

“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

加工铜及铜合金

金相图谱

路俊攀 李湘海 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



加工铜及铜合金 金相图谱

中国有色金属工业协会组织编写

路俊攀 李湘海 编著

 中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

加工铜及铜合金金相图谱/路俊攀,李湘海编著. —长沙:中南大学出版社,2010.12

ISBN 978-7-5487-0148-4

I. 加... II. ①路...②李... III. 铜合金-金相组织-图集 IV. TG146.1-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第251908号

加工铜及铜合金金相图谱

路俊攀 李湘海 编著

-
- 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 长沙瑞和印务有限公司

-
- 开 本 787×1092 1/16 印张 19.75 字数 489千字
版 次 2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5487-0148-4
定 价 79.00元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

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	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
郑萧	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。

The image shows a stylized signature in black ink, consisting of two large, bold characters that appear to be '康强' (Kang Qiang). The characters are written in a cursive, calligraphic style with varying line thickness and some overlapping strokes.

2009年3月

前 言

铜及铜合金具有优异的导电、导热、耐蚀等特性以及良好的工艺性能、力学性能，广泛应用于电力、电子、通讯、化工、机械、交通运输、海洋工程、航空航天、建筑装饰等领域。在经济建设、科技领域和人类生活中发挥着巨大作用，特别是随着人类文明的进步和物质文化生活水平的提高，铜及铜合金越来越成为重要的基础金属材料。

铜及铜合金的性能与其金相组织有着极为密切的内在联系。检验分析和控制不同状态下的金相组织，对于提高金属材料的产品质量、改进生产工艺、研制新型材料、准确选用材料等具有重要的实际意义。

原《铜及铜合金金相图谱》一书于1983年由原洛阳铜加工厂中心实验室金相组编写、冶金工业出版社出版，该书全面详尽地介绍了当时我国铜及铜合金的合金系列、牌号、成分、组织以及生产过程中出现的各种缺陷。作为铜及铜合金金相组织研究的基础和权威著作，20多年来，该书指导了我国铜及铜合金的材料研制和生产控制，得到业界的广泛认同，是广大工程技术人员必备的工具书。

改革开放后，国内铜加工企业、科研院所自主研发的新型铜合金和直接引进国外成熟的合金数量庞大。这些新型铜合金，大部分是在铜中添加微量和少量元素的微合金化铜和高铜合金，以及具有多组元的复杂合金，他们具有复杂的组织和相变特征。原图谱满足不了新合金组织分析的需要，因此有必要编写新的铜及铜合金金相图谱。按照国家“十一五”重点图书出版规划，中南大学出版社组织《中国有色金属丛书》的出版要求，由中铝洛阳铜业有限公司负责编写新的《加工铜及铜合金金相图谱》。

本书共分6章：第1章概述；第2章紫铜的金相组织；第3章黄铜的金相组织；第4章青铜的金相组织；第5章白铜的金相组织；第6章常见缺陷。全书主要按照《加工铜及铜合金牌号和化学成分》国家标准(GB/T 5231—2011)给出的合金系列(包括市场上已经成熟的其他牌号和国外标准牌号)，较为系统地介绍了常见铜及铜合金的铸造、加工及热处理的组织特点、相组成和形态分布；并按

照缺陷性质,分铸造、加工两部分介绍了实践中所发现的各种缺陷及其形貌特征,同时对其产生的原因和预防措施作了必要说明。本书还提供了关于相图、元素相互作用方面丰富的理论知识,便于在观察组织的同时进行分析研究。

本书第1、2、6章由路俊攀撰写,第3章由李湘海、娄东阁撰写,第4、5章由李湘海撰写,全书由路俊攀统筹。书中对原图谱图片进行了适当删减,保留了大部分图片;补充了大量由中铝洛阳铜业有限公司检测中心金属物理室多年来积累的新型铜合金组织及缺陷图片,其中新型铜合金组织图片主要由娄东阁、蒋长乐、杨忠、韦绍林等制作处理,另外部分图片由河南科技大学材料学院先进铜合金实验室和中船重工第七二五研究所六室提供。

特别感谢原金相图谱的主要编著者:李寿康、蔡家炎、刘克勤、叶同发、刘西海等老一代金相专家,是他们的智慧和辛勤劳动为本书奠定了基础。还要感谢为原图谱提供支持和帮助的其他单位和人员。本书在撰写过程中得到中铝洛阳铜业有限公司、中南大学出版社和德国卡尔蔡司材料显微镜中国总代理——北京普瑞赛司仪器有限公司的大力支持,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教授,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中的不当之处和谬误在所难免,敬请读者批评指正。

路俊攀 李湘海

2010年8月

目 录



第 1 章 概述	1
1.1 加工铜及铜合金的分类和牌号	1
1.1.1 我国加工铜及铜合金的分类和牌号	1
1.1.2 美国材料与试验协会标准加工铜及铜合金的分类	3
1.1.3 其他国际组织和国家铜及铜合金的分类	4
1.1.4 各国加工铜及铜合金牌号的对照	7
1.2 铜及铜合金的相、相图及相组成	7
1.2.1 铜及铜合金中的相及其晶体结构	7
1.2.2 铜合金相图	12
1.2.3 铜及铜合金的相组成	13
1.3 铜及铜合金各种状态的组织特点	15
1.3.1 铜及铜合金的铸造组织	15
1.3.2 铜及铜合金的压力加工组织	18
1.3.3 铜合金的热处理组织	20
第 2 章 紫铜的金相组织	24
2.1 紫铜的牌号和化学成分	24
2.2 微量元素和杂质的影响	30
2.2.1 微量元素和杂质对铜的性能的影响	30
2.2.2 各种元素与铜的作用特点	32
2.2.3 氢和稀土元素与铜的作用特点	37
2.3 紫铜的组织与相组成	37
2.3.1 纯铜、无氧铜与磷脱氧铜	37
2.3.2 银铜	38
2.3.3 碲铜	39
2.3.4 硫铜	39
2.3.5 锆铜	40
2.3.6 铁铜(Cu - Fe - P 系合金)	40
2.3.7 镁铜	41
2.3.8 锡铜	42
2.3.9 弥散强化铜	43

2.3.10	铬铜与铬锆铜	43
2.3.11	镍铬铜	45
2.3.12	铍铜	45
2.3.13	铅铜	47
2.3.14	钛铜	48
2.3.15	镉铜	49
第3章	黄铜的金相组织	88
3.1	黄铜的牌号和化学成分	88
3.2	普通黄铜	88
3.2.1	普通黄铜的组织及相组成	88
3.2.2	黄铜的工艺性能	95
3.2.3	黄铜的耐蚀性	96
3.3	复杂黄铜	97
3.3.1	锡黄铜	98
3.3.2	铅黄铜	99
3.3.3	铝黄铜	100
3.3.4	锰黄铜	102
3.3.5	铁黄铜	103
3.3.6	镍黄铜	104
3.3.7	硅黄铜	105
3.3.8	环保易切削黄铜	106
第4章	青铜的金相组织	148
4.1	青铜的牌号和化学成分	148
4.2	锡青铜	148
4.2.1	铜锡二元合金的组织及相组成	148
4.2.2	合金元素对锡青铜的影响	153
4.3	铝青铜	154
4.3.1	铜铝二元合金的组织及相组成	154
4.3.2	合金元素对铝青铜的影响	156
4.4	硅青铜	160
4.4.1	铜硅二元合金的组织及相组成	161
4.4.2	合金元素对硅青铜的影响	162
4.5	镍硅青铜(Cu - Ni - Si 系合金)	163
4.6	锰青铜	164
第5章	白铜的金相组织	196
5.1	白铜的牌号和化学成分	196
5.2	普通白铜	196

5.2.1	普通白铜的组织	196
5.2.2	合金元素对白铜的影响	197
5.3	复杂白铜	201
5.3.1	铁白铜	201
5.3.2	铝白铜	201
5.3.3	锌白铜	202
5.3.4	锰白铜	203
第6章	常见缺陷	212
6.1	铸造制品缺陷	212
6.1.1	偏析	212
6.1.2	气孔	216
6.1.3	缩孔与缩松	220
6.1.4	夹杂	223
6.1.5	裂纹	228
6.1.6	冷隔	233
6.1.7	晶粒不均	234
6.1.8	其他表面缺陷	236
6.2	加工制品常见缺陷	236
6.2.1	过热与过烧	236
6.2.2	裂纹与开裂	239
6.2.3	夹杂	251
6.2.4	异物压入	254
6.2.5	鼓泡	256
6.2.6	分层	258
6.2.7	脱锌	259
6.2.8	腐蚀	260
6.2.9	氧化	261
6.2.10	起皮、起刺	261
6.2.11	起皱	262
6.2.12	麻面	263
6.2.13	机械损伤	264
6.2.14	成分不均、组织不均	265
6.2.15	烧黏、撕裂	268
6.2.16	绿锈、印痕、污斑	268
6.2.17	压折、压漏	269
6.2.18	辊印	269
6.2.19	板形缺陷	270
6.2.20	板带材侧边缺陷	271

6.2.21	管材偏心、破肚	272
6.2.22	型材扭拧	273
6.2.23	表面环状痕	273
6.2.24	凸筋	275
6.2.25	过酸洗、酸洗不良	275
6.2.26	应力腐蚀开裂	276
6.2.27	挤制品缩尾	277
6.2.28	断口缺陷	282

参考文献

292

附录

293

第1章 概述

1.1 加工铜及铜合金的分类和牌号

铜及铜合金的种类和牌号繁多,不同国家和国际组织的分类和命名各不相同,其中最具代表性且比较统一的标准有:中国国家标准(GB)、美国材料与试验协会标准(ASTM)、国际标准化组织标准(ISO)、德国工业标准(DIN)、日本工业标准(JIS)、英国标准(BS)、法国国家标准(NF)、俄罗斯标准(ГОСТ)以及欧共体(欧盟)标准(EN)等。

上述9类标准的牌号表示方法可概括分为3大类:①按紫、黄、青、白分类标注,如中国国家标准(GB)、俄罗斯标准(ГОСТ);②以元素化学符号+含量直接标注,如国际标准化组织标准(ISO)、德国工业标准(DIN)、法国国家标准(NF)、欧共体(欧盟)标准(EN);③以字母+数字表示,如ASTM、JIS、BS(数字无特定含意)。

在这些标准中,除中国国家标准(GB)外,对我国影响较大的是美国材料与试验协会标准(ASTM)。

1.1.1 我国加工铜及铜合金的分类和牌号

我国传统上按合金系划分为紫铜(纯铜和高铜)、黄铜、青铜和白铜4大类。牌号命名是以“铜的种类代号+化学符号后的元素含量或顺序号”来表示,其中紫铜(纯铜和高铜)以“T”表示,黄铜以“H”表示,青铜以“Q”表示,白铜以“B”表示。

纯铜和高铜的具体命名方法为:纯铜以“T+顺序号”命名;无氧铜以“TU+顺序号”命名;磷脱氧铜以“TP+顺序号”命名;添加其他元素的纯铜和高铜以“T+添加元素化学符号+添加元素含量”命名。

黄铜的具体命名方法为:普通黄铜以“H+铜含量”命名;复杂黄铜以“H+第二主添加元素化学符号+除锌以外的元素含量(数字间以“-”隔开)”命名。

青铜以“Q+第一主添加元素化学符号+除铜以外的元素含量(数字间以“-”隔开)”命名。

白铜以“Q+第一主添加元素化学符号+除铜以外的元素含量(数字间以“-”隔开)”命名。

表1-1给出了加工铜及铜合金的牌号组成及示例。

表1-1 加工铜及铜合金的牌号组成

分类	牌号组成	示例
纯铜	T+顺序号 ^①	T2
无氧铜、磷脱氧铜	TU+顺序号 ^① 、TP+顺序号	TU1、TU2、TP2
纯铜(添加其他元素)、高铜	T+添加元素化学符号+添加元素含量 ^②	TAg0.1、TPb1

续表 1-1

分类	牌号组成	示例
普通黄铜(二元)	H + 铜含量	H90、H65
复杂黄铜(三元以上)	H + 第二主添加元素化学符号 + 除锌以外的元素含量(数字间以“-”隔开)	HPb89-2、HFe58-1-1 HMn62-3-3-0.7
青铜	Q + 第一主添加元素化学符号 + 除铜以外的元素含量(数字间以“-”隔开)	QA15、QSn6.5-0.1 QA110-4-4
普通白铜(二元)	B + 镍(含钴)含量	B5、B30
复杂白铜(三元以上)	B + 第二主添加元素符号 + 除铜以外的元素含量(数字间以“-”隔开)	BZn15-20、BA16-1.5 BFe30-1-1

注:①铜含量随着顺序号的增加而降低;②元素含量为名义百分含量(以下同)。

在加工铜及铜合金的牌号前冠以“铸造”一词汉语拼音的第一个大写字母“Z”表示铸造铜及铜合金的牌号,冠以“再生”英文单词 regenerative 的第一个大写字母“R”表示再生铜及铜合金的牌号。

为了便于同 ASTM 接轨,我国同时对铜及铜合金以代号来表示,方法为“字母 T + 5 位阿拉伯数字”,5 位阿拉伯数字同 ASTM 对应牌号相一致。

加工铜及铜合金的代号范围为“T10000 ~ T79999”,铸造铜及铜合金的代号范围为“T80000 ~ T99999”。

加工铜及铜合金代号的具体命名按表 1-2 的规定。

表 1-2 加工铜及铜合金代号的命名

分类	编号范围
铜	T10000 ~ T15999
高铜合金	T16000 ~ T19999
铜-锌合金(普通黄铜)	T20000 ~ T29999
铜-锌-铅合金(铅黄铜)	T30000 ~ T39999
铜-锌-锡合金(锡黄铜)	T40000 ~ T49999
铜-锡-磷合金(锡磷青铜)	T50000 ~ T52999
铜-锡-铅-磷合金(含铅锡磷青铜)	T53000 ~ T54999
铜-磷和铜-银-磷合金(铜焊合金)	T55000 ~ T56000
铜-铝合金(铝青铜)	T60000 ~ T64699
铜-硅合金(硅青铜)	T64700 ~ T66299
其他铜-锌合金(其他复杂黄铜)	T66300 ~ T69999
铜-镍合金(白铜)	T70000 ~ T72950
铜-镍-锌合金(镍银)	T73500 ~ T79830