

现代铜加工生产技术丛书

铜及铜合金棒、线材 生产技术

居敏刚 李耀群 曹建国 编著



冶金工业出版社

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

内 容 简 介

本书是《现代铜加工生产技术丛书》之一,详细、系统地介绍和论述了铜及铜合金棒、线材生产工艺、技术、设备与质量控制等。全书共分6章,内容包括:绪论,铜及铜合金棒、线材熔炼技术,铜及铜合金棒、线材铸造技术,铜及铜合金棒、线材轧制技术,铜及铜合金棒、线材挤压技术,铜及铜合金棒、线材拉拔技术等。

本书可供从事铜及铜合金棒、线材生产的工程技术人员和技术工人阅读,也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、教学、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用,同时可供企业技工培训和大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

铜及铜合金棒、线材生产技术/居敏刚,李耀群,曹建国编著. —北京:冶金工业出版社,2009.10

(现代铜加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4538-6

I. 铜… II. ①居… ②李… ③曹… III. ①铜合金—棒材轧制—生产工艺 ②铜合金—线材轧制—生产工艺 ③铜—棒材轧制—生产工艺 ④铜—线材轧制—生产工艺 IV. TG335

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第171123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 新 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4538-6

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009年10月第1版,2009年10月第1次印刷

148mm×210mm;10.875印张;320千字;333页;1-3000册

35.00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)

推廣銅加工技術
促進銅產業發展

康義

二〇〇九年八月

《现代铜加工生产技术丛书》

编 委 会

主 任 潘家柱

副主任 楼国强 钟卫佳 贾明星

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁 辉	韦江宏	王跃进	冯天杰
刘占海	刘 瑞	孙立金	孙叙芝
孙徐良	汪 洋	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	陈勤国
周 宁	林永兴	苗德纯	赵孟淥
徐 弘	袁映辉	浦益龙	郭铁军
郭照相	唐雪琴	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	肖恩奎
孟惠芬	李耀群	范顺科	易茵菲
居敏刚	赵宝良	钱俏鹂	郭 莉
曹建国	梅恒星		

前 言

改革开放以来，我国铜加工业发展迅速，许多企业通过引进、消化、吸收和自主创新，整体实力显著增强，一大批新技术、新工艺、新材料、新装备得到推广和应用，许多高精尖产品不但满足了国内经济建设的需要，而且大量出口国外。2004年我国已成为世界铜加工材生产和消费第一大国，其中铜及铜合金棒、线材是铜加工产品中市场需求量最大的品种之一，占铜材总量的一半以上，年产300多万吨，此外还有电力、电讯等专用棒、线材100多万吨。同时，我们应当清醒地看到，我国铜加工工业尤其是铜及铜合金棒、线材生产技术与国际先进水平相比还有较大差距，特别是自主创新能力方面还较低，技术积累相对薄弱。为此，作者在总结了长期以来在生产第一线从事铜及铜合金棒、线材生产的实际经验与研发工作的基础上，参考和吸收了国内外有关方面的研究成果和经验，编写了本书，以期对我国铜及铜合金棒、线材生产技术的发展有所裨益。

本书详细介绍了铜及铜合金棒、线材生产工艺、技术、设备与质量控制等。内容主要包括：绪论，铜及铜合金棒、线材熔炼技术，铜及铜合金棒、线材铸造技术，铜及铜合金棒、线材轧制技术，铜及铜合金棒、线材挤压技术，铜及铜合金棒、线材拉拔技术等。在内容组织与结构安排上，本书力求理论联系实际，切合生产实际需要，突出实用性、先进性和行业特色，为广大读者提供一本实用的技术著作。

本书可供铜及铜合金棒、线材生产的工程技术人员和技术工人阅读,也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、教学、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用,同时可供企业技工培训和大专院校有关专业师生参考。

本书由居敏刚、李耀群、曹建国编写。在编写过程中,得到了王永如、汪建华、沈旦华、姚若浩、陆远征等专家和不少工程技术人员的大力支持和帮助,同时参考了国内外有关专家和学者的一些文献资料和企业的一些图表、数据等,并在编写和出版过程中,得到了宁波金田铜业(集团)股份有限公司董事长楼国强、常务副总裁杨建军,江铜集团董事长李贻煌,江铜铜材股份有限公司董事长林群,铜陵有色金属集团控股有限公司总经理韦江宏,铜陵铜都黄铜棒材有限公司总经理王金海,沈阳九星集团董事长李文君,奉化明兴铜业有限公司董事长唐雪琴,常州金源铜业有限公司董事长赵孟渌,苏州宁苏冶金设备有限公司总经理陈勤国等企业和领导的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

另外,中国有色金属工业协会康义会长在百忙之中,为本“丛书”题词,并对“丛书”的组织、编写与出版给予了很大的支持与鼓励,对此,本“丛书”的组织者与编者表示由衷的谢意!并尽最大努力把“丛书”编好、出好。

本书由于作者水平有限,不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2009年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 铜及铜合金棒、线材生产技术与设备的发展历史	1
1.2 铜及铜合金棒、线材的加工技术特性	2
1.2.1 常用铜及铜合金棒材牌号、状态、规格及力学性能	2
1.2.2 常用铜及铜合金线材牌号、状态、规格及力学性能	8
1.2.3 铜及铜合金棒线材生产工艺流程	9
1.3 铜及铜合金棒、线材生产设备与技术的现状和趋势	12
1.3.1 我国铜及铜合金棒、线材生产设备的现状	12
1.3.2 我国铜及铜合金棒、线材加工技术和企业现状	14
1.3.3 我国铜及铜合金棒、线材标准、规格、品种及 分类现状	17
1.3.4 铜及铜合金棒、线材生产发展趋势	17
2 铜及铜合金棒、线材熔炼技术	19
2.1 铜及铜合金棒、线材熔炼技术概述	19
2.2 竖炉熔炼	20
2.2.1 竖炉的系统组成	20
2.2.2 竖炉工作原理和特点	21
2.2.3 竖炉生产过程的控制技术	22
2.3 精炼炉熔炼	23
2.3.1 精炼炉分类及各炉型在铜及铜合金棒、线材 熔炼中的应用	23

2.3.2	火法精炼中杂质的去除	28
2.4	工频炉熔炼	34
2.5	废铜在铜合金生产中的应用	34
2.5.1	废铜的综合利用	34
2.5.2	废铜利用前的预处理	36
2.5.3	脱气和添加剂的使用	38
2.6	其他新技术的应用	39
2.6.1	潜液转流	39
2.6.2	喷射流感应体	41
2.7	熔炼技术发展方向	45
2.7.1	高纯度或超高纯度化	45
2.7.2	微合金化铜合金材料	45
2.7.3	复杂多元化铜合金	46
2.7.4	复合材料	47
3	铜及铜合金棒、线材铸造技术	48
3.1	铸造技术的分类及结晶原理	48
3.1.1	铜及铜合金棒、线材常用铸造方法的分类	48
3.1.2	结晶原理	49
3.2	铸造过程中的冷却量的计算	53
3.2.1	热交换过程	53
3.2.2	热交换量计算	54
3.3	铸件常见的质量缺陷	55
3.3.1	缩孔与疏松	55
3.3.2	偏析	56
3.3.3	裂纹	56
3.4	脱模剂	57
3.5	引铸法	58
3.5.1	上引法	58

3.5.2	水平连铸法	63
3.5.3	半连续铸造	71
3.5.4	稀土元素在铸造中的应用	77
3.6	浸涂法(浸渍法)	79
3.6.1	热平衡计算	79
3.6.2	工艺流程	81
3.6.3	浸涂法生产的特点及主要性能	82
3.6.4	浸入时间的计算	82
3.6.5	控制要点	83
3.7	轮带法	85
3.7.1	轮带法在生产中的应用	85
3.7.2	典型生产工艺流程	85
3.7.3	两轮式	86
3.7.4	五轮式	88
3.7.5	双钢带式	90
3.7.6	三种工艺的比较	93
3.7.7	铸造凝固过程的控制	99
3.8	其他新技术的应用	103
3.8.1	悬浮铸造	103
3.8.2	电解沉积法制造线杆	104
3.8.3	在线测氧	105
3.8.4	快速凝固技术	107
3.8.5	铜液电磁脱氧技术	108
4	铜及铜合金棒、线材轧制技术	112
4.1	轧制原理	112
4.1.1	轧制分类	112
4.1.2	轧制理论基础	113
4.1.3	实现轧制过程的条件	126

4.1.4 孔型类型、参数及其计算	128
4.2 轧机种类	139
4.2.1 横列式轧机	139
4.2.2 串列式轧机	141
4.2.3 微型轧机	147
4.2.4 轧机的辅助设备	149
4.3 热轧	151
4.3.1 热轧条件	151
4.3.2 轧制调整控制技术	152
4.3.3 轧制过程的冷却	155
4.4 冷轧	157
4.4.1 冷轧特性	157
4.4.2 冷轧设备和孔型	158
4.4.3 冷轧润滑剂的选择	160
4.5 铜及铜合金棒、线材的轧制	162
4.5.1 轧制工艺参数	163
4.5.2 轧制孔型选择及延伸系数分配	164
4.5.3 应用举例	168
4.6 轧制后处理技术	170
4.6.1 表面处理技术	170
4.6.2 在线感应退火	172
4.7 轧制缺陷	176
4.7.1 H65 轧件的热轧开裂现象及控制措施	176
4.7.2 部分轧制缺陷、影响因素及防止方法	178
5 铜及铜合金棒、线材挤压技术	183
5.1 挤压原理	183
5.1.1 挤压技术应用范围	183
5.1.2 挤压分类及其优缺点	183

5.1.3 润滑与冷却	192
5.2 正向挤压	195
5.3 反向挤压	195
5.4 脱皮挤压	196
5.5 水封挤压	197
5.6 铜及铜合金棒材挤压	198
5.6.1 材料特性	198
5.6.2 棒材挤压及典型工艺	200
5.6.3 影响金属流动的因素	203
5.6.4 过程退火及加热温度的选择	206
6 铜及铜合金棒、线材拉拔技术	215
6.1 概述	215
6.2 拉拔的理论基础	216
6.2.1 拉拔工艺	216
6.2.2 拉拔工件的变形与应力状态	221
6.2.3 拉拔力的计算	224
6.2.4 拉拔配模	228
6.3 拉拔设备和技术	230
6.3.1 拉拔设备	230
6.3.2 单模拉拔	236
6.3.3 串联式拉拔机（二连拉）	239
6.3.4 多模连续拉拔	245
6.3.5 铜及铜合金材料拉拔技术	261
6.3.6 异形线材的拉拔和质量要求	270
6.4 拉拔模具设计	275
6.4.1 模具的组成和形式	275
6.4.2 模孔结构	277
6.4.3 模具材料的选择	283

6.4.4 模具的使用与维护	288
6.5 拉拔润滑剂	290
6.5.1 润滑剂的基本类型	290
6.5.2 拉拔用液体润滑剂	292
6.5.3 拉拔用固体润滑剂	296
6.5.4 润滑剂的作用以及对拉拔的影响	302
6.6 铜及铜合金棒、线材拉拔产品缺陷及控制	306
6.6.1 拉拔产品缺陷的种类	306
6.6.2 拉拔产品缺陷产生的原因	306
6.6.3 拉拔产品缺陷的控制	311
6.6.4 铜及铜合金线材拉拔常见废品	322
6.7 铜及铜合金材料表面处理技术	325
6.7.1 铜及铜合金材料表面着色处理技术	325
6.7.2 苯并三氮唑 (BTA) 在铜合金材料表面 处理中的应用	328
参考文献	332

1 绪 论

1.1 铜及铜合金棒、线材生产技术与设备的发展历史

金属铜的加工具有悠久的历史，考古资料证实，铜是人类认识、开采、加工、使用最早的金属，远在一万年以前，西亚就用铜来制作装饰品。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。

而我国是世界上四大文明古国之一，也是最早应用铜的国家之一。我国在夏代就进入了青铜时代，商、周是青铜文化的鼎盛时期，从出土的大量文物表明，当时的青铜冶炼、加工技术已处于世界最高水平。铜棒、线材的加工技术也在这个时期形成了雏形。当时我国劳动人民就可以采用简单的工具手工拉伸青铜线，用于族长、贵族头盔的装饰；而生产的青铜武器（如青铜剑、铜锥等）也是铸造青铜材料加工的佐证。而最早出现的是用黏土制模的铜铸造的技术，也一直延续到今天。

进入 20 世纪，随着大规模铜冶炼技术的产生，促进了世界范围内铜棒的加工技术的进步。以工频熔炉的出现为转折点，先后发明了上引、下引、水平连铸等铜棒坯料加工方法，相对于模具铸造加工过程提高了生产效率；以挤压技术和联合拉拔设备的在铜棒材生产中的运用为标志，淘汰了落后的锻造加工工艺，使铜棒材在质量、外观、产量等方面有了质的飞跃。大吨位挤压机的发展，提高了棒材的生产效率。同时反向挤压技术的快速发展和普及，又提高了铜棒材的质量。其他的挤压技术，如静液挤压、冷挤压、等温挤压也在工业中得到运用，使企业加工产品时有了更多的设备选择空间。

同时，各类轧机的出现弥补了挤压机在生产过程中的不足，生产

单个品种时能够做到连续性,单根重量大幅度增加,这对追求规模效益的普通产品是非常重要的。横列式轧机、行星式轧机、两辊轧机、Y形轧机、多辊轧机以及各类型轧机间可以进行相互配套、串联,能够大批量生产普通截面和简单截面的铜及铜合金棒、线材。

我国自20世纪50年代起,开始发展自主的铜加工工业,并形成了一定的规模。铜棒、线材生产企业也随着需求的增加而不断壮大,但80年代前,铜及铜合金棒、型材、线材的生产技术及生产设备是比较落后的,以糠模铸造、锻压、回旋轧制为主要的生产方式。80年代以后,我国许多铜材加工企业采用了比较先进的技术,并引进了相应的生产设备,建立了产量大、产品质量好的生产线,以适应国内外市场对航空航天、海洋工程、电器电子、仪器仪表、建筑及日常用品等领域的需求。从此,铜棒、线材生产设备在我国有了良好的发展空间。

1.2 铜及铜合金棒、线材的加工技术特性

1.2.1 常用铜及铜合金棒材牌号、状态、规格及力学性能

常用铜及铜合金牌号、状态、规格如表1-1所示。

表 1-1 常用铜及铜合金棒材的合金牌号、状态及规格

类 别	牌 号	状 态	规格/mm
纯铜棒 GB 4423—84	T2、T3	拉制、硬态	5~80
		拉制、软态	5~80
		拉 制	30~120
普通黄铜棒 GB 4424—84	H62	拉 制	5~80
		挤 制	10~160
	H68	拉 制	5~80
		拉制、软态	13~35
		挤 制	16~120
	H96	拉制、硬态	5~80
		拉制、软态	5~80
		挤 制	16~160

续表 1-1

类 别	牌 号	状 态	规格/mm
铅黄铜棒 GB 4425—84	HPb59-1	拉 制	5 ~ 80
		挤 制	10 ~ 160
	HPb59-1	拉 制	5 ~ 40
	HPb59-1	拉制、硬态	5 ~ 30
		拉制、半硬态	5 ~ 60
复杂黄铜棒 GB 4426—84	HSn62-1, HMn58-2	拉制、硬态	5 ~ 60
	HFe59-1-1, HFe58-1-1	挤 制	10 ~ 120
	HA160-1-1, HA167-2.5, HA166-6-3-2, HMn57-3-1 HMn55-3-1, HSi80-3	挤 制	10 ~ 120
黄铜矩形棒 GB 4427—84	H62	拉 制	3 ~ 75 × 4 ~ 80
		挤 制	5 ~ 40 × 8 ~ 50
	HPb59-1	拉 制	3 ~ 75 × 4 ~ 80
		挤 制	5 ~ 40 × 8 ~ 50
	HPb63-3	拉 制	3 ~ 75 × 4 ~ 80
铝青铜棒 GB 4429—84	QA119-2	拉制、硬态	5 ~ 40
		挤 制	10 ~ 160
	QA119-4, QA110-3-1.5 QA110-4-4, QA111-6-6	挤 制	10 ~ 160
镉青铜棒 GB 4430—84	QCd1	拉制、硬态	5 ~ 60
		拉制、软态	5 ~ 60
		挤制	20 ~ 120
硅青铜棒 GB 4431—84	QSi3-1	拉制、硬态	5 ~ 40
		挤 制	20 ~ 100
	QSi1-3	挤 制	20 ~ 100
锡青铜棒 GB 4432—84	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4	拉制、硬态	5 ~ 40
		挤 制	30 ~ 120

续表 1-1

类 别	牌 号	状 态	规格/mm
锡青铜棒 GB 4432—84	QSn7-0.2	拉制、硬态	5 ~ 40
		拉制、特硬态	5 ~ 40
		挤 制	40 ~ 120
	QSn4-0.3	拉制、硬态	5 ~ 40
	QSn4-3	拉制、硬态	5 ~ 40
		挤 制	40 ~ 120
锌白铜棒 GB 4433—84	BZn15-20	拉制、硬态	5 ~ 40
		拉制、软态	5 ~ 40
		挤 制	25 ~ 120
		磨光、硬态	5 ~ 15

常用铜及铜合金棒材力学性能如表 1-2 所示。

表 1-2 常用铜及铜合金棒材的力学性能

类 别	牌 号	合金状态	公称直径 /mm	抗拉 强度 /MPa	伸 长 率		硬度 HB
				$\delta_{10}/\%$	$\delta_5/\%$		
				$\geq$			
纯铜棒 GB 4423—84	T2, T3	拉制、硬态	5 ~ 40	280	5	10	—
			> 40 ~ 60	250	8	12	
			> 60 ~ 80	210	13	19	
		拉制、软态	5 ~ 80	200	38	45	
		挤 制	3 ~ 120	190	30	40	
普通黄铜棒 GB 4424—84	H62	拉 制	5 ~ 40	380	15	17	
			> 40 ~ 80	340	20	23	
		挤 制	10 ~ 160	300	30	35	
	H68	拉 制	5 ~ 12	380	15	18	
			> 12 ~ 40	320	25	33	
			> 40 ~ 80	300	30	—	
		拉制、软态	13 ~ 35	300	45	—	
		挤 制	16 ~ 80	300	40	45	

续表 1-2

类 别	牌 号	合金状态	公称直径 /mm	抗拉 强度 /MPa	伸 长 率		硬 度 HB
					$\delta_{10}/\%$	$\delta_5/\%$	
					$\geq$		
普通黄铜棒 GB 4424—84	H96	拉制、硬态	5 ~ 40	270	4	—	—
			> 40 ~ 60	250	6	—	
			> 60 ~ 80	210	11	—	
		拉制、软态	5 ~ 80	200	35	—	
		挤 制	16 ~ 80	200	30	—	
铅黄铜棒 GB 4425—84	HPb59-1	拉 制	5 ~ 20	430	10	12	
			> 20 ~ 40	400	12	14	
			> 40 ~ 80	380	16	19	
		挤 制	> 40 ~ 160	370	18	21	
	HPb63-0. 1	拉 制	5 ~ 40	380	15	18	
	HPb63-3	拉制、硬态	5 ~ 9. 5	520	2	2. 5	
			> 9. 5 ~ 14	500	5	6	
			> 14 ~ 20	460	8	9	
			> 20 ~ 30	420	10	12	
		拉制、半硬态	10 ~ 20	360	12	14	
			> 20 ~ 60	330	16	19	
	复杂黄铜棒 GB 4426—84	HA167-2. 5	挤 制	10 ~ 75	400	15	—
		HA160-1-1	挤 制	10 ~ 120	450	18	—
HA166-6-3-2		挤 制	10 ~ 75	750	7	—	
HMn55-3-1		挤 制	10 ~ 75	500	15	—	
HMn57-3-1		挤 制	10 ~ 75	500	15	16	
HSi80-3		挤 制	10 ~ 75	300	25	—	
HSn62-1		挤 制	10 ~ 120	370	20	22	
		拉制、硬态	5 ~ 40	400	15	17	
			> 40 ~ 60	370	20	23	