

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Cu 铜及铜合金 粉末与制品

中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会组织编写

汪礼敏 主编

王林山 副主编

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



铜及铜合金粉末与制品

中国有色金属工业协会组织编写

汪礼敏 主 编

王林山 副主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

铜及铜合金粉末与制品/汪礼敏主编. —长沙:中南大学出版社,
2010. 12

ISBN 978-7-5487-0151-4

I. 铜... II. 汪... III. ①铜—粉末冶金制品②铜合金—粉末
冶金制品 IV. TG146. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 257242 号

铜及铜合金粉末与制品

汪礼敏 主编

-
- 责任编辑 刘颖维
 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 国防科技大学印刷厂
-

- 开 本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 374 千字
 版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
 书 号 ISBN 978-7-5487-0151-4
 定 价 52.00 元
-

图书出现印装问题,请与出版社调换

中国有色金属丛书
CNMS 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钪分会
王树琪	中条山有色金属集团有限公司

王海东	中南大学出版社
乐维宁	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
许 健	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘良先	中国钨业协会
刘柏禄	赣州有色冶金研究所
刘继军	荏平华信铝业有限公司
李 宁	兰州铝业股份有限公司
李凤轶	西南铝业(集团)有限责任公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
杨 超	云南铜业(集团)有限公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈铭	中国有色金属工业协会镁业分会
邱冠周	中南大学
冷正旭	中铝山西分公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
张 麟	大冶有色金属有限公司
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
武建强	中铝广西分公司
周 江	东北轻合金有限责任公司
赵 波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
胡长平	中国有色金属工业协会
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
胥 力	遵义钛厂
黄 河	中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司

中国有色金属丛书



NMS 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	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑莆	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限责任公司
戴云俊	锡矿山闪星锑业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

总序



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。为了全面提高劳动者素质，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。



2009年3月

前 言

铜及铜合金粉末作为粉末冶金行业的重要原材料,广泛应用于汽车、航空航天、电器、电子信息、纺织、食品等领域,对国民经济的发展起着重要的作用。进入21世纪以后,随着我国生产技术、装备的快速提升,我国铜及铜合金粉末也得到迅猛发展,据不完全统计,2009年我国铜及铜合金粉末的产量超过40 000 t,位居全球第一。

按照国家“十一五”重点图书出版规划项目,中国有色金属工业协会组织编写《中国有色金属丛书》的出版要求,我们通过对铜及铜合金粉末与制品的全面总结,将理论与生产实际结合起来,编写了这本《铜及铜合金粉末与制品》,期望对铜及铜合金粉末行业乃至粉末冶金行业的发展起到抛砖引玉的作用。

本书主要介绍了铜及铜合金粉末工业化生产方法及其制品,从粉末和其制品的生产原理、生产工艺、设备、产品性质、影响因素等方面进行系统介绍,并介绍了最新主要进展。铜及铜合金粉末部分主要介绍铜粉、铜合金粉末和铜基复合粉末3大类,生产方法有电解法、雾化法、氧化还原法、扩散法、内氧化法、化学法等。采用或主要采用铜及铜合金粉末生产的制品,主要有轴承、结构材料、摩擦材料、多孔材料、超硬工具材料、电工材料、热沉材料和涂层等。

本书由汪礼敏主编、王林山副主编。参编人员及其完成的章节分别为:汪礼敏(前言、第1章、第2章第2.1~2.3节);王林山(前言、第1章、第2章第2.1~2.3节、第10章、第11章);张敬国、张景怀(第2章第2.2、2.3节、第3章第3.1节、第4章第4.2节);闫世凯(第4章第4.1、4.3、4.4节和第8章);董小江、刘宇慧(第5章);李萍(第6章);姚屏萍(第7章);马飞、万新梁(第9章);王林山、穆艳如(第10章);付东兴、杨中元(第12章)。感谢夏志华教授、周贻茹教授、李学锋博士在本书编写过程中给予的指导,感谢研究生刘一浪、陈鹏在资料整理和文字录入方面给予了大力帮助。

在此要特别感谢赵慕岳教授担任本书的主审,为本书把关与添色。

本书适合于从事铜及铜合金粉末领域的生产、研究人员及工程技术人员阅读,也可作为相关专业的补充教材。

由于作者水平有限,书中难免有错漏之处,敬请读者批评指正。

作者
2010年8月

目 录



第1章 概 述	1
1.1 引言	1
1.2 铜及铜合金粉末的发展现状	2
1.3 铜基粉末冶金零部件的发展现状	4
第2章 铜粉生产	6
2.1 电解法	6
2.1.1 电解原理	7
2.1.2 电解铜粉的生产工艺	10
2.1.3 电解铜粉的性能	18
2.1.4 电解铜粉的应用	20
2.2 雾化法	21
2.2.1 雾化过程原理	21
2.2.2 影响雾化粉末性能的因素	22
2.2.3 气雾化铜粉生产	24
2.2.4 水雾化铜粉生产	30
2.2.5 雾化铜粉的性能及应用	36
2.3 氧化还原法	38
2.3.1 AOR 法原理	39
2.3.2 AOR 法生产工艺	40
2.3.3 影响铜粉性能的因素	43
2.3.4 氧化还原铜粉的粉末特性及应用	45
第3章 铜合金粉末生产	47
3.1 雾化法	47
3.1.1 黄铜粉末	48
3.1.2 青铜粉末	49
3.1.3 白铜粉末	52

3.1.4	真空雾化法制备铜基合金粉末	53
3.1.5	金刚石工具用胎体粉末	53
3.1.6	球形雾化铜及铜合金粉的应用与发展	54
3.2	扩散法	55
3.2.1	概述	55
3.2.2	扩散机理	56
3.2.3	原料对扩散粉性能的影响	57
3.2.4	扩散工艺对扩散粉物理性能的影响	60
3.2.5	扩散工艺对扩散粉合金化程度的影响	61
3.2.6	扩散工艺对扩散粉末合金相的影响	63
3.2.7	扩散合金粉的应用	64
第4章	铜基复合粉末	66
4.1	弥散强化铜用复合粉末	66
4.1.1	内氧化法制备 ODS 铜粉末	67
4.1.2	金属醇盐法制备 ODS 铜粉末	69
4.1.3	弥散强化铜的应用	70
4.2	铜包铁复合粉末	70
4.2.1	铜包铁复合粉末产品的发展	70
4.2.2	铜包铁复合粉末的制备原理	70
4.2.3	铜包铁复合粉末的生产工艺	71
4.2.4	以含铜废液为原料制备铜包铁复合粉工艺	75
4.2.5	铜包铁复合粉末的性能	76
4.2.6	铜包铁复合粉末的应用领域	77
4.3	银包铜粉末的制备	78
4.3.1	银包铜粉末的制备方法	79
4.3.2	银包铜粉末的应用	81
4.4	铜包石墨粉末的制备	82
4.4.1	铜包石墨粉末的应用原理	83
4.4.2	铜包石墨粉末的制备原理	83
4.4.3	铜包石墨粉末的制备工艺	84
4.4.4	铜包石墨粉末的应用	85
第5章	铜基含油轴承	87
5.1	概述	87
5.1.1	铜基含油轴承的发展历程	88

5.1.2	烧结含油轴承的工作原理	88
5.2	铜基含油轴承的判定因素	89
5.3	铜基含油轴承的生产标准	90
5.4	烧结青铜系含油轴承	91
5.4.1	烧结 CuSn10 系含油轴承	91
5.4.2	烧结铝青铜系含油轴承	96
5.4.3	其他青铜合金系含油轴承	96
5.5	铜基含油轴承制备工艺	96
5.5.1	粉末原料制备工艺	96
5.5.2	含油轴承的压制工艺	99
5.5.3	烧结工艺	99
5.5.4	后处理工艺	100
5.6	钢-烧结铜合金双金属轴承	100
5.6.1	钢-烧结铜-镍合金-巴氏合金复合轴承材料	101
5.6.2	钢背-烧结铜铅合金双金属轴承材料	101
第 6 章	铜基粉末冶金结构材料	104
6.1	烧结铜	104
6.2	烧结青铜	105
6.3	烧结黄铜	107
6.4	烧结铜-镍合金	110
第 7 章	铜基粉末冶金摩擦材料	112
7.1	铜基粉末冶金摩擦材料的特性	112
7.2	铜基粉末冶金摩擦材料的组成	113
7.2.1	基体组元	113
7.2.2	摩擦组元	114
7.2.3	润滑组元	114
7.3	铜基粉末冶金摩擦材料的分类	115
7.4	铜基粉末冶金摩擦材料的制备工艺	117
7.4.1	原料粉末和支承钢背的制备	117
7.4.2	原料粉末的混合	120
7.4.3	压制-烧结法	120
7.4.4	其他新工艺	126
7.4.5	后续处理	128

7.5	铜基粉末冶金摩擦材料的应用与发展	129
7.5.1	铜基粉末冶金摩擦材料的应用	129
7.5.2	铜基粉末冶金摩擦材料的发展趋势	131
第8章	铜基粉末冶金多孔材料	131
8.1	概述	133
8.1.1	粉末冶金多孔材料的工作原理	134
8.1.2	粉末冶金多孔材料的制备方法	134
8.2	铜基粉末冶金多孔材料的生产工艺	137
8.2.1	纯铜多孔材料的烧结	137
8.2.2	青铜多孔材料的烧结	137
8.2.3	过滤器的化学热处理	141
8.2.4	过滤器的再生	141
8.3	多孔材料的表征	142
8.3.1	孔隙率	142
8.3.2	多孔材料的最大孔径及孔径分布的测定	142
8.3.3	透气系数	143
8.3.4	过滤精度	145
8.3.5	剪切强度	145
8.4	铜基粉末冶金多孔材料的应用	145
8.4.1	烧结青铜过滤器	145
8.4.2	气液分离器	146
8.4.3	止火器	147
8.4.4	消音器	147
8.5	新型多孔材料	148
第9章	超硬工具材料	149
9.1	概述	149
9.2	金刚石工具的工作原理	150
9.3	铜及铜合金粉末在金刚石工具中的应用	150
9.3.1	铜在黏结剂中的作用	150
9.3.2	铜合金黏结剂在金刚石工具中的应用	150
9.3.3	粉末冶金法制造金刚石工具的工艺	154
9.3.4	金刚石工具制造设备	157
9.3.5	金刚石工具的应用	160

第 10 章 铜基粉末冶金电工材料	161
10.1 铜-石墨电刷	161
10.1.1 铜-石墨电刷的工作原理	162
10.1.2 铜-石墨电刷的制备工艺	163
10.1.3 铜-石墨电刷的性能	173
10.1.4 铜-石墨电刷的应用	175
10.2 电触头	175
10.2.1 电触头的性能要求	176
10.2.2 电触头的制备工艺	177
10.2.3 电触头的性能	182
10.2.4 电触头的应用	183
10.3 焊接电极	183
10.3.1 焊接电极的工作原理	184
10.3.2 弥散强化铜电极的制备工艺	184
10.3.3 焊接电极的应用	186
第 11 章 铜基粉末冶金热管理材料	187
11.1 铜基粉末冶金热沉材料	187
11.1.1 热沉材料的工作原理	187
11.1.2 热沉材料的制备工艺与材料选择	188
11.1.3 第二代热沉材料	190
11.1.4 第三代热沉材料	191
11.1.5 第四代热沉材料	196
11.2 热管	201
11.2.1 热管的工作原理	201
11.2.2 热管的制备工艺	203
11.2.3 热管的应用	205
11.3 铜基粉末冶金散热器	206
11.3.1 铜粉的影响	207
11.3.2 黏结剂的影响	207
11.3.3 混炼工艺的影响	208
11.3.4 制粒工艺	208
11.3.5 注射成形工艺	208
11.3.6 脱脂(黏结剂脱除)工艺的影响	209
11.3.7 烧结工艺的影响	209

11.3.8 铜散热器的应用	210
第 12 章 铜基喷涂涂层材料	211
12.1 热喷涂技术	211
12.1.1 热喷涂技术的分类	211
12.1.2 热喷涂设备	212
12.1.3 热喷涂技术的特点	212
12.1.4 热喷涂原理	213
12.2 冷喷涂技术	214
12.2.1 冷喷涂技术的优缺点	214
12.2.2 冷喷涂系统的构成	214
12.2.3 冷喷涂技术的工艺原理	216
12.2.4 冷喷涂技术的适用材料范围	216
12.3 铜及铜合金喷涂涂层材料	217
12.3.1 铜及铜合金粉末	217
12.3.2 铜基自熔性合金粉末	220
参考文献	221

第1章 概述

1.1 引言

铜为元素周期表中第一副族，元素符号为Cu，原子序数29，原子量63.546，密度为8.89 g/cm³，熔点为1 083℃，沸点约2 500℃，标准电位为+0.34 V，比热容为0.384 3 J/(g·K)。

纯铜呈玫瑰红色、金属光泽，但表面氧化后形成氧化铜薄膜，外观呈紫色，因此通常称为紫铜，其纯度通常大于99.5%。纯铜具有良好的韧性、可加工性，在室温下其延展性可达30%~45%（软态）、4%~6%（硬态），抗拉强度216~235 MPa（软态）、363~412 MPa（硬态）。铜具有优良的导电和导热性能，电导率为58 MS/m（电阻率 $1.724 \times 10^{-2} \mu\Omega \cdot m$ ），导热率为400 W/(m·K)，热膨胀系数为 $16.8 \times 10^{-6}/K$ ，是应用最广泛的导电材料和传热材料之一，广泛应用于家电、电力、汽车、铁路、建筑、船舶等几乎所有的行业。

20世纪20年代润滑多孔性青铜轴承的发明和发展，对铜粉的工业性生产起了极大的促进作用。最早的铜粉生产方法是还原铜的氧化物和电解法。20世纪30年代置换沉淀法规模化生产的铜粉开始应用于铜基摩擦材料。20世纪50年代雾化法和水冶法陆续开发成功，并实现规模化生产，尤其是雾化法发展特别迅速，到20世纪90年代已经成为一种制备铜及铜合金粉末的主要方法。

铜氧化物还原是一种比较古老的方法。它是将铜加工过程下来的铜鳞进行还原，然后破碎制备铜粉。这种方法制备的铜粉粒度一般较粗，目前的生产量较小。

在20世纪20年代早期，美国新泽西州卡尔特莱特自治区的金属精炼厂(USMR)开始生产电解铜粉，拥有大型的电解槽，每月生产铜粉末最长达455 t。电解法制备铜粉来源于电解铜的生产，其主要工艺是通过加大电流密度、降低铜离子浓度，从而获得电解铜粉。所制得的铜粉呈树枝状，成形性好。目前全球电解铜粉的年产量约4万t，占纯铜粉的70%以上，为最主要的制备方法。

随着产品对铜及铜合金粉末的需求，出现了雾化制粉工艺，包括气雾化、水雾化及其他雾化工艺，前两种为主要的铜及铜合金粉末生产工艺，占雾化铜及铜合金粉末产量的90%以上。具有生产成本低、无污染等优点。为了进一步降低雾化铜粉的松装密度，将雾化铜粉进行氧化，然后再还原制备出低松装密度的铜粉，可以部分取代电解铜粉的使用，但是对于电碳、冷压金刚石工具等对成形性要求非常高的应用，还不能取代。

据不完全统计，2009年全球铜及铜合金粉末的产量在10万t以上，主要应用有含油轴承、粉末冶金零部件、金刚石工具、电碳等，占总产量的90%以上。