

谢水生 李华清 李周 刘海涛

铜及铜合金产品 生产技术与装备

TONGJITONGHEJINCHANPIN
SHENGCHANJISHUYUZHUANGBEI



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

铜及铜合金产品生产技术与装备

主编 谢水生 李华清 李 周 刘海涛



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

铜及铜合金产品生产技术与装备/谢水生,李华清,李周,刘海涛
主编. —长沙:中南大学出版社,2014.12

ISBN 978-7-5487-1211-4

I. 铜... II. ①谢...②李...③李...④刘... III. ①铜-生产
工艺②铜合金-生产工艺 IV. TG146.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第259395号

铜及铜合金产品生产技术与装备

谢水生 李华清 李 周 刘海涛 主编

-
- 责任编辑 刘颖维
责任印制 易建国
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 长沙超峰印刷有限公司
-

- 开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 510千字
版 次 2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5487-1211-4
定 价 98.00元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

作者简介

About the Authors

谢水生 江西省赣州人，北京有色金属研究总院教授、博士生导师。1968年毕业于南昌大学(原江西工学院)压力加工专业，1982年于北京有色金属研究总院获得材料专业工学硕士学位，1986年4月于清华大学金属塑性加工专业获得工学博士学位。1990—1991年澳大利亚 Monash 大学访问学者，1995年新加坡国立大学高级访问学者。1993年起享受国务院政府特殊津贴。2000—2010年为中国有色金属学会第四届、第五届合金加工学术委员会主任。

曾任研究室主任、研究所所长、国家重点实验室总工等职。承担并负责：“高技术863”课题7项、“国家自然科学基金资助”课题9项、国家攻关课题6项、国家支撑计划项目2项、国际合作课题2项。获得国家专利30余项，国家科学技术进步二等奖1项、部级一等奖6项、二等奖9项、三等奖8项，在国内外刊物上发表论文350余篇。出版著作《有色金属材料的控制加工》《金属半固态加工技术》《锻压工艺及应用》《铝加工技术问答》《铝及铝合金产品生产技术与装备》《金属塑性成形的有限元模拟技术及应用》《铝加工技术实用手册》《简明镁合金材料手册》《铝合金材料的应用与技术开发》《现代铝合金板带——投资与设计、技术与装备、产品与市场》《钛材塑性加工技术》《铝加工缺陷与对策问答》《金属塑性成形的试验方法》等28部。指导和培养硕士、博士研究生和博士后共30余名。

社会兼职：南昌大学、燕山大学、江西理工大学、河南理工大学兼职教授；中国机械工程学会北京市机械工程学会理事，压力加工学会主任；中国机械工程学会塑性加工学会理事，半固态加工学术委员会副主任；国家自然科学基金第十二届、十三届工程与材料学部专家；《稀有金属》《塑性工程学报》《锻压技术》《有色金属再生与应用》编辑委员会委员。

李华清 1967年出生，博士，教授级高工，江苏省铜合金材料工程技术研究中心主任，从事铜及铜合金材料制备加工技术研究。

主持完成中铝科技基金“铜合金电磁辅助铸造技术研究”等科研项目2项，主持完成中色科技基金“大卷重铜铬锆产业化关键技术研究”等项目4项，主持完成江苏省科技基础设施建设计划及苏州市科技资金专项2项；主持完成国家强制标准《金属熔铸冷却系统安全设计规范》编撰；主持完成电磁辅助铸造等技术鉴定2项；获得授权发明专利8项、实用新型专利6项；发表科技论文20余篇。

李周 男，1969年生，山东文登人，教授，博士生导师，中南大学材料科学与工程学院副院长，湖南省新世纪121人才工程人选。

2002年11月在中南大学材料科学与工程学院取得博士学位。2007—2009年在英国Liverpool大学和新加坡南洋理工大学作高级研究员。2013年在德国亚琛工业大学作访问学者。

中国材料研究学会青年委员会第五届、第六届、第七届理事会理事，中国机械工程学会有色金属热处理技术委员会委员。

主要从事性能铜合金和阴极材料的研究工作。近5年来主持国家自然科学基金、国防基础研究项目、配套项目、国际铜业协会项目等10余项；以第一作者（或通讯作者）在ActaMaterialia, Corrosion Science, Materials Characterization, Intermetallics, Journal of Alloy and Compound, Journal of Materials Research, Materials Science and Engineering A等国内外著名杂志发表论文70余篇，出版专著2部，获授权发明专利10项。

刘海涛 1980年生，湖北随州人，高级工程师，洛阳铜加工集团有限责任公司技术中心副主任、洛阳铜麒麟镁业有限公司副经理，从事铜及铜合金材料开发、铜合金异型材产品研发以及变形镁及镁合金板材制备加工技术研发。

主持或参与国家科技支撑计划2项、国际科技合作计划项目1项、863计划项目1项、军品协作配套项目1项、中铝科技发展基金项目3项；获得中国有色金属工业协会科技进步奖1项；发明专利5项；参与编写《铜加工生产技术问答》《有色金属进展(第六卷)》《铜及铜合金熔炼与铸造生产技术问答》和《铜及铜合金板带加工技术问答》，发表学术论文10余篇。

前言

Foreword

铜具有良好的导电性、导热性，并具有较高的强度；同时，铜的成形性、抗腐蚀性和抗菌作用等综合性能良好。因此，铜被广泛应用于电力、家用电器、电子信息、机械制造、交通运输、建筑等相关行业，是现代工业、科技和国防发展不可缺少的基础材料，铜加工工业部门已经成为国民经济发展与国防建设的重要部门。

我国铜加工材约有 250 种合金，近千个产品品种。这些产品包括：导线、电缆、空调管、超长冷凝管、高散热管、同步器齿环、水道管、引线框架带、接插元件带、焊接带、变压器带、电缆带、水箱带、光伏铜带、长空芯导线、高速列车接触线、环保铜材、功能材料、合金线、单晶铜和高保真导线等。

铜加工在我国具有悠久的历史，如古铜器的生产和制造。但是，在近代我国的铜加工工业发展还是比较落后，直到 1875 年才在上海江南造船厂制造局建立第一家铜轧制厂，1949 年我国铜板、带产量只有 752 t，1978 年铜板、带产量才达到 34764 t。

可喜的是：自改革开放以来，我国大量的民营企业出现，使铜加工工业出现了新的快速发展局面。2000 年，我国铜加工材产量就达到了 219.7 万 t；2004 年，我国铜加工材年产量达 416.5 万 t，居世界第一；到 2013 年，我国电解铜产量达到 683.88 万 t，铜加工材产量达到 1498.7 万 t，表观消费量 1514.7 万 t，消费量占世界总产量的 40% 左右，已经成为名副其实的铜业大国。

进入 21 世纪以来，节约资源、节省能源、改善环境、发展清洁能源等已经成为人类生活与社会持续发展的必要条件，人们正竭力开辟新途径，寻求新的发展方向 and 有效的发展模式。清洁能源的高效利用给发展铜及铜合金产品提供了一个宝贵的机遇和平台。

本书就“铜及铜合金产品生产技术与装备”作了系统的分析和介绍，希望能对铜材生产工业和技术的发展，对扩大铜材的品种，提高铜材的产量、质量和效益，降低铜材的成本，拓展铜合金材料的应用领域，使之在重要工业

部门和人民日常生活中成为更具有竞争优势的基础材料起到有益的促进作用。

本书详细、系统地介绍了铜及铜合金产品的生产技术与装备。全书共分5章：第1章概述，简要介绍了铜的基本特征与应用，产品的分类、品种与规格，产品生产的基本流程和共性技术；第2章铜及铜合金板、带材的生产技术与装备，主要介绍了变压器用铜板、带材，C19400和C70250引线框架铜合金板、带材，黄铜、锡磷青铜、锌白铜和铍青铜板、带材，双金属复合板、带材，铜箔的加工制备技术与装备，铜合金板、带加工的常用装备；第3章铜及铜合金管材的生产技术与装备，主要介绍了普通空调管、内螺纹空调管、高效翅片管（外翅片管）、冷凝管、大口径薄壁冷凝管和异型管的生产技术与装备；第4章铜及铜合金棒、线材的生产技术与装备，主要介绍了铅黄铜棒、无铅黄铜棒、电线电缆用紫铜杆线、黄铜线、接触线、漆包线和铜键合丝的生产技术与装备；第5章铜合金制品的生产技术与装备，主要介绍了艺术铜合金制品及性能、船用铜合金螺旋桨和汽车同步器齿环的生产技术与装备。其中：第1章由谢水生撰写；第2章1~7节、9~10节由李周撰写，第8节由陈汉文、李华清撰写；第3章由刘海涛撰写；第4章由陈忠平、张曦、向朝建、李华清撰写；第5章由刘海涛、张曦撰写。最后，全书由谢水生修改、协调和整理。

本书可供从事铜及铜合金加工材料及其深加工产品生产、科研、设计、产品开发、营销方面的技术人员和管理人员使用，也可作为大专院校相关专业师生的参考书，特别是铜加工企业技术人员、质管人员、生产工人、检测人员的技术参考读物。

作者热切希望本书能使读者受到有益的启迪，起到抛砖引玉的作用。但限于作者的学识与经验，加上时间仓促，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正并提出宝贵意见（联系邮箱：xiess@grinm.com）。

作 者

2014年7月

目 录

第 1 章 概 述	(1)
1.1 铜及铜合金的基本特性与应用	(1)
1.2 铜及铜合金加工材的分类、产品品种与规格	(6)
1.3 铜及铜合金产品生产的基本流程	(8)
1.4 铜及铜合金的熔炼技术(产品生产的共性技术之一)	(9)
1.5 铜及铜合金坯料的铸造技术(产品生产的共性技术之二)	(31)
第 2 章 铜及铜合金板、带材的生产技术与装备	(45)
2.1 变压器用铜板、带	(45)
2.2 C19400 引线框架铜合金板、带材	(52)
2.3 C70250 引线框架铜合金板、带材	(62)
2.4 黄铜板、带材	(71)
2.5 锡磷青铜板、带材	(82)
2.6 锌白铜板、带材	(90)
2.7 镀青铜板、带材	(94)
2.8 双金属复合板、带材	(101)
2.9 铜箔加工制备技术及装备	(113)
2.10 铜合金板、带加工的常用装备	(123)
第 3 章 铜及铜合金管材的生产技术与装备	(143)
3.1 普通空调管	(143)
3.2 内螺纹空调管	(161)
3.3 高效翅片管(外翅片管)	(173)
3.4 冷凝管	(179)
3.5 大口径薄壁冷凝管	(190)
3.6 异型管	(195)

第4章 铜及铜合金棒、线材的生产技术与装备	(199)
4.1 铅黄铜棒	(199)
4.2 无铅黄铜棒	(205)
4.3 电线电缆用紫铜杆线	(211)
4.4 黄铜线	(228)
4.5 接触线	(239)
4.6 漆包线	(255)
4.7 铜键合丝	(269)
第5章 铜合金制品的生产技术与装备	(284)
5.1 艺术铜合金制品及性能	(284)
5.2 船用铜合金螺旋桨	(292)
5.3 汽车同步器齿环	(299)
参考文献	(308)

第 1 章

概 述

在人类发展的历史上,铜是人类认识、开采、提炼、加工、使用最早的金属,从原始社会一直到科学技术高度发达的今天,铜的使用一直伴随着人类的进步与发展。

远在一万年以前,铜作为装饰品就曾在西亚被使用。古埃及人在象形文字中,用“♀”表示铜,称铜为“Ankh”,含义是“永恒的生命”;公元前 2750 年,在基厄普斯金字塔内发现了铜制水管,仍然完好可用;公元前 2500 年,锡青铜的开发,使铜的硬度大为提高,为铜的使用打开了广阔的空间。中华民族在铜的开发中也做出了重要的贡献,青铜器时代铜被广泛地用来制作生活用具、兵器、乐器、钱币、工艺品等,其种类、数量、制作水平远远超过世界其他地区。考古工作者们发现,凡夏、商、周三代出土的青铜器大半与饮食有关,已发掘的 4000 余件青铜器中,大部分为鼎、觚、觥、盂等餐饮器具。商王文丁所铸造的司母戊鼎,重达 875 kg,花纹精细、文字清晰、形象优美,堪称世界之最。到了宋代,中国民间已经开始使用 Cu-Ni-Zn 白铜制作生活用具,其是世界上最早的仿银合金。

目前,随着科学技术的发展,铜的开采、冶炼、加工已经高度现代化、自动化,铜及铜合金产品已达 250 多种,分别具有高导电、高导热、高耐蚀、高强度等诸多优良性能。铜及铜合金的加工已经成为现代工业体系中非常重要的一部分,分别以板、带、箔、管、棒(杆)、型、线材等多种形式满足国民经济和国防工业部门的需要,从高新技术到人们的日常生活,从微电子技术到空调、冰箱、彩电,到处都有铜的身影。今天,中国铜工业生产和技术已相当发达和进步,铜加工材产量已居世界第一位。

1.1 铜及铜合金的基本特性与应用

1.1.1 铜的基本特性及性能

(1) 铜的基本特性

铜元素在地壳中的含量排序第 23 位,平均含量为 7 ppm^①。1999 年美国地质调查局估计,世界陆地铜资源为 1.1×10^9 t,深海中铜资源为 7×10^8 t。世界上含铜矿物约有 280 种,具有经济开采价值的矿物主要有铜的硫化物、氧化物、硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐等,深海中铜的含量约为 0.5%;地球上铜储量最丰富的地区位于环太平洋带,储量最大的国家是智利和

^① 1 ppm = 10^{-6}

美国,中国的储量居世界第七。含铜的主要矿物如表 1-1 所示。

表 1-1 含铜的主要矿物

矿物名称	分子式	铜含量/%	密度/(g·cm ⁻³)	颜色
斜方铜	Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄	54.0	3.9	绿色
氯铜矿	Cu ₂ (OH) ₃ Cl	59.4	3.76	绿色
蓝铜矿	Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂	55	3.77	浅蓝色
斑铜矿	Cu ₅ FeS ₄	63.5	5.06	红褐色
水胆矾	Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆	56	3.97	绿色
胆矾	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25	2.29	绿色
辉铜矿	Cu ₂ S	79.9	5.5~5.8	灰黑色
黄铜矿	CuFeS ₂	34.6	4.1~4.3	黄色
硅孔雀石	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36.2	2.0~2.2	绿色转蓝色
铜蓝	CuS	66.7	4.6~4.7	纯蓝转靛
赤铜矿	Cu ₂ O	88.8	7.14	红色
硫砷铜矿	CuAsS ₄	45.7/49	4.45	灰黑
脆硫锑铜矿	Cu ₃ (SbAs) ₄ S ₄	43.3/47.9	4.52	灰/紫铜色
孔雀石	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	58	4.05	嫩绿色
砷黝铜矿	(CuFe) ₁₂ As ₄ S ₁₃	35.7/53	4.6~5.1	灰转黑
黑铜矿	CuO	80.0	5.8~6.1	灰黑色
黝铜矿	(CuFe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	25/45.7	4.6~5.1	灰转黑

中国陆地铜资源储备并不缺乏,主要分布在江西、安徽、云南、新疆等地,但大型铜矿少,品位低,矿产铜远不能满足国民经济迅速发展的需求。为满足铜的需求,中国正不断推进技术进步,加强矿产勘测工作。同时,不断增加铜精矿、粗铜、精铜、废杂铜的进口,我国已成为世界重要的铜原料进口国。

(2) 铜的主要物理性能

铜是元素周期表中第 I B 族元素,元素符号为 Cu,原子序数为 29,相对原子质量为 63.54。在 1083℃ 以下时为面心立方(f. c. c)晶体结构,晶格常数 18℃ 时为 0.36074 nm。铜的主要物理性能如表 1-2 所示。

表 1-2 铜的主要物理性能

名称	符号	单位	数值
熔点	T_m	℃	1083
沸点	—	℃	约 2600
熔化潜热	—	kJ/kg	205.4
比热容	C_p	J/(kg·K)	385.2

续表 1-2

名称	符号	单位	数值
导热率	λ	W/(m·K)	399
线膨胀率	—	%	2.25
线膨胀系数	α_1	°C ⁻¹	$1.7 \times 10^{-5} \sim 1.77 \times 10^{-5}$
密度	ρ	kg/m ³	8930
电阻率	ρ_c	$\mu\Omega \cdot m$	0.01673
电导率	χ	m/($\Omega \cdot m^2$)	35 ~ 38
导电率	—	% IACS	100 ~ 103
抗拉强度	R_m	MPa	200 ~ 360
屈服强度	$R_{p0.2}$	MPa	60 ~ 250
伸长率	A	%	2 ~ 45
泊松比	μ	—	0.35(M态棒材)
压缩模量	K	GPa	136.3(M态棒材)
切变弹性模量	G	GPa	44.1(M态棒材)
弹性模量	E	GPa	107.9(Y态棒材)
疲劳强度极限	σ_{-1}	MPa	76 ~ 118
高温持久强度	σ_{100}	MPa	98(100°C时)
室温硬度	HB	N/mm ²	35 ~ 45(M态棒材) 110 ~ 130(Y态棒材)
磁性能(逆磁性)	X	m ³ /kg	-0.085 × 10 ⁻⁶ (室温质量磁化率)
高温硬度	HB	N/mm ²	46(300°C) 17(400°C) 9(500°C) 7(600°C)
压缩强度	σ_{-b}	N/mm ²	1471(M态棒材)
冲击韧性	a_{ku}	kJ/m ²	1560 ~ 1760(M态棒材)
切变强度	τ	MPa	108(M态棒材) 421(Y态棒材)
摩擦系数	μ	—	0.011(有润滑) 0.43(无润滑)

(3) 铜的主要化学性能

铜不是化学活泼性金属元素，其活泼性排在钾、钠、钙、镁、铝、铁、锡、铅之后，汞、银、铂、金之前，具有很强的化学稳定性。

1) 铜的耐腐蚀性能

铜与大气、水等接触时，反应生成难溶于水并与基体金属紧密结合的碱式硫酸铜 $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2 \cdot mH_2O$ 和碱性碳酸铜 $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ 薄膜，对铜有保护作用，能防止铜被继续腐蚀，又称“铜绿”。因此，铜在大气、纯净淡水和流动缓慢的海水中都具有很强的耐腐蚀性。在大气中的腐蚀速率为 0.002 ~ 0.5 mm/a，在海水中的腐蚀速率为 0.02 ~ 0.04 mm/a。

铜有较高的正电位， Cu^+ 和 Cu^{2+} 离子化时，标准电极电位分别为 +0.522 V 和 +0.345 V。因此，铜在水溶液中不能置换氢，在非氧化性的酸(如盐酸等)、碱液、盐溶液和多种有机酸(醋酸、柠檬酸、脂肪酸、草酸和乳酸等)和非氧化性的有机化学介质中，均保持良好的耐蚀性。但铜的钝化能力低，氧、氧化剂、硝酸及其他氧化性的酸、通入氧或空气的酸、盐溶液等，都易使铜产生氧而极化腐蚀。铜表面的碱性化合物也在氧的作用下，首先生成一价铜

盐, 继而氧化成二价铜盐, 构成 Cu^{2+} 离子。氨、氰化物、汞化物的水溶液和氧化性酸水溶液均强烈引起铜的腐蚀。

铜在大气和水中有良好的耐蚀性, 野外使用的大量铜制导线、水管、冷凝器等, 均可不另加保护。在食品工业、化学工业部门, 铜可用作很多有机物产品的蒸发器、泵、管道、冷却器、储藏器等。

2) 铜的氧化还原性能

在大气中于室温下, 铜的氧化缓慢。而高温下氧化速度会加快, 当温度升至 100°C 时, 表面生成黑色的 CuO , 其氧化速度与时间的对数呈正比。当温度升至 400°C 以上时, 氧化速度又十分近似抛物线规律, 可按下式推算:

$$x = K\tau \quad (1-1)$$

式中: x 为氧化膜质量, g/cm^2 ; τ 为持续时间, s ; K 为系数, 纯铜在各温度下的 K 值见表 1-3。

表 1-3 不同温度下纯铜的 K 值

介质	氧								空气			
	400	500	600	700	800	900	950	1000	700	800	900	1000
$K \times 10^{10}$	0.044	0.44	3.24	16.0	86.9	349.0	730.0	1780.0	8.03	79.7	336.0	1350.0

铜在高温时氧化速度显著提高, 并在表面生成致密的红色氧化铜膜, CuO 在高温时完全分解为游离氧和 Cu_2O 。其反应式如下:



氧在铜中的扩散系数和渗透速度见表 1-4 所示。

表 1-4 氧在铜中的扩散系数和渗透速度

温度/ $^\circ\text{C}$	600	700	800	900	950
扩散系数(氧在铜中的总含量为 0.41%)/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	1.06×10^{-9}	1.47×10^{-8}	1.28×10^{-7}	1.12×10^{-6}	1.90×10^{-6}
氧渗透 0.5 mm 的时间(氧在铜中的总含量为 0.24%)/h	11000	656	65	8.7	3.9

水蒸气也能引起铜的氧化, 因为水在高温时能分解为氧和氢。催化剂(如氧化铁)可使水蒸气的分解大大加速。温度上升, 水蒸气的分解度剧烈增大, 这时, 气体混合物不再是中性, 使铜生成氧化物的氧分压也增高。铜被水蒸气氧化的反应如下:



杂质和合金元素对铜的氧化速度有显著影响。铝、铍、镁等在铜的表面形成坚固的氧化物保护膜, 使铜甚至在高温下也无明显氧化。砷、铈、铬、锰等元素, 则使铜在高温下的氧化速度显著增快。

1.1.2 铜及铜合金的主要应用

铜与其他金属相比最主要的特点是优良的导电性、导热性、耐蚀性、适宜的强度、易加工成形性和典雅庄重的颜色。铜及铜合金的应用主要与它的特点相关，它的主要特点和应用如下。

(1) 优良的导电和导热性

铜的导电性、导热性仅次于银，位居第二位，而价格远低于银。因此被广泛用作各种导线、电缆、电器开关等导电器材和冷凝器、散热管、热交换器、结晶器内壁等。几种主要金属的电阻率和导热率比较见表1-5。

表1-5 几种主要金属的电率和导热率比较

金属名称	银	铜	金	铝	镁	锌	铁	锡	钛
电阻率 $\times 10^{-8}/(\Omega \cdot m)$	1.5	1.724*	2.065	2.5	4.47	5.75	9.7*	11.5	(42.1~47.8)
导热率 $/[W \cdot (m \cdot K)^{-1}]$	418.68	373.56	297.26	235.2	153.66	154.91	75.36	62.8	15.07

注：*表示20℃时的电阻率，其余为0℃时的电阻率。

(2) 良好的耐蚀性

一般而言，铜的耐蚀性低于金、铂、银和钛，而金、铂、银属贵金属，实际应用规模很小；相比铁、锌、镁等金属，铜的耐蚀性很强。与铝相比，铜更耐非氧化性酸、碱和海水等的腐蚀，但在大气、弱酸等介质中，铝的耐蚀性强于铜。

铜在淡水及蒸汽中抗蚀性能也很好。因此，铜被广泛用于制造冷、热水的配水设备，热水泵，建筑面板，雨水管，纸浆滤网及船舰设备等。

(3) 无磁性

铜是反磁性物质，磁化系数极低，故铜及铜合金常被用来制造不允许受磁干扰的磁学仪器，如罗盘、航空仪器、炮兵瞄准环等。影响铜的磁性的主要因素是杂质，锌、铅、锡、铝、硅、磷等元素的影响较小，铁的影响最大。镍虽然也是铁磁性金属，但作为杂质而少量存在时，对磁化系数提高不大。锰是顺磁性金属，但在无磁铜基合金中应尽量避免，因为锰除了结构与铁磁性物质极为接近外，还容易带入杂质铁（锰中一般含有铁），使合金的磁性增加。对于一般的磁性仪器结构材料，电解铜即能满足要求，但对于某些特殊用途的无磁性材料，须采用纯度更高的铜。

(4) 抑菌性

铜能抑制细菌等微生物的生长，水中99%的细菌在铜环境里5h就会全部被杀灭。这对饮用水传输、食品器皿、海洋工程等非常重要。

(5) 美丽、多样的色泽

紫铜固态下呈紫红色；液态铜表面呈绿色，当白光透射极薄的铜箔膜后，变成绿色。紫铜表面被 Cu_2O 薄膜覆盖时，呈紫红色；被 CuO 覆盖时，表面为黑色。铜合金则有各种美丽的色泽，如金黄色(H65黄铜)、银白色(白铜、锌白铜)、青色(铝青铜、锡青铜)等，或华丽或端庄，很受人们喜爱。因此，铜及铜合金是各种艺术品的首选材料。

(6) 良好的可加工性能与成形性

铜及铜合金具有很好的塑性成形性、可焊性和可镀性。

铜具有面心立方晶格，与其他一切具有面心立方晶格的金属一样，它具有很高的塑性变形能力，变形抗力大于铝而远小于钢铁和钛，可以承受大变形量的冷热压力加工。铜易于进行软钎焊、硬钎焊、气体保护电弧焊等方法焊接。铜的可镀性很好，可以电镀高熔点金属，如镍、铬等，也可以热镀低熔点金属，如锡、锌等。

铜是除钢铁和铝之外世界上使用最多的金属材料，其应用范围几乎涉及人类生活的各个领域。铜的主要用途见表 1-6。

表 1-6 铜的主要用途

特性	应用
高导电性	各种电力、电信传输电缆；各种开关、接插件、汇流排、电刷、整流器；发电机、电动机和变压器、感应器等绕组；各种电极、电阻器、电容器、晶体管元件、微波器件、波导管；印刷滚筒、印刷电路板、集成电路引线框架等
高导热性	电站、化工、冶金、建筑采暖、海水淡化、汽车水箱等各种换热器、冷凝器的管、板、片；高炉冷却壁板、金属铸造结晶器、感应器水冷线圈、航天推进器燃烧室喷嘴等
适宜的强度	螺栓、螺母、垫片、容器、铰链、铆钉、罩、盖、齿轮等各种构件
良好的耐蚀性	各种输油、气、汽、水或溶液管道；建筑雨水集水管、屋面板；阀；容器；水坝防渗板、硬币
典雅的色泽	建筑装饰板、灯具、雕刻、雕塑、奖杯、牌匾、器皿、服饰、乐器
优越的抑菌性	饮用水管道、管件；餐具、炊具、生活器皿、冰糕模、海运船舶护板
无磁性	屏蔽罩、“U”形壳

1.2 铜及铜合金加工材的分类、产品品种与规格

1.2.1 铜及铜合金材料的分类

对铜及铜合金材料的分类各国均不相同，基本的几类分法如下。

(1) 中国和俄罗斯的分类方法

中国和俄罗斯把铜合金分为：黄铜、青铜、白铜；然后再在大类中划分为小的合金系。其中黄铜是以锌为主要添加元素的铜合金，因颜色呈黄色而得名，主要有铅黄铜、铝黄铜、锡黄铜、铁黄铜、硅黄铜、锰黄铜、镁黄铜等；白铜是以镍为主要添加元素的铜合金，因其镍含量达到约 20% 后呈现银白色而得名，主要有锌白铜、铁白铜、锰白铜、铝白铜等；青铜是除锌和镍外以其他元素为主要添加元素的铜合金，因其颜色发青而得名，主要有锡青铜、铝青铜、硅青铜、镁青铜、铁青铜、钛青铜、铬青铜、锆青铜等。

(2) 美国、日本的分类方法

美国、日本的铜合金分类直接按合金系划分，分为 C10000 系（纯铜和微合金化铜，或称

低合金化铜)、C20000系(简单黄铜 Cu - Zn 系)、C30000系(铅黄铜 Cu - Zn - Pb 系)、C40000系(锡黄铜 Cu - Zn - Sn 系)、C50000系(磷青铜 Cu - P 系、含银磷青铜 Cu - Ag - P 系、锡磷青铜 Cu - Sn - P 系和含铅锡青铜 Cu - Sn - Pb 系)、C60000系(铝青铜 Cu - Al 系、硅青铜 Cu - Si 系及其他 Cu - Zn 合金)、C70000系(白铜 Cu - Ni 系、锌白铜 Cu - Ni - Zn 系等)、C80000系(铸造低合金化铜,包括铍青铜 Cu - Be 系、锡锌铅铜合金 Cu - Sn - Zn - Pb 系、锰青铜 Cu - Mn 系和硅青铜 Cu - Si 系等)和 C90000系(铸造高合金化铜合金)。

(3)按功能进行分类

按功能划分有导电、导热用铜合金(主要有非合金化铜和微合金化铜)、结构用铜合金(几乎包括所有铜合金)、耐腐蚀铜合金(主要有锡黄铜、铝黄铜、各种白铜、铝青铜、钛青铜等)、耐磨铜合金(主要有含铅、锡、铝、锰等多元复杂黄铜、铝青铜等)、易切削铜合金(铜 - 铅、铜 - 碲、铜 - 铈、铜 - 铋合金等)、弹性铜合金(主要有锡青铜、铝青铜、铍青铜、钛青铜等)、阻尼铜合金(高锰铜合金等)、艺术铜合金(纯铜、简单黄铜、锡青铜、铝青铜、白铜等)等。

(4)按材料成形方法分类

按材料成形方法划分可分为铸造铜合金和变形铜合金。

(5)按其强化途径分类

铜合金按其强化途径可分为冷变形强化铜合金、固溶强化铜合金、沉淀强化铜合金和其他铜合金等。

冷变形强化铜合金:在再结晶温度以下进行的冷变形,使铜合金达到强化的效果,这种合金称为冷变形强化铜合金。经过冷变形强化,纯铜的强度可以提升一倍。冷变形强化的原因是由于在冷变形时金属内部位错密度增大,而且位错互相缠结,形成胞状结构,阻碍位错运动,使不能移动的位错数量增加,以至于需要更大的力才能使位错克服障碍而运动。变形程度越大,铜合金的变形抗力越大,强度越高。

固溶强化合金:固溶强化是利用固溶体中的溶质原子与运动位错相互作用而引起流变应力增加的一种强化方法。最适合于铜的合金元素是那些能与铜形成固溶相的元素。它们在这些合金体系中硬化作用大,足以达到实用目的,而不会遇到由第二相或化合物带来的脆性。铜的固溶强化合金以其强度和可成形性而著称。因为固溶强化合金是单相合金,而且在加热或冷却过程中均不发生相变,所以用冷轧或冷拔加工方法,便可以使其达到最大强度。

沉淀强化合金:沉淀强化型铜合金是非常重要的一类铜合金,适宜于固溶度随温度降低而显著减小的合金体系,当合金元素超过一定的含量后,通过固溶处理可以获得过饱和固溶体,随后在时效过程中,过饱和固溶体发生分解,析出弥散相,引起合金强化。沉淀强化可产生很高的强度,在铜合金中是一种非常重要的强化方法。铍铜合金及铜镍硅合金是典型的沉淀强化型铜合金。

其他合金:某些铝青铜,尤其是含铝量大于9%的铝青铜,可以在临界温度以上淬火得到硬化,此硬化过程类似于 Fe - C 合金淬火时发生的马氏体型硬化,淬火后进行回火韧化或用间断式淬火代替标准式淬火还可进一步改善铝青铜性能。加入镍或锌的铝青铜,利用可逆马氏体相变还可产生形状记忆效应。

1.2.2 铜及铜合金产品的分类

铜加工产品按照加工方式和外观形状习惯上分为两大类：板、带、条、箔材和管、棒、型、线材。但是，国家和行业统计的分类为板、带、排、箔、管、棒、型、线、其他及盘条。而海关进出口统计的分类为铜粉、条杆形、丝、板、带、箔及管件。

(1) 板、带、箔材

板、带、箔材类产品按照外形尺寸又细分为板材、带材、条材和箔材。

1) 板材

板材按照成品前最后一道轧制状态分为热轧板材和冷轧板材。热轧板材的常用尺寸范围为： $(4 \sim 150) \text{ mm}$ (厚度) \times $(200 \sim 3000) \text{ mm}$ (宽度) \times $(500 \sim 6000) \text{ mm}$ (长度)。冷轧板材的常用尺寸为： $(0.2 \sim 12) \text{ mm}$ (厚度) \times $(100 \sim 3000) \text{ mm}$ (宽度) \times $(500 \sim 6000) \text{ mm}$ (长度)。

2) 带材

带材尺寸范围为： $(0.05 \sim 3) \text{ mm}$ (厚度) \times $(10 \sim 1000)$ (宽度)，成卷供货。

3) 条材

条材厚度介于板材和带材之间，尺寸范围一般为： $(0.2 \sim 10) \text{ mm}$ (厚度) \times $(50 \sim 100) \text{ mm}$ (宽度) \times $(1500 \sim 2000) \text{ mm}$ (长度)。

4) 箔材

国内铜加工箔材指厚度在 0.05 mm 以下的板材和带材，国外指厚度在 0.1 mm 以下的板材和带材，均属轧制铜箔(压延铜箔)，不包括电解铜箔。箔材尺寸范围为： $(0.05 \sim 0.01) \text{ mm}$ (厚度) \times $(40 \sim 600) \text{ mm}$ (宽度)，成卷供货，长度一般不小于 5000 mm 。

(2) 管、棒、线材

管、棒、线材按照产品形状细分为管材、棒材和线材。

1) 管材

管材分圆形管、梯形管、三角形管、矩形管和方形管，其尺寸范围为： $(0.5 \sim 360) \text{ mm}$ (外径) \times $(0.1 \sim 50) \text{ mm}$ (壁厚)，直条或成卷供货。

2) 棒材

棒材分为圆形棒、六角棒、方形棒、矩形棒和异形棒，其尺寸范围为： $(3 \sim 120) \text{ mm}$ (直径) \times $(500 \sim 5000) \text{ mm}$ (长度)，直条供货。

3) 线材

线材分圆线、扁线和异形线，其尺寸范围为： $0.02 \sim 6 \text{ mm}$ (直径)或 $(0.5 \sim 6) \text{ mm}$ (厚度) \times $(0.5 \sim 15) \text{ mm}$ (宽度)，成卷供货。

4) 铜盘条

铜盘条是指生产线材的坯料，也称铜线杆，分光亮杆和黑杆。盘条的直径在 $6 \sim 20 \text{ mm}$ 之间，由连铸连轧或上引(或水平)连铸法生产。

1.3 铜及铜合金产品生产的基本流程

铜及铜合金产品的种类很多，根据产品的不同形状和性能要求，须采取不同的加工成形