显微分析技术	192
2.4.1 透射电子显微技术	192
2.4.2 扫描电子显微技术	197
2.4.3 电子探针 X 射线显微分析仪	203
2.4.4 俄歇电子能谱仪	204
2.5 铜及铜合金常见缺陷	206
2.5.1 铸造制品缺陷	206
2.5.2 加工制品缺陷	211
3 物理参数检测	219
3.1 导电性能的检测	219
3.1.1 基本概念	219
3.1.2 影响电阻率的因素	221
3.1.3 测量方法	222
3.2 密度的检测	231
3.2.1 密度的基本概念	231
3.2.2 密度的测量方法	232
3.3 热导率的检测	234
3.3.1 热导率的基本概念	234
3.3.2 热导率的测量方法	236
3.4 线胀系数的检测	237
3.4.1 线胀系数的基本概念	237
3.4.2 线胀系数的测量方法	238
3.5 弹性模量的检测	239
3.5.1 弹性模量的基本概念	239
3.5.2 弹性模量的测量方法	240
3.6 温度的检测	241

3.7 残余应力测定的分条变形方法	243
3.7.1 分条变形方法原理	243
3.7.2 分条变形测量方法	243
3.7.3 分条变形方法的分析应用	245
4 力学及工艺性能检测	248
4.1 室温拉伸试验性能的测定	248
4.1.1 试验原理	249
4.1.2 定义	250
4.1.3 检测方法	252
4.1.4 拉伸试样	255
4.1.5 拉力试验机	261
4.1.6 试验注意事项	262
4.1.7 影响拉伸试验结果的主要因素	265
4.1.8 拉伸试验新旧标准性能名称和符号对照	266
4.2 高温拉伸试验性能的测定	268
4.2.1 试验原理及范围	268
4.2.2 定义	268
4.2.3 试验设备	269
4.2.4 试样	270
4.2.5 试验方法	271
4.2.6 试验注意事项	274
4.3 硬度试验	275
4.3.1 布氏硬度试验	277
4.3.2 洛氏硬度试验	287
4.3.3 维氏硬度试验	306
4.3.4 韦氏硬度试验	324
4.3.5 使用硬度计应注意的事项	326

4.4	工艺性能试验	327
4.4.1	扩口试验	328
4.4.2	压扁试验	330
4.4.3	弯曲试验	331
4.4.4	杯突试验	335
4.4.5	金属线材扭转试验	338
4.5	弹性模量试验(静态法)	339
5	铜合金腐蚀试验	342
5.1	铜合金腐蚀的类型和特点	342
5.2	腐蚀试验方法	343
5.2.1	腐蚀试验方法的选择	343
5.2.2	试验条件及影响因素	344
5.2.3	常规腐蚀评定方法	346
5.2.4	常规腐蚀试验方法	348
5.3	热交换器用铜合金管的残余应力试验	349
5.3.1	GB/T 10567.1《铜及铜合金加工材残余应力 检验方法—硝酸亚汞试验法》	349
5.3.2	GB/T 10567.2《铜及铜合金加工材残余应力 检验方法—氨熏试验法》	350
5.3.3	GB/T8000《热交换器用黄铜管残余应力 检验方法》	351
6	铜及铜合金的无损检测	352
6.1	概述	352
6.2	超声检测	352
6.2.1	基本原理	352
6.2.2	方法分类	352

6.2.3 超声检测仪器	353
6.2.4 超声检测在铜及铜合金产品中的应用	353
6.3 涡流检测	356
6.3.1 基本原理	356
6.3.2 方法分类	356
6.3.3 涡流检测仪器	358
6.3.4 涡流检测在铜及铜合金产品中的应用	358
6.4 射线检测	359
6.4.1 基本原理	359
6.4.2 方法分类	360
6.4.3 X射线机	360
6.4.4 射线照相检测工艺	360
6.5 渗透检测	363
6.5.1 基本原理	363
6.5.2 渗透检测的基本操作程序	364
7 铜加工企业检测实验室建设与实验数据处理	367
7.1 实验室能力的通用要求	368
7.1.1 概述及术语	368
7.1.2 检测实验室的管理要求	370
7.1.3 检测实验室的技术要求	376
7.2 实验室认可评定	383
7.2.1 实验室质量体系的建立和运行	383
7.2.2 实验室认可评定程序	387
7.3 实验室环境、安全管理	388
7.3.1 实验室的环境污染与防治	388
7.3.2 实验室的安全要求	388
7.4 试验数据处理	390

7.4.1	基本概念	390
7.4.2	检测数据的取舍	395
7.4.3	数值修约与产品合格值判定	398
7.4.4	测量不确定度	401
7.5	实验室检测能力验证结果的评价	407
7.5.1	概述	408
7.5.2	经典 Z 值评价法	409
7.5.3	稳健 Z 值评价法 (避免离群值的影响)	410
7.5.4	每室报出两个测试数据时的稳健评价法	412
7.5.5	能力验证结果的图解	414
7.6	理化检测常用计量单位	414
7.6.1	法定计量单位	414
7.6.2	理化检测常用计量单位	417
参考文献		420