



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

重有色金属及其合金 熔炼与铸造

ZHONGYOUSE JINSHU JIQI HEJIN RONGLIAN YU ZHUZAO

姚晓燕 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

重有色金属及其合金 熔炼与铸造

姚晓燕 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2009

内 容 简 介

本书是有色金属行业职业教育培训规划教材之一,是根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的,并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本书详细介绍了重有色金属熔炼与铸造工艺、技术与设备等。全书共分7章,包括概论、熔炼炉、合金的成分控制、重有色金属及其合金熔炼、重有色金属及其合金铸锭生产、铸锭质量检查、安全生产技术等。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附有复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

重有色金属及其合金熔炼与铸造/姚晓燕编著. —北京:冶金工业出版社, 2009. 7

有色金属行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-4713-7

I. 重… II. 姚… III. ①重有色金属—熔炼—技术培训—教材
②重有色金属—铸造—技术培训—教材 ③重有色金属合金—
熔炼—技术培训—教材 ④重有色金属合金—铸造—技术培训—
教材 IV. TG291

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 156506 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 章秀珍 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4713-7

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 7 月第 1 版, 2009 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10 印张; 261 千字; 145 页; 1-3000 册

28.00 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)

有色金属行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

- 主 任** 丁学全 中国有色金属工业协会党委副书记、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会理事长
- 曹胜利 冶金工业出版社社长
- 副 主 任** 赵东海 洛阳铜加工集团有限责任公司董事长、中铝洛阳铜业有限公司党委书记、副董事长
- 鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长
- 谭学余 冶金工业出版社总编辑
- 杨焕文 中国有色金属学会副秘书长
- 纪 庆 中铝湖北大冶有限公司副总经理
- 李宏磊 中铝洛阳铜业有限公司副总经理
- 唐福康 洛阳铜加工集团有限责任公司副总经理
- 姚立宁 广东工贸职业技术学院院长
- 秘 书 长** 杨伟宏 洛阳有色金属工业学校校长(0379-64949030, yangwh0139@126.com)
- 副秘书长** 张登科 冶金工业出版社副编审(010-64062877, zhdengke@sina.com)
- 委 员** (按姓氏笔画排序)
- 牛立业 中铝洛阳铜业有限公司
- 王 洪 黑龙江佳泰钛业有限公司
- 王 辉 株州冶炼集团股份有限公司
- 卢宇飞 昆明冶金高等专科学校
- 李巧云 洛阳有色金属工业学校
- 李 贵 河南豫光金铅股份有限公司
- 刘静安 中铝西南铝业(集团)有限责任公司
- 邹广亚 中铝河南铝业有限公司
- 张鸿烈 白银有色金属公司西北铅锌厂
- 但渭林 江西理工大学南昌分院
- 武红林 中铝东北轻合金有限责任公司
- 林 群 江西铜业集团公司铜板带有限公司
- 郭天立 中冶葫芦岛有色金属集团公司
- 党建锋 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
- 顾炳根 桂林理工大学南宁分院
- 董运华 洛阳有色金属加工设计研究院
- 雷 霆 云南冶金集团股份有限公司

序

有色金属是重要的基础原材料，产品种类多，关联度广，是现代高新技术产业发展的关键支撑材料，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，在保障国民经济和社会发展等方面发挥着重要作用。

改革开放以来，我国有色金属工业持续快速发展，十种常用有色金属总产量已连续7年居世界第一，产业结构调整和技术进步加快，在国际同行业中的地位明显提高，市场竞争力显著增强。我国有色金属工业的发展已经站在一个新的历史起点上，成为拉动世界有色金属工业增长的主导因素，成为推进世界有色金属科技进步的重要力量，将对世界有色金属工业的发展发挥越来越重要的作用。

当前，我国有色金属工业正处在调整产业结构，转变发展方式，依靠科技进步推动行业发展的关键时期。随着我国城镇化、工业化、信息化进程加快，对有色金属的需求潜力巨大，产业发展具有良好的前景。今后一个时期，我国有色金属工业发展的指导思想是：以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入落实科学发展观，按照保增长、扩内需、调结构的总体要求，以控制总量、淘汰落后、加快技术改造、推进企业重组为重点，推动产业结构调整和优化升级；充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力，建设资源节约型、环境友好型和科技创新型产业，促进我国有色金属工业可持续发展。

为了实现我国有色金属工业强国的宏伟目标，关键在人才，需

要培养造就一大批高素质的职工队伍，既要有高级经营管理者、各类工程技术人才，更要有高素质、高技能、创新型的生产一线人才。因此，大力发展职业教育和职工培训是实施技能型人才培养的主要途径，是提高企业整体素质，增强企业核心竞争力的重要举措，是实现有色金属工业科学发展的迫切需要。

冶金工业出版社和洛阳有色金属工业学校为了适应有色金属工业中等职业学校教学和企业生产的实际需求，组织编写了这套培训教材。教材既有系统的理论知识，又有生产现场的实际经验，同时还吸纳了一些国内外的先进生产工艺技术，是一套行业教学和职工培训较为实用的中级教材。

加强中等职业教育和职工培训教材的建设，是增强职业教育和培训工作实效的重要途径。要坚持少而精、管用的原则，精心组织、精心编写，使教材做到理论与实际相结合，体现创新理念、时代特色，在建设高素质、高技能的有色金属工业职工队伍中发挥积极作用。

中国有色金属工业协会会长



2009 年 6 月

前 言

本书是按照人力资源和社会保障部的规划，参照行业职业技能标准和职业技能鉴定规范，根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的。书稿经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过，由人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐作为有色金属行业职业教育培训规划教材。

本书详细介绍了重有色金属熔炼与铸造工艺、技术与设备等，全书共分7章，包括概论、熔炼炉、合金的成分控制、重有色金属及其合金熔炼、重有色金属及其合金铸锭生产、铸锭质量检查、安全生产技术等。在内容组织和结构安排上，本书力求简明扼要，通俗易懂，理论联系实际，突出行业特点。为便于读者自学，加深理解和学用结合，各章均附有复习思考题。

本书可作为有色金属企业职工技能教育培训和职业院校相关专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书是在中铝洛阳铜业有限公司技校多年使用的内部教材基础上编写的。其中第1、3、4、5、6、7章由姚晓燕编写，第2章由张书远编写，全书由肖恩奎审核定稿。本书在编写过程中，得到了洛阳有色金属工业学校领导杨伟宏和同事申智华、王枫、李巧云、白素琴等的热情支持和帮助，编写过程中参考了一些相关著作和文献资料等，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，编写经验不足，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者
2009年5月

目 录

1 概述	1
1.1 熔炼与铸造	1
1.1.1 熔炼	1
1.1.2 铸造	1
1.2 紫铜	2
1.2.1 紫铜的性质	2
1.2.2 杂质及微量元素对紫铜性质的影响	3
1.2.3 无氧铜和磷脱氧铜的特性	4
1.3 黄铜	5
1.3.1 普通黄铜	5
1.3.2 复杂黄铜	7
1.4 白铜	9
1.4.1 普通白铜	10
1.4.2 复杂白铜	10
1.5 青铜	11
1.5.1 锡磷青铜	12
1.5.2 铝青铜	12
1.5.3 硅青铜	13
1.5.4 铍青铜	13
1.6 镍及镍合金	14
1.6.1 加工用纯镍	14
1.6.2 镍合金	15
1.7 铅、锌、锡、镉及其合金	15
1.7.1 铅及铅合金	15
1.7.2 锌及锌合金	16
1.7.3 锡及锡合金	18
1.7.4 镉	18
复习思考题	19
2 熔炼炉	20
2.1 筑炉用耐火材料	20
2.1.1 熔铜炉用耐火材料	20
2.2 反射炉	23

2.2.1 炉体结构	23
2.2.2 反射炉的炉型	23
2.3 竖式炉	24
2.4 有芯工频感应电炉	24
2.4.1 工作原理	24
2.4.2 感应体技术	26
2.4.3 感应体炉衬技术	28
2.4.4 上炉体炉衬技术	31
2.4.5 温度控制及出铜方式	32
2.4.6 潜流式连铸炉体技术	33
2.4.7 炉子的使用及维护	33
2.5 无铁芯感应电炉	34
2.5.1 工作原理	34
2.5.2 炉体结构	35
2.5.3 短线圈保温炉	37
2.5.4 炉衬技术	37
2.5.5 炉子的使用与维护	40
2.6 真空炉	41
2.6.1 真空感应炉的组成	41
2.6.2 真空系统操作	42
2.7 电渣炉	42
2.7.1 电渣熔炼的工作原理	43
2.7.2 电渣炉的设备构成	43
复习思考题	45
3 合金的成分控制	46
3.1 配料及化学成分调整	46
3.1.1 原料准备	46
3.1.2 配料	49
3.1.3 配料计算	50
3.1.4 化学成分调整	52
3.2 装料与熔化顺序	56
3.2.1 装料与熔化原则	56
3.2.2 装料与熔化操作要点	56
3.3 熔炼金属损耗	57
3.3.1 金属的挥发	57
3.3.2 金属的氧化	57
3.3.3 降低熔损途径	57
3.4 熔体中的气体	58

3.4.1 气体的来源	58
3.4.2 除气的方法	58
3.5 熔体中的杂质	62
3.5.1 混料	62
3.5.2 熔体与固体物质间的作用	62
3.5.3 添加剂残余及其积累	62
3.5.4 变料与洗炉	63
复习思考题	63
4 重有色金属及其合金熔炼	64
4.1 熔炼气氛及其选择	64
4.1.1 “氧化-还原”熔炼	64
4.1.2 还原性熔炼	64
4.1.3 微氧化性熔炼	64 [±]
4.1.4 熔剂保护及精炼	65
4.1.5 真空熔炼和电渣重熔	66
4.2 紫铜的熔炼	66
4.2.1 反射炉熔炼	67
4.2.2 竖式炉熔炼	69
4.2.3 感应电炉熔炼	71
4.3 无氧铜熔炼	71
4.3.1 原材料、辅材料	71
4.3.2 装料及熔化	71
4.3.3 脱氧	72
4.4 黄铜的熔炼	72
4.4.1 概述	72
4.4.2 熔炼工艺	73
4.5 白铜的熔炼	74
4.5.1 概述	74
4.5.2 熔炼工艺	74
4.6 青铜的熔炼	75
4.6.1 锡青铜的熔炼	75
4.6.2 铝青铜、硅青铜和铍青铜的熔炼	75
4.6.3 镉青铜、铬青铜、锆青铜的熔炼	76
4.7 镍及镍合金的熔炼	76
4.7.1 概述	76
4.7.2 非真空感应炉熔炼镍及镍合金	77
4.7.3 真空炉熔炼镍及其合金	78
4.7.4 电渣熔炼 NCu28-2.5-1.5	79

4.8 铅、锌、锡、镉及其合金的熔炼	82
4.8.1 铅及其合金的熔炼	82
4.8.2 锌及其合金的熔炼	83
4.8.3 锡及其合金的熔炼	84
4.8.4 镉的熔炼	84
复习思考题	84
5 重有色金属及其合金铸锭生产	85
5.1 锭模铸锭生产及设备	85
5.1.1 水平模铸锭法	85
5.1.2 立模铸锭法	86
5.1.3 水冷模铸锭法	88
5.1.4 倾斜模铸锭法	89
5.1.5 无流铸锭法	89
5.2 影响锭模铸锭质量的因素	90
5.2.1 铸造方式的影响	90
5.2.2 浇注工艺的影响	91
5.3 涂料的使用	92
5.3.1 涂料的使用目的及种类	92
5.3.2 涂料对铸锭质量的影响	93
5.4 半连续铸锭生产装置	93
5.4.1 半连续铸造机	94
5.4.2 结晶器和引锭托座	96
5.4.3 液流的调节装置	98
5.4.4 液体的保护及铸锭润滑	98
5.5 半连续铸锭原理及特点	100
5.5.1 半连续铸锭原理	100
5.5.2 半连续铸锭法的特点	104
5.5.3 半连续铸锭工艺条件的确定	105
5.6 半连续铸造的操作	107
5.6.1 准备工作	107
5.6.2 操作要点	108
5.6.3 故障排除	108
5.7 铜及其合金半连续铸造工艺实例	109
5.7.1 用石墨结晶器铸造紫铜大扁锭	109
5.7.2 黄铜圆锭的红锭铸造	110
5.7.3 铝青铜圆锭的敞开式铸造	111
5.7.4 锡磷青铜的振动铸造	113
5.8 水平连续铸锭法	115

5.8.1 水平连续铸造原理	116
5.8.2 水平连铸的主要设备	116
5.8.3 生产工艺概述	118
5.8.4 水平连铸的操作	119
5.9 水平连铸的工艺实例	119
5.9.1 棒坯水平连续铸造	119
5.9.2 管坯水平连续铸造	120
5.9.3 带坯的水平连续铸造	122
5.9.4 线坯的上引式连续铸造	123
5.10 其他铸造方法	125
5.10.1 热顶及热模铸造	125
5.10.2 电磁铸造	125
复习思考题	126
6 铸锭质量检查	127
6.1 铸锭的缺陷	127
6.1.1 偏析	127
6.1.2 裂纹	129
6.1.3 夹渣	131
6.1.4 气孔	131
6.1.5 缩孔与疏松	133
6.1.6 冷隔	134
6.2 锭坯质量检查	135
6.2.1 化学成分检查	135
6.2.2 表面质量检查	135
6.2.3 内部质量检查	136
6.2.4 外形尺寸检查	136
复习思考题	136
7 安全生产技术	137
7.1 工业生产卫生	137
7.1.1 通风及温度调节	137
7.1.2 除尘	137
7.2 安全生产技术	139
7.2.1 熔铸生产一般安全知识	139
7.2.2 感应电炉的安全操作技术	139
7.2.3 半连续及连续铸锭生产的安全技术	140
复习思考题	140
附 表	141
参考文献	145

1 概 述

金属材料是现代工业的基础，无论是机械、化工、交通运输部门，还是电气、原子能及宇航等工业，都离不开金属材料。这些工业部门的发展，要求发展高强度、高导电、耐高温、耐腐蚀等具有各种不同物理性能的金属材料。可以说，国民经济的发展在一定程度上取决于金属材料科学的发展水平。

金属材料，是指那些由金属元素或以金属元素为主形成的，具有一般金属特性的材料。工艺上所使用的金属材料习惯上分成两大类：一类是黑色金属及其合金（即钢铁，有时也将锰、铬以及它们的合金归入此类），另一类是有色金属及其合金（亦称非铁材料，指除铁、锰、铬之外的所有金属及其合金）。以有色金属为基础，加入一种或若干种其他元素，使之熔合在一起，这种新的金属组成物称为有色金属合金。有色金属及其合金种类繁多，归纳起来可分为五大类：

(1) 轻金属及其合金：包括铝、镁、钛等金属及其合金，它们的密度小于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

(2) 重金属及其合金：包括铜、镍、铅、锌、锡等金属及其合金。它们的密度大于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

(3) 稀有金属及其合金：包括高熔点金属（如钨、钼等）、稀有轻金属（如铍、锂等）、稀散金属（如镓、铟）、稀土金属及放射性金属（如铀、镭）等金属及其合金。

(4) 贵金属及其合金：包括金、银及铂族元素等金属及其合金。

(5) 半金属：一般是指硅、硒、碲、砷、硼等。其物理化学性质介于金属和非金属之间。

有色金属材料具有各种优异的性能，广泛用于国民经济各重要的部门，但由于矿藏、生产技术等方面的原因，生产成本很高。因此，从事有色金属材料的工作者，除了要根据国民经济的需要，丰富和发展我国有色金属材料的品种外，还应该充分利用我国的资源，寻找新的代用品。

1.1 熔炼与铸造

1.1.1 熔炼

金属熔炼就是将准备好的各种固体金属料在熔化炉内熔化为液体金属，这种液体金属具有一定化学成分，含有尽可能少的气体和夹渣，具有一定的温度，以满足铸锭工艺的要求。金属熔炼的主要目的是为铸锭提供高质量的金属熔体。因此，本书主要介绍重有色金属及其合金的一般性能及熔炼的一般知识。

1.1.2 铸造

铸造就是对熔融状态的金属或合金熔体，通过控制其冷却速度的快慢，将其铸造成形状、尺寸、成分、组织等符合压力加工要求的锭坯的过程。铸锭生产的任务就是为后续的压力加工提供合格的锭坯。

熔炼和铸造生产是压力加工生产的首道工序，它不仅供给各加工部门所需要的坯料，而且

在很大程度上影响着加工制品的质量。在学习本课程时，不仅要了解各种合金的一般知识，而且还要掌握生产过程中各种工艺因素对产品的组织、性能、表面、尺寸的影响，从而能动地控制生产工艺条件，生产出符合要求的铸锭。

铜、镍及其合金是国民经济各个部门中用途最广泛的有色金属材料。它具有良好的导电性、导热性，在大气和许多介质中有足够的耐腐蚀性，具有足够的强度和良好的塑性等一系列特点。

在生产实际中，它们分为铸造金属及合金与压力加工金属及合金两大类：

铸造金属及合金就是将熔融的金属或合金直接铸造成零件坯料，用金属切削加工的方法将这些铸件加工之后便可成为机械零件而被使用。

压力加工金属及合金是将熔融的金属或合金先铸造成锭坯，再通过轧制、挤压、拉伸等压力加工的方法，将锭坯加工成具有一定尺寸、形状和性能的板材、带材、条材、箔材、管材、棒材、型材、线材等产品，供给各个部门使用。

1.2 紫铜

根据在铜中加入合金元素的不同，通常把铜及其合金分为紫铜（纯铜）、黄铜、白铜和青铜四大类。

纯铜，其新鲜表面是玫瑰红色，氧化以后生成的氧化铜呈紫色，故称为“紫铜”。紫铜与其他金属相比，它的导电性和导热性仅次于银，居第二位。它具有一定的强度和较好的耐腐蚀性能及良好的塑性，易于进行压力加工。根据纯度及添加元素的不同分为普通纯铜、无氧铜和磷脱氧铜。有些标准中把添加了微量银、碲、砷等元素的低合金铜也归为此类。紫铜主要应用于导电、导热和耐腐蚀的零件，如各种电线、电缆、电器开关、雷管及各种管路等。

各种牌号的紫铜的代号都以“铜”字拼音字母的第一个字母“T”开头，其化学成分见表 1-1。

表 1-1 普通纯铜的化学成分（质量分数/%）

牌 号	Cu + Ag	P	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Nb	Sn	S	Zn	O	杂质总和
	不小于	不大于											
T1	99.95	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	0.002	0.003	0.002	0.005	0.005	0.02	0.05
T2	99.90		0.001	0.002	0.002	0.005		0.005		0.005			0.1
T3	99.70		0.002					0.01					0.3

1.2.1 紫铜的性质

1.2.1.1 物理性质

铜为面心立方晶格，在 20℃ 时，晶格常数为 0.3607nm(3.6075Å)，密度为 $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，熔点为 1084.5℃，沸点为 2360℃，20℃ 时电导率为 $58 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ，热导率为 $386 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

铜为逆磁性金属，当含铁量达 0.4% 时，即显铁磁性，所以对于制作不受铁磁影响的磁学仪器用的铜材，如罗盘、航空仪器等，严格控制铁的含量具有重要意义。

1.2.1.2 化学性质

铜在常温下（20℃）就能与氧起反应，产生轻微氧化。当温度达到 100℃ 时，铜表面氧化

后生成黑色的氧化铜 (CuO) 膜, 随着温度的提高, 铜的氧化速度迅速增加, 这时表面形成红色的氧化亚铜 (Cu_2O) 薄膜。

紫铜对大气的腐蚀很稳定, 因为铜表面形成一层保护膜, 可以防止铜的进一步腐蚀, 所以在大气、纯净的淡水和水蒸气中有一定的耐腐蚀性能。铜在氧、硝酸及其他氧化性的酸和盐溶液中, 均容易被腐蚀, 特别是容易被氨、氯化氨、氰化物、汞盐等溶液的剧烈腐蚀。

1.2.1.3 力学性能

紫铜的塑性较高, 强度中等。紫铜的强度极限随着温度的升高而降低, 紫铜的塑性指标在 $400 \sim 700^\circ\text{C}$ 之间出现低塑性区, 当温度超过 700°C 后, 塑性又继续提高。紫铜的力学性能与温度的关系如图 1-1 所示。

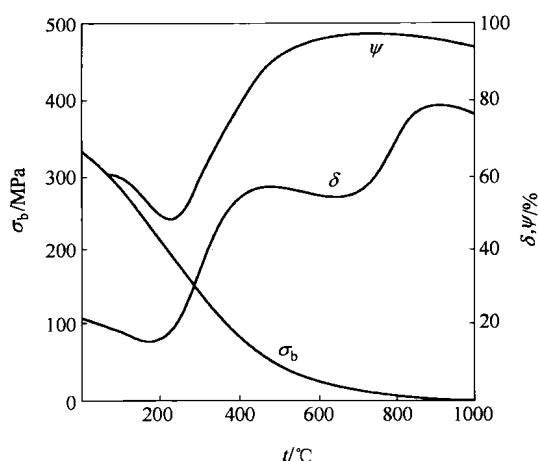


图 1-1 紫铜 (T2) 的力学性能与温度的关系
(原材料: $\phi 25\text{mm}$ 的棒材, 加工率 25%)

1.2.2 杂质及微量元素对紫铜性质的影响

杂质及微量元素对紫铜的性质有很大影响。紫铜中的杂质及微量元素主要来源于原料、工艺介质、添加剂等方面。

杂质和微量元素对紫铜性质的影响按其在紫铜中的情况不同, 大体上可以分为三类:

(1) 第一类是在铜中有较大的溶解度的元素。这类元素如果在铜中的含量不超过其溶解度时, 可以与铜形成固溶体, 如铝 (Al)、铁 (Fe)、镍 (Ni)、银 (Ag) 等。这些元素在微量情况下一般对紫铜的塑性没有影响, 但在大多数情况下, 会提高紫铜的强度和硬度, 降低紫铜的导电性和导热性。它们对紫铜导电性能和导热性能的影响分别如图 1-2、图 1-3 所示。

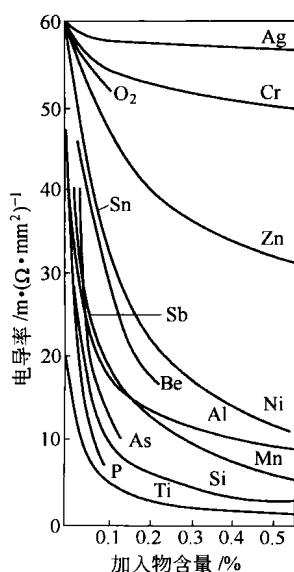


图 1-2 某些元素对紫铜导电性能的影响

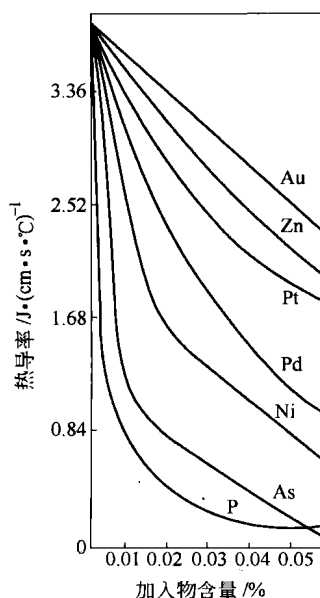


图 1-3 某些元素对紫铜导热性能的影响

(2) 第二类是几乎不溶于铜,但可与铜形成低熔点共晶体的元素。如铋 (Bi)、铅 (Pb) 等。这些元素对紫铜的导电性能影响不明显,主要危害是引起铜的“热脆”。铋 (Bi) 和铅 (Pb) 与铜形成铜-铋共晶 (含 Bi 99.8%), 共晶温度为 270.3℃; 铜-铅共晶 (含 Pb 99.7%), 共晶温度为 326℃。这些共晶体在结晶的最后阶段形成,含铋共晶体以极薄层状分布在晶粒界面上,铋使紫铜的塑性变得极低,一般铜中的铋含量不得大于 0.002%。含铅共晶体以网状分布在晶粒晶界处,这种共晶体虽然在冷状态下塑性较高,但由于它的熔点很低 (326℃), 所以当金属的温度超过其熔点时,便熔化为液态,从而破坏了晶粒间界处的结合强度,这就是含铅的铜所表现出来的“热脆性”。

(3) 第三类是与铜生成化合物的元素,例如氧 (O)、硫 (S)、磷 (P) 等。在熔态铜中,氧可以溶解一部分,但当铜冷凝时,氧几乎不溶解于铜中。熔态时所溶解的氧,以铜-氧化亚铜共晶体析出,分布在晶粒晶界处。铜-氧化亚铜共晶体的出现,显著地降低了铜的塑性。

含氧较多的铜材在含有氢的还原性气氛中退火时,氢可在高温下与 Cu_2O 反应,产生高压水蒸气使铜材破裂,这种现象称为“氢病”。

硫可以溶解在熔体的铜中,但在室温下,其溶解度几乎降低到零,它以硫化亚铜 (Cu_2S) 的形式出现在晶粒晶界处,会显著降低铜的塑性,给冷加工增加了困难,但可改善铜的切削性能。硫对铜的导电性和导热性影响不大。

磷与铜可以生成稳定的化合物 Cu_3P , 在固态的铜中,磷也有一定的溶解度。一般来讲,微量的磷对铜的塑性影响不大,但磷能极显著降低铜的导电性能和导热性能,所以用做导电元件的紫铜,对含磷量应严格控制。为了提高铜的焊接性能,可以在铜中加入 0.01% ~ 0.04% 的磷。对于真空元件用的无氧铜,含磷量要控制在小于 0.003%, 否则经涂硼氧化处理后,生成的氧化膜极容易剥落,引起电子漏气。

1.2.3 无氧铜和磷脱氧铜的特性

杂质及微量元素对紫铜性能的影响具有两重性。如铅 (Pb) 元素可以使铜产生“热脆性”,但也可以改善铜的切削性能和提高铜的耐腐蚀性能。铋 (Bi) 元素可以使铜产生“冷脆”和“热脆”,但用作电真空开关时,在铜中加入 0.7% ~ 1% 的铋,则可以显著地防止黏结并延长开关的使用寿命。

无氧铜并不是说紫铜中的含氧量等于零,而是与一般紫铜比较起来,无氧铜的含氧量极微 (我国国标规定 TU1 不得大于 0.003%), 其他杂质含量也极少,故无氧铜具有更高的导电性、导热性和良好的塑性。熔炼无氧铜时,一定要求用精料,熔炼炉要密封良好,对熔体要使用煅烧后的木炭覆盖,铸造时可使用高纯煤气保护铜液。

磷脱氧铜主要是依靠在铜液中加入磷,磷与铜中的氧发生反应而将氧除掉。磷脱氧铜的耐腐蚀性能很好,具有良好的焊接性能,但导热性有所下降。磷脱氧铜具有优良的生物腐蚀抗力,是用于海洋环境中的最佳材料之一,主要是用于制造各种管材。

无氧铜和磷脱氧铜由于含氧量极微,一般条件下无“氢病”,或极少“氢病”。无氧铜的化学成分见表 1-2。磷脱氧铜的化学成分见表 1-3。

表 1-2 无氧铜的化学成分 (质量分数/%)

牌 号	Cu + Ag	P	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	Zn	O	杂质总和
TU1	99.97	0.002	0.001	0.002	0.002	0.004	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.03
TU2	99.97	0.002	0.001	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003	0.003	0.05

表 1-3 磷脱氧铜的化学成分（质量分数/%）

名 称	牌 号	Cu + Ag	P	杂质总和
一号脱氧铜	TP1 (C12000)	99.90	0.004 ~ 0.012	0.10
二号脱氧铜	TP2 (C12200)	99.90	0.015 ~ 0.040	0.10

1.3 黄铜

以铜和锌为主要成分的铜合金叫做黄铜。由铜和锌两种元素组成的二元铜合金称普通黄铜。在铜-锌二元合金中加入其他添加元素（如铝、锡、铅）就构成了复杂黄铜。

1.3.1 普通黄铜

工业用普通黄铜的含锌量一般在 50% 以下，其牌号用“黄铜”拼音字母的第一个字母“H”打头，其后面加铜含量表示。例如 H62 和 H68，表示两种不同的普通黄铜，H62 表示含铜量为 62%，余量为锌；H68 表示含铜量为 68%，余量为锌。

1.3.1.1 普通黄铜的组织与特性

普通黄铜的组织，可以从铜-锌(Cu、Zn)二元合金状态图中较清楚地表示出来。图 1-4 为铜

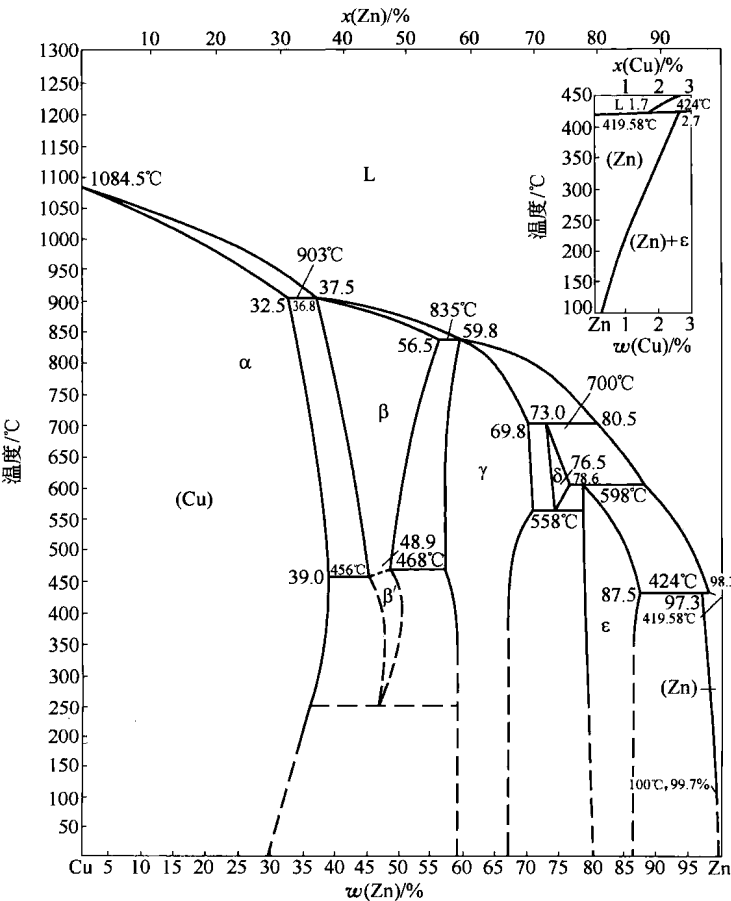


图 1-4 Cu-Zn 二元相图