

现代铜加工生产技术丛书

铜及铜合金熔炼与 铸造技术

肖恩奎 李耀群 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmip.com.cn>



铜及铜合金熔炼与 铸造技术

ISBN 978-7-5024-4351-1



9 787502 443511 >

定价 28.00 元

销售分类建议：冶金工程

现代铜加工生产技术丛书

铜及铜合金熔炼与铸造技术

肖恩奎 李耀群 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 简 介

本书是《现代铜加工生产技术丛书》之一,详细介绍了铜及铜合金熔炼与铸造生产工艺、技术和设备等。全书共分6章,内容包括:铜及铜合金原料及其制备、感应炉及电渣炉熔炼、反射炉和竖式炉熔炼、立式半连续及连续铸造、水平连续铸造、铜线坯连铸技术等。

本书可供铜及铜合金熔炼与铸造生产的工程技术人员、高级技工以及相关专业的师生阅读,也可供有色金属冶金及加工生产的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铜及铜合金熔炼与铸造技术/肖恩奎,李耀群编著. —北京:
冶金工业出版社,2007.9

(现代铜加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4351-1

I. 铜… II. ①肖… ②李… III. ①铜—熔炼 ②铜
合金—熔炼 ③铜—铸造 ④铜合金—铸造 IV. TG379

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 140845 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 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

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

ISBN 978-7-5024-4351-1

2007 年 9 月第 1 版,2007 年 9 月第 1 次印刷

148 mm×210 mm; 10.125 印张; 267 千字; 308 页; 1-3500 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)



李耀群 1962年毕业于北京钢铁学院（现北京科技大学）压力加工专业。教授、高级工程师。

现任高新张铜股份有限公司技术总监、中国有色金属加工工业协会理事、江苏省高级技术职称评审委员会委员。

曾任北京冶金研究所副总工程师、北京铝箔厂厂长、北京京圣工业技术开发公司总工程师、中国信息协会有色分会常务理事等。

先后率团访问日本、英国、俄罗斯、法国、德国等国家的有色金属加工企业。主持“超高强度不锈钢”等科研项目获北京市科技进步奖三等奖。参加“内螺纹铜管”标准制定，2005年被全国有色金属标准化技术委员会授予“有色金属标准化特殊贡献者”称号。

在有关刊物上发表论文、译文100多篇，出版著作《多辊轧机冷轧技术》、《现代铜加工生产技术丛书》等5部，参与《铜加工技术实用手册》编写并担任编写委员会委员。



肖恩奎 1963年毕业于沈阳冶金机械专科学校铸造专业。高级工程师，享受国务院政府特殊津贴。

在我国大型铜加工企业——中铝洛阳铜业有限公司一直从事铜、镍及其合金熔炼与铸造生产和技术工作，曾任熔铸分厂副厂长。先后组织并参与完成“加铋白铜和高锰铝青铜特种铸造”、“锡磷青铜振动铸造”、“铜带坯水平连续铸造”、“高品质无氧铜熔炼铸造”等项目，并分别获得国防科工委颁发的荣誉证书及证章、全国科学大会奖、中国有色金属工业总公司科技进步奖一等奖和二等奖等。

在有关刊物上发表论文20余篇，出版著作《铜镍熔铸实践》，参与《铜加工技术实用手册》编写并担任编写委员会委员。

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
铜加工技术实用手册	268.00
铜水(气)管及管接件生产、使用技术	28.00
冷凝管生产技术	29.00
铜及铜合金挤压生产技术	35.00
现代铜盘管生产技术	26.00
高性能铜合金及其加工技术	29.00
铝加工技术实用手册	248.00
镁合金制备与加工技术	128.00
薄板坯连铸连轧钢的组织性能控制	79.00
彩色涂层钢板生产工艺与装备技术	69.00
铝合金材料的应用与技术开发	48.00
大型铝合金型材挤压技术与工模具优化设计	29.00
连续挤压技术及其应用	26.00
多元渗硼技术及其应用	22.00
铝型材挤压模具设计、制造、使用及维修	43.00
金属挤压理论与技术	25.00
金属塑性变形的实验方法	28.00
复合材料液态挤压	25.00
型钢孔型设计(第2版)	24.00
简明钣金展开系数计算手册	25.00
有色金属材料工程概论	49.00
湿法冶金手册	298.00
贵金属合金相图及化合物结构参数	198.00
超细晶钢——钢的组织细化理论与控制技术	188.00
控制轧制控制冷却	22.00
金属塑性变形力计算基础	15.00
二元合金状态图集(日)	38.00
板带轧制工艺学	79.00
高速轧机线材生产	75.00

《现代铜加工生产技术丛书》

编委会

主任	潘家柱			
副主任	郭照相	钟卫佳	贾明星	
编委	(按姓氏笔画排序)			
	王跃进	冯天杰	刘占海	刘瑞
	孙立金	孙叙芝	孙徐良	杨世弘
	杨建军	肖克建	宋宝韞	李文君
	李保成	李贻煌	李耀群	张登科
	周宁	林永兴	郑显伟	苗德纯
	赵孟淥	徐弘	袁映辉	浦益龙
	郭铁军	唐燕林	戚建萍	傅迎客
	蒋明根	鲍志成	潘兆友	

编写组成员

组长	李耀群			
副组长	张登科			
撰稿专家	(按姓氏笔画排序)			
	马可定	王碧文	兰利亚	刘永亮
	刘华山	杨丽娟	汪明朴	李耀群
	范顺科	易茵菲	居敏刚	赵宝良
	钱俏鹂	郭莉	曹建国	肖恩奎
	梅恒星			

前 言

我国铜材生产和消费量随着国民经济的稳步、持续发展也快速增长,尤其是铜原料与国际接轨后,近十几年来,发展更快。至 2004 年我国的铜材生产量已经突破 416 万 t,生产、消费量均居世界第一。

铜及铜合金的熔炼与铸造是铜材加工的第一道工序,而铜及铜合金铸锭的内在质量对铜材成品的最终质量至关重要,所以对此道工序的生产理论与实践应给予高度重视。目前,除一些教材外,有关这方面的系统论述较少,本书作为《现代铜加工生产技术丛书》之一,对铜及铜合金的熔炼与铸造技术、工艺和设备等进行了详细讨论。

进入 21 世纪,我国铜加工科技人员除了逐步掌握许多世界顶尖的铜合金熔炼与铸造技术以外,自主创新技术也在迅猛发展,包括铜合金熔铸在内的中国铜加工业已令世界同行刮目相看。本书内容包含了现代铜合金熔炼与铸造的最新技术,例如:熔铜感应电炉采用大功率单向流动感应器,纯铜竖式炉熔炼和铜线锭连续铸造,高品质无氧铜生产,铜带坯及管坯的水平连续铸造,铜铸锭的立式全连续铸造等技术。同时本书介绍的我国自主研发的石墨结晶器铸造纯铜大型扁锭、整体结晶器铸造黄铜大型扁锭、锡磷青铜自然振动半连续铸造、铅黄铜红锭铸造等先进工艺和技术均属世界首创。

本书在系统阐述铜合金熔炼与铸造现代技术的基础上,对各种感应电炉熔炼与半连续铸造工艺、技术及其设备进行了重点论述。此外,还介绍了许多铜合金铸锭内部结晶组织检测和力学性能试验数据,以及熔铜感应炉筑炉所用不定形耐火材料等技术,对读者均有参考价值。

本书在编写过程中,采用了中铝洛阳铜业有限公司等工厂现场实践经验和研发成果,包括发表的和未发表的论文等资料,以及产品的化学分析、金相和力学性能试验等检测报告中的数据等,在此对有关单位及各位专家一并表示感谢!

本书在出版过程中,得到了无锡华东工业电炉有限公司董事长孙徐良、无锡锡山变压器电炉厂董事长孙叙芝、烟台泰达铜材设备有限公司董事长刘瑞的大力支持,对此表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中不妥之处,欢迎业界专家和广大读者批评指正。

作 者

2007年6月6日

目 录

1 铜及铜合金原料及其制备	1
1.1 原料分类.....	1
1.1.1 新金属.....	1
1.1.2 加工废料.....	2
1.1.3 商业废料.....	3
1.1.4 中间合金.....	5
1.2 中间合金制造.....	6
1.3 原料加工与配料.....	9
1.3.1 原料加工.....	9
1.3.2 配料.....	10
2 感应炉及电渣炉熔炼	11
2.1 熔炼气氛及其选择.....	11
2.1.1 还原性熔炼.....	11
2.1.2 微氧化性熔炼.....	12
2.1.3 熔剂保护熔炼.....	12
2.2 熔化及化学成分控制.....	15
2.2.1 加料及熔化顺序.....	15
2.2.2 熔炼损失.....	16
2.2.3 炉前化学成分调整.....	19
2.2.4 杂质元素的沉淀.....	20
2.2.5 变质处理技术.....	21
2.3 除气精炼.....	22

2.3.1	氧化除气	22
2.3.2	沸腾除气	23
2.3.3	惰性气体除气	24
2.3.4	真空除气	24
2.3.5	其他除气方法	25
2.4	脱氧精炼	26
2.4.1	扩散脱氧	26
2.4.2	沉淀脱氧	27
2.4.3	复合脱氧	27
2.5	真空熔炼与电渣熔炼	31
2.5.1	真空熔炼	31
2.5.2	电渣熔炼	36
2.6	铜及铜合金熔炼生产	37
2.6.1	纯铜熔炼	37
2.6.2	黄铜熔炼	41
2.6.3	青铜熔炼	48
2.6.4	白铜熔炼	53
2.7	铜熔炼用炉及其炉衬技术	54
2.7.1	工频有铁芯感应电炉	54
2.7.2	无铁芯感应电炉	71
2.7.3	真空感应电炉	81
2.7.4	电渣炉装置	85
2.7.5	电渣重熔控制	86
2.7.6	炉衬耐火材料	93
3	反射炉和竖式炉熔炼	103
3.1	纯铜的火法熔炼	103
3.1.1	反射炉熔炼	103
3.1.2	竖式炉熔炼	108
3.2	反射炉	115

3.2.1 反射炉的结构	115
3.2.2 反射炉的炉衬	119
3.2.3 反射炉的燃烧系统	121
3.3 竖式熔化炉	123
3.3.1 竖式炉的构造	123
3.3.2 竖式炉的燃烧系统	124
3.3.3 竖式炉的炉衬	127
4 立式半连续及连续铸造	130
4.1 直接水冷铸造	130
4.1.1 一次冷却和二次冷却	130
4.1.2 铸锭的凝固	132
4.1.3 结晶及结晶组织	140
4.2 分散冷却铸造	152
4.2.1 分散冷却铸造技术	152
4.2.2 分散冷却铸造的应用	156
4.3 热顶铸造	159
4.3.1 热顶铸造技术	159
4.3.2 热顶铸造应用	160
4.4 振动铸造与间歇铸造	164
4.4.1 振动铸造	164
4.4.2 间歇铸造	171
4.4.3 振动铸造与铸锭质量改进	172
4.5 热模铸造	176
4.5.1 热模铸造技术	176
4.5.2 热模铸造应用	178
4.6 电磁成形铸造	181
4.6.1 电磁铸造技术	181
4.6.2 电磁铸造应用	184
4.7 半固态铸造	187

4.7.1	半固态铸造技术	187
4.7.2	半凝固体铸造应用	189
4.8	半连续及连续铸造生产	192
4.8.1	纯铜铸锭生产	192
4.8.2	黄铜铸锭生产	199
4.8.3	青铜铸锭生产	208
4.8.4	白铜铸锭生产	223
4.9	结晶器及其振动装置	226
4.9.1	结晶器装置	226
4.9.2	振动铸造装置	234
4.9.3	分流与熔体保护	235
4.9.4	半连续和连续铸造机械	243
4.9.5	铸锭吊具	247
5	水平连续铸造	252
5.1	棒坯和管坯水平连续铸造	252
5.1.1	棒坯和管坯水平连铸技术	252
5.1.2	铜及铜合金棒坯和管坯生产	259
5.1.3	棒坯和管坯水平连铸机械	261
5.2	带坯水平连铸	262
5.2.1	带坯水平连铸技术	262
5.2.2	铜合金带坯连铸生产	271
5.2.3	带坯水平连铸机械	275
6	铜线坯连铸技术	284
6.1	上引式连铸	284
6.1.1	上引式连铸技术	284
6.1.2	上引式连铸装置及其应用	285
6.2	轮带式连铸	290
6.2.1	轮带式连铸技术	290

6.2.2 轮带式连铸装置及其应用	290
6.3 钢带式连铸	293
6.3.1 钢带式连铸技术	293
6.3.2 钢带式连铸装置及其应用	296
6.4 浸渍成形铸造	297
6.4.1 浸渍成形铸造技术	297
6.4.2 浸渍成形铸造装置及其应用	300
参考文献	305

1 铜及铜合金原料及其制备

1.1 原料分类

熔炼加工铜及铜合金的主要原料是阴极铜、锌锭、锡锭、铝锭等各种新金属,以及铜加工生产过程中产生的各种几何废料、铜加工材用户返回的各种边角废料。

1.1.1 新金属

表 1-1 和表 1-2 分别列出了高纯阴极铜和标准阴极铜的标准化学成分。高纯度铜(例如电真空器件用无氧铜)和高纯度铜合金则应该采用品位比较高的高纯阴极铜作为原料。

表 1-1 高纯阴极铜(Cu-CATH-1)(GB/T 467—1997)

元素组	杂质元素	含量(质量分数)/% 不大于	元素组总含量(质量分数)/% 不大于	
1	Se	0.00020	0.00030	0.0003
	Te	0.00020		
	Bi	0.00020		
2	Cr		0.0015	
	Mn			
	Sb	0.0004		
	Cd			
	As	0.0005		
	P			
3	Pb	0.0005	0.0005	

续表 1-1

元素组	杂质元素	含量(质量分数)/% 不大于	元素组总含量(质量分数)/% 不大于
4	S	0.0015	0.0015
5	Sn		0.0020
	Ni		
	Fe	0.0010	
	Si		
	Zn		
6	Co		0.0025
	Ag	0.0025	
杂质元素总含量		0.0065	

表 1-2 标准阴极铜(Cu-CATH-2)

(Cu+Ag) 的含量 (质量分数) /% 不小于	杂质含量(质量分数)/% 不大于									
	As	Sb	Bi	Fe	Pb	Sn	Ni	Zn	S	P
99.95	0.0015	0.0015	0.0006	0.0025	0.002	0.001	0.002	0.002	0.0025	0.001

多数新金属都和阴极铜一样大都分为若干个牌号,不同牌号的新金属其主要成分含量和杂质元素含量有所不同,熔炼不同品位的铜或铜合金时则都应以此为根据而做出适当的选择,因为原料中的大多数杂质元素都有可能进入熔体、铸锭乃至加工产品之中。从降低原材料成本的角度考虑,则应该既要确保产品质量,又要在保证质量的前提下适当使用一部分返回料。

1.1.2 加工废料

铜加工生产过程中产生的各种半成品和成品废料,包括料头、料尾、边、角、屑等通称为铜加工废料。从工厂客户手中直接回收铜加工材边角废料亦属此类。铜加工厂常将此类废料称为工厂返