

“十一五”国家重点图书出版规划项目

# Cu

中国有色金属丛书  
中国有色金属工业协会组织编写

# 加工铜产品 检验技术

路俊攀 编著

Nonferrous Metals

 中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



“十一五”国家重点图书出版规划项目



# 加工铜产品检验技术

中国有色金属工业协会组织编写

 中南大学出版社  
[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

---

图书在版编目(CIP)数据

加工铜产品检验技术/路俊攀编著. —长沙:中南大学出版社,  
2010. 12

ISBN 978-7-5487-0160-6

I. 加... II. 路... III. 铜—金属加工—检验—技术  
IV. TG146. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256433 号

---

加工铜产品检验技术

路俊攀 编著

- 
- 责任编辑 唐仁政  
责任印制 文桂武  
出版发行 中南大学出版社  
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083  
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482  
印 装 国防科大印刷厂

- 
- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 15.25 字数 351 千字  
版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5487-0160-6  
定 价 57.00 元
- 

图书出现印装问题,请与出版社调换

中国有色金属丛书  
**NMS** 编委会

**主任:**

康 义 中国有色金属工业协会

**常务副主任:**

黄伯云 中南大学

**副主任:**

熊维平	中国铝业公司
罗 涛	中国有色矿业集团有限公司
李福利	中国五矿集团公司
李贻煌	江西铜业集团公司
杨志强	金川集团有限公司
韦江宏	铜陵有色金属集团控股有限公司
何仁春	湖南有色金属控股集团有限公司
董 英	云南冶金集团总公司
孙永贵	西部矿业股份有限公司
余德辉	中国电力投资集团公司
屠海令	北京有色金属研究总院
张水鉴	中金岭南有色金属股份有限公司
张学信	信发集团有限公司
宋作文	南山集团有限公司
雷 毅	云南锡业集团有限公司
黄晓平	陕西有色金属控股集团有限公司
王京彬	有色金属矿产地质调查中心
尚福山	中国有色金属工业协会
文献军	中国有色金属工业协会

**委员(以姓氏笔划排序):**

马世光	中国有色金属工业协会加工工业分会
马宝平	中国有色金属工业协会铝业分会
王再云	中铝山东分公司
王吉位	中国有色金属工业协会再生金属分会
王华俊	中国有色金属工业协会
王向东	中国有色金属工业协会钛锆铪分会
王树琪	中条山有色金属集团有限公司

王海东  
乐维宁  
许健  
刘同高  
刘良先  
刘柏禄  
刘继军  
李宁  
李凤轶  
李阳通  
李沛兴  
李旺兴  
杨超  
杨文浩  
杨安国  
杨龄益  
吴跃武  
吴锈铭  
邱冠周  
冷正旭  
汪汉臣  
宋玉芳  
张麟  
张创奇  
张洪国  
张洪恩  
张培良  
陆志方  
陈成秀  
武建强  
周江  
赵波  
赵翠青  
胡长平  
钟卫佳  
钟晓云  
段玉贤  
胥力  
黄河  
黄粮成  
蒋开喜  
傅少武  
瞿向东

中南大学出版社  
中铝国际沈阳铝镁设计研究院  
中冶葫芦岛有色金属集团有限公司  
厦门钨业集团有限公司  
中国钨业协会  
赣州有色冶金研究所  
荏平华信铝业有限公司  
兰州铝业股份有限公司  
西南铝业(集团)有限责任公司  
柳州华锡集团有限责任公司  
白银有色金属股份有限公司  
中铝郑州研究院  
云南铜业(集团)有限公司  
甘肃稀土集团有限责任公司  
河南豫光金铅集团有限责任公司  
锡矿山闪星锑业有限责任公司  
洛阳有色金属加工设计研究院  
中国有色金属工业协会镁业分会  
中南大学  
中铝山西分公司  
宝钛集团有限公司  
江西钨业集团有限公司  
大冶有色金属有限公司  
宁夏东方有色金属集团有限公司  
中国有色金属工业协会  
河南中孚实业股份有限公司  
山东丛林集团有限公司  
中国有色工程有限公司  
厦门厦顺铝箔有限公司  
中铝广西分公司  
东北轻合金有限责任公司  
中国有色金属工业协会  
中国有色金属工业协会  
中国有色金属工业协会  
中铝洛阳铜业有限公司  
江西稀有稀土金属钨业集团公司  
洛阳栾川钼业集团有限责任公司  
遵义钛厂  
中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司  
中铝国际贵阳铝镁设计研究院  
北京矿冶研究总院  
株洲冶炼集团有限责任公司  
中铝广西分公司

中国有色金属丛书  
**CNMS 学术委员会**

**主任：**

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

**常务副主任：**

黄伯云 院士 中南大学

**副主任(按姓氏笔划排序)：**

于润沧 院士 中国有色工程有限公司  
古德生 院士 中南大学  
左铁镛 院士 北京工业大学  
刘业翔 院士 中南大学  
孙传尧 院士 北京矿冶研究院  
李东英 院士 北京有色金属研究总院  
邱定蕃 院士 北京矿冶研究院  
何季麟 院士 宁夏东方有色金属集团有限公司  
何继善 院士 中南大学  
汪旭光 院士 北京矿冶研究院  
张文海 院士 南昌有色冶金设计研究院  
张国成 院士 北京有色金属研究总院  
陈景 院士 昆明贵金属研究所  
金展鹏 院士 中南大学  
周廉 院士 西北有色金属研究院  
钟掘 院士 中南大学  
黄培云 院士 中南大学  
曾苏民 院士 西南铝加工厂  
戴永年 院士 昆明理工大学

**委员(按姓氏笔划排序)：**

卜长海 厦门厦顺铝箔有限公司  
于家华 遵义钛厂  
马保平 金堆城钼业集团有限公司  
王辉 株洲冶炼集团有限责任公司  
王斌 洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生  
尹晓辉  
邓吉牛  
吕新宇  
任必军  
刘江浩  
刘劲波  
刘昌俊  
刘侦德  
刘保伟  
刘海石  
刘祥民  
许新强  
苏家宏  
李宏磊  
李尚勇  
李金鹏  
李桂生  
吴连成  
沈南山  
张一宪  
张占明  
张晓国  
邵武  
苗广礼  
周基校  
郑蒲  
赵庆云  
战凯  
钟景明  
俞德庆  
钱文连  
高顺  
高文翔  
郭天立  
梁学民  
廖明  
翟保金  
熊柏青  
颜学柏  
戴云俊  
黎云

赣州有色冶金研究所  
西南铝业(集团)有限责任公司  
西部矿业股份有限公司  
东北轻合金有限责任公司  
伊川电力集团  
江西铜业集团公司  
洛阳有色金属加工设计研究院  
中铝山东分公司  
中金岭南有色金属股份有限公司  
中铝广西分公司  
山东南山集团有限公司  
中铝股份有限公司  
中条山有色金属集团有限公司  
柳州华锡集团有限责任公司  
中铝洛阳铜业有限公司  
金川集团有限公司  
中铝国际沈阳铝镁设计研究院  
江西稀有稀土金属钨业集团公司  
青铜峡铝业集团有限公司  
云南铜业(集团)公司  
湖南有色金属控股集团有限公司  
中铝山西分公司  
河南豫光金铅集团有限责任公司  
铜陵有色金属(集团)公司  
甘肃稀土集团有限责任公司  
江西钨业集团有限公司  
中铝国际贵阳铝镁设计研究院  
中铝郑州研究院  
北京矿冶研究总院  
宁夏东方有色金属集团有限公司  
云南冶金集团总公司  
厦门钨业集团有限公司  
宝钛集团有限公司  
云南锡业集团有限责任公司  
中冶葫芦岛有色金属集团有限公司  
河南中孚实业股份有限公司  
白银有色金属股份有限公司  
大冶有色金属有限公司  
北京有色金属研究总院  
陕西有色金属控股集团有限责任公司  
锡矿山闪星锑业有限责任公司  
中铝贵州分公司

# 总序

中国有色金属丛书  
NMS

有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业



已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

康翔

2009年3月

# 前 言

近几年来我国铜加工技术、装备和生产规模得到了突飞猛进的发展，铜加工产品的应用领域也日益扩大，应用的层次越来越高，特别是在微电子领域、航天、航海领域扮演着重要角色，成为高新技术和国防建设不可或缺的重要金属材料产品。另一方面工业化生产逐步由传统的粗放型向更合理更优化的精加工时代转变，铜产品的品质得到了快速的提升。

然而随着国际经济一体化进程的加快，特别是铜加工产品全球化采购时代的到来，对品质的要求越来越高，尤其是国际知名企业纷纷在国内设立制造厂，国内和国外铜加工企业的产品同台竞争，原有的价格和地域优势逐步在淡化，产品的品质日益成为竞争的关键。

目前国内铜加工企业除了产品品种较少和高性能铜合金开发滞后外，最主要的问题是成品率不高和整体品质不稳定，在与国外同类产品竞争中，往往处于下风。要改变这种局面提升产品品质除了在工艺优化、原辅材料、员工操作、设备状态以及工艺纪律管理等方面采取措施外，加强产品品质过程控制和检验也是保证品质优良的关键措施。

《铜加工产品检验技术》一书正是为了适应铜产品品质提升的需要而编写出版的，该书是按照国家“十一五”重点图书出版规划，中南大学出版社组织的《中国有色金属》系列丛书中的一种，由中铝洛阳铜业有限公司负责编写。

《加工铜产品检验技术》一书为中国有色金属工业协会组织编写的“十一五”国家重点图书出版规划项目《有色金属丛书》中之一，共分 10 章，全面阐述了铜及铜合金的化学成分、宏观组织、微观组织、力学与工艺性能、物理性能、化学性能、无损检测、表面品质及几何尺寸检测的原理、方法和应用，并结合检测技术介绍了铜及铜合金的组织与性能特点，全书的最后对检测实验室的配置和管理进行了探讨。

本书的主要特点：

- (1) 贴近企业检验实际，检验的方法和设备大都是日常采用的，成熟可靠；
- (2) 方法的介绍力求简单明了，尽量按操作规程的形式给出，便于直接应用；
- (3) 检验的项目参数齐全，基本上涵盖了铜加工产品常见的参数；
- (4) 检验技术和铜及铜合金材料学理论并重，不仅介绍检验技术，还阐述铜

及铜合金的组织和相关性能特点,比如介绍了宏观组织检验技术后,重点介绍了铜及铜合金的宏观组织特点和宏观缺陷,介绍化学性能检测技术的同时给出了铜合金的化学性能特点,因此可以把本书看成是介绍检验技术和研究组织与性能的专门著作。

本书的读者对象主要是从事铜及铜合金生产、科研、教学和使用等方面的专业技术人员及理化检测、品质控制和管理人员。也适用于从事其他金属材料生产、科研等方面的专业技术人员和相关管理人员。

本书的撰写得到有关专家学者的大力支持。中国有色金属加工工业协会重有色分会秘书长梅恒星高级工程师、岛津国际贸易(上海)有限公司胡晓春高级工程师、中铝洛阳铜业有限公司李湘海、王永翔、秦勇等几位高级工程师为本书提供了部分资料。中铝洛阳铜业有限公司的娄东阁为本书绘制了大部分插图,张鲜华为本书的文字编校和修改做了大量工作。为本书的撰写提供帮助的还有中铝洛阳铜业有限公司的马可定先生,中铝洛阳铜业有限公司的有关领导以及中南大学出版社的程滨先生,本书的主审田荣璋教授和责任编辑唐仁政教授,在此致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏谬,不当之处恳请批评指正。

路俊攀

2009年3月18日

## 目 录



<b>第1章 概 论</b>	<b>1</b>
1.1 铜及铜合金及其工艺控制特点	1
1.1.1 铜及铜合金的分类和牌号	1
1.1.2 铜产品的类别及其工艺控制特点	3
1.2 铜产品的品质要求	4
1.2.1 铸造产品品质要求	4
1.2.2 板带箔条材品质要求	5
1.2.3 管棒型线材品质要求	5
1.3 铜产品的检验	5
1.3.1 检验项目	5
1.3.2 检验标准	6
1.3.3 检验设备仪器	9
1.3.4 检验项目或参数	10
<b>第2章 铜及铜合金化学成分检验</b>	<b>12</b>
2.1 化学成分分析概述	12
2.1.1 化学成分分析的方法	12
2.1.2 铜及铜合金成分分析特点和标准分析方法	13
2.2 化学成分检验用样品	16
2.2.1 化学成分检验的基本概念	16
2.2.2 样品的选取与制备	17
2.3 化学分析方法	19
2.3.1 滴定分析	19
2.3.2 重(质)量分析方法	20
2.4 仪器分析方法	22
2.4.1 分光光度法	22
2.4.2 原子吸收光谱法(AAS)	24
2.4.3 原子发射光谱法(AES)	26
2.4.4 X射线荧光光谱法(XRF)	31
2.4.5 红外吸收气体分析法	33
<b>第3章 铜的宏观检验</b>	<b>35</b>
3.1 宏观检验方法	35

3.1.1	试样的选取和制备	35
3.1.2	试样侵蚀	36
3.1.3	宏观组织检验	37
3.2	宏观检验用设备	37
3.2.1	体视显微镜的工作原理	37
3.2.2	体视显微镜的结构和特点	37
3.3	铸锭的宏观组织和常见宏观缺陷	38
3.3.1	铸造制品的宏观组织特点	38
3.3.2	铸造制品宏观缺陷	39
3.4	加工制品的宏观组织和常见宏观缺陷	42
3.4.1	加工制品的宏观组织	42
3.4.2	加工制品常见宏观缺陷	43
3.5	断口检验技术	49
3.5.1	试样选取与制备	49
3.5.2	断口检验	49
3.5.3	断口缺陷	50
<b>第4章</b>	<b>显微组织检验</b>	●
4.1	显微组织检验的方法	52
4.1.1	试样制备	52
4.1.2	试样侵蚀	54
4.1.3	显微组织检验	55
4.2	显微组织检验用设备	56
4.2.1	金相显微镜的构成和基本原理	56
4.2.2	金相显微镜几种主要参数	58
4.2.3	显微组织的观察方法	58
4.2.4	图像分析系统	59
4.3	铜及铜合金的显微组织和显微缺陷	60
4.3.1	铜及铜合金的显微组织	60
4.3.2	铜及铜合金的显微缺陷	63
4.4	晶粒度的测量	64
4.4.1	晶粒度的基本概念	64
4.4.2	晶粒度的测量方法	65
4.4.3	晶粒度的表述	68
4.5	纯铜中氧的测量	68
4.5.1	测量方法	69
4.5.2	“裂纹法”简介	70
4.6	电子显微分析技术	72
4.6.1	透射电子显微技术	72

4.6.2	扫描电子显微技术	75
4.6.3	电子探针 X 射线显微分析仪	78
4.6.4	俄歇电子能谱仪(AES)	79
4.6.5	其他电子显微技术简介	81
<b>第 5 章</b>	<b>力学性能检验</b>	<b>83</b>
5.1	硬度检验	83
5.1.1	概述	83
5.1.2	布氏硬度	83
5.1.3	维氏硬度	85
5.1.4	洛氏硬度	87
5.1.5	韦氏硬度	89
5.2	拉伸试验	91
5.2.1	拉伸试验的基本概念	91
5.2.2	拉伸试验用试样	94
5.2.3	强度和塑性指标的测定	99
5.2.4	拉伸试验中弹性模量的测定	101
5.2.5	高温拉伸试验	101
5.3	工艺性能试验	103
5.3.1	概述	103
5.3.2	金属管扩口试验	103
5.3.3	金属管压扁试验	104
5.3.4	金属管液压试验	105
5.3.5	金属杯突试验	106
5.3.6	金属冲杯试验	107
5.3.7	金属弯曲试验	108
5.3.8	金属材料厚度等于或小于 3mm 薄板和 薄带反复弯曲试验	111
5.3.9	金属线材扭转试验	112
5.3.10	抗软化性能检验	113
<b>第 6 章</b>	<b>物理性能测试</b>	<b>115</b>
6.1	密度的检测	115
6.1.1	密度的基本概念	116
6.1.2	密度的测量方法	116
6.2	热膨胀性能的检测	116
6.2.1	热膨胀的基本概念	119
6.2.2	线膨胀系数的测量方法	119
6.3	热传导性能的检测	121
6.3.1	热传导的基本概念	121

6.3.2	热导率的测量方法	122
6.4	弹性的检测	123
6.4.1	弹性的基本概念	123
6.4.2	弹性模量的测量方法	123
6.5	电学性能的检测	125
6.5.1	电学性能的基本概念	125
6.5.2	影响电阻率的因素	127
6.5.3	测量方法	127
6.6	残余应力测定的分条变形方法	133
6.6.1	分条变形方法原理	133
6.6.2	分条变形测量方法	134
6.6.3	分条变形方法的分析应用	135
6.7	铜加工过程中的温度检测	136
6.8	常见铜及铜合金物理性能	137
<b>第7章</b>	<b>铜的腐蚀性能检验</b>	
7.1	腐蚀试验方法概述	144
7.1.1	腐蚀的分类	144
7.1.2	研究腐蚀的方法	144
7.1.3	腐蚀试验条件及影响因素	145
7.1.4	腐蚀作用的评定方法	146
7.1.5	常规腐蚀试验方法	148
7.2	铜及铜合金的腐蚀特性	150
7.2.1	铜的耐蚀性	150
7.2.2	大气及气体腐蚀	150
7.2.3	水溶液腐蚀	151
7.2.4	黄铜的应力腐蚀	151
7.2.5	黄铜的脱锌腐蚀	152
7.2.6	加工铜合金在各种介质中的抗蚀等级	152
7.3	铜及铜合金常用腐蚀试验标准	156
7.3.1	铜及铜合金残余应力试验方法	156
7.3.2	黄铜耐脱锌腐蚀性能的测定	158
7.3.3	金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法	160
7.3.4	人造气氛中的盐雾腐蚀试验方法	162
7.3.5	有色金属大气腐蚀试验方法	163
<b>第8章</b>	<b>无损检测</b>	
8.1	超声检测	165
8.1.1	基本原理	165
8.1.2	超声波探伤设备	167

8.1.3	超声波探伤程序	168
8.1.4	超声波探伤在铜及铜合金产品中的应用	169
8.2	涡流检测	170
8.2.1	基本原理	170
8.2.2	涡流探伤设备	171
8.2.3	涡流探伤程序	171
8.2.4	涡流探伤在铜及铜合金产品中的应用	172
8.3	射线检测	173
8.3.1	基本原理	173
8.3.2	X射线探伤设备	174
8.3.3	X射线照相探伤程序	174
8.3.4	X射线探伤在铜及铜合金产品中的应用	175
8.4	渗透探伤	176
8.4.1	基本原理	176
8.4.2	渗透探伤设备和材料	177
8.4.3	渗透探伤操作程序	177
8.4.4	渗透探伤在铜及铜合金产品中的应用	179
<b>第9章</b>	<b>铜加工材表面与几何尺寸检验</b>	<b>180</b>
9.1	表面品质检验	180
9.1.1	目视检查	180
9.1.2	在线表面检查	180
9.1.3	表面化学性能的实验室评价	181
9.1.4	表面粗糙度的测量	182
9.1.5	管材内表面清洁度测量	185
9.1.6	管材内表面氯离子测量方法	186
9.1.7	铜管内表面碳膜测量	187
9.2	几何尺寸检测	188
9.2.1	板、带材几何尺寸检测	188
9.2.2	管、棒材几何尺寸检测	190
9.2.3	内、外螺纹管齿形测量	191
<b>第10章</b>	<b>检测实验室建设及管理</b>	<b>191</b>
10.1	检测实验室的配置	191
10.1.1	检测实验室的配置原则	192
10.1.2	专业检测室的设置	192
10.1.3	人员、仪器和检测方法的配置	192
10.2	检测实验室的管理体系	193
10.2.1	实验室认可组织和认可标准的发展	193
10.2.2	认可标准(准则)的主要内容	195



10.2.3	管理体系的构成	197
10.3	检测实验室的认可与能力验证	199
10.3.1	检测实验室的认可	199
10.3.2	实验室能力验证	200
10.4	测量误差与数据处理	201
10.4.1	基本概念	201
10.4.2	最小二乘法与回归分析	204
10.4.3	有效数字及数值修约	206
10.4.4	粗大误差的数据处理	207
10.4.5	能力验证的数据处理	208
10.4.6	测量不确定度的评定	211
10.5	检测实验室的安全问题	214
10.5.1	检测实验室通用安全注意事项	214
10.5.2	检测实验室危险性的种类	215
10.5.3	检测实验室常见化学品危险性评估	216
10.5.4	常见化学灼伤急救办法	216
10.5.5	常见有害废弃物的处理办法	217
<b>附录 检验标准汇总</b>		<b>218</b>
附 1	力学与工艺试验标准	218
附 2	物理性能试验标准	220
附 3	腐蚀性能试验标准	220
附 4	无损检测标准	221
附 5	金相试验标准	221
附 6	基础标准	222
附 7	化学分析方法标准	222
<b>参考文献</b>		<b>223</b>