

铜及铜合金 开发与应用

TONG JI TONGHEJIN KAIFA YU YINGYONG

王强松 娄花芬 马可定 张文芹 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

014002559

TG146.1

18

铜及铜合金开发与应用

王强松 娄花芬 马可定 张文芹 编著



北京

冶金工业出版社

2013

TG146.1
18



北航

C1688392

内 容 简 介

本书从铜及铜合金的基本性能和特点出发,系统地介绍了铜及铜合金的应用领域、使用特点、主要产品、新材料和新产品的开发与应用等,并详细介绍了铜材在电力、电子、建筑、制造、交通运输、海洋工程、国防工业、装饰及艺术等八个应用领域的实际应用和开发,基本涵盖了铜及铜合金所涉及的应用领域和开发方向。

本书是铜加工生产企业工程技术人员和管理人员必备的技术读物,也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、教学、生产和应用方面的技术人员与管理人员使用,同时可作为大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

铜及铜合金开发与应用/王强松等编著. —北京:冶金工业出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-5024-6331-1

I. ①铜… II. ①王… III. ①铜—基本知识 ②铜合金—基本知识 IV. ①TG146. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 178687 号

出 版 人 谭学余

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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6331-1

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京慧美印刷有限公司印刷

2013 年 8 月第 1 版; 2013 年 8 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 15 印张; 293 千字; 228 页

48.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

铜及铜合金的应用有四千多年的历史，是人类认识和使用最早的金属材料之一。铜及铜合金在国民经济中的实际应用非常广泛，从消费量上看，仅次于铁、铝而居第三位。随着我国铜加工行业的迅猛发展，近年来有关铜及铜合金生产技术、铜产品开发方面的专业书籍逐渐多了起来，这对铜工业的发展无疑具有积极的推动作用。但把铜及铜合金的性能和应用结合起来，系统而完整地介绍其应用与开发的书籍却不多见。本书作者从事铜及铜合金材料研究和生产技术研发工作多年，深感编著这样一本书的必要性和迫切性。

材料的应用取决于其性能特点。本书正是根据铜及铜合金的基本性能和特点，系统介绍其应用领域、使用特点、主要产品、新材料和新产品的开发与应用，并相应介绍了其相关的制备技术和新工艺等。

本书共分11章。概论主要讲述了铜及铜合金材料的作用、应用热点及开发方向；第1、2章分别介绍了铜及铜合金的性能特点和加工方法；第3~10章，结合铜及铜合金性能特点，分别介绍了铜及铜合金在电力、电子、建筑、机械制造、交通运输、海洋工程、国防工业、装饰及艺术等八个应用领域的实际应用和开发，基本上涵盖了铜及铜合金应用的方方面面。

本书旨在能够以合金性能—应用—开发为主线，结合其性能特点，对铜及铜合金的应用和开发进行全面、系统的分析和论述，希望能够

对从事铜及铜合金生产的科技研发人员和专业技术人员，应用铜及铜合金的工程设计人员，以及所有对铜感兴趣的人士有所裨益和帮助。

本书在编写过程中，中铝洛阳铜业有限公司技术中心的赵万花、朱迎莉、丁顺德、黄国兴、刘海涛、任玉波等人给予了大力的支持与帮助，在此深表谢意。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2013年6月8日

目 录

0 概 论	1
0.1 铜合金材料的重要地位和作用	1
0.2 我国铜合金材料及其生产技术的发展	2
0.2.1 产量规模	2
0.2.2 产品品种	3
0.2.3 产品质量	3
0.2.4 技术水平	4
0.2.5 产业发展程度	4
0.2.6 装备设计和制造能力	6
0.2.7 科技研发	6
0.3 铜合金材料应用开发的热点及方向	6
0.3.1 大规模集成电路引线框架用第三代铜合金的开发	6
0.3.2 高速轨道交通接触线及附件用铜合金的开发	7
0.3.3 高纯化铜材的开发	7
0.3.4 铜合金热管的开发	7
0.3.5 高耐磨铜合金的开发	7
0.3.6 高强耐蚀铜合金的开发	8
0.3.7 环境友好型铜合金的开发	8
0.3.8 铜基复合材料开发	8
1 铜合金材料的性能	9
1.1 铜的基本性能	9
1.1.1 铜的基础数据	9
1.1.2 铜的物理性能	9
1.1.3 铜的化学性能	10
1.1.4 铜的工艺性能	10
1.2 铜合金的分类、牌号和成分	11
1.2.1 铜合金的分类方法	11

1.2.2 铜合金的牌号及化学成分	12
1.3 铜及其合金的物理性能	19
1.4 铜合金的耐蚀性	27
1.4.1 黄铜的耐蚀性	27
1.4.2 青铜的耐蚀性	28
1.4.3 白铜的耐蚀性	31
1.5 铜及铜合金的力学性能	33
1.5.1 纯铜的力学性能	33
1.5.2 黄铜的力学性能	35
1.5.3 青铜的力学性能	38
1.5.4 白铜的力学性能	46
1.6 铜及铜合金的工艺性能	48
1.6.1 压力加工性能	48
1.6.2 铸造性能	49
1.6.3 可焊性	49
1.6.4 铜合金的切削性能	51
1.6.5 电镀性	51
2 铜合金材料的加工方法	52
2.1 铜合金熔炼和铸造	52
2.1.1 熔炼	52
2.1.2 铸造	53
2.2 铜合金板带箔材的加工方法	56
2.2.1 热轧	57
2.2.2 铣面	58
2.2.3 冷轧	59
2.2.4 热处理	60
2.2.5 表面处理	60
2.2.6 精整包装	62
2.3 铜合金管棒型线材的加工方法	62
2.3.1 挤压	62
2.3.2 轧制	68
2.3.3 拉伸	70
2.3.4 热处理	72
2.3.5 精整	73

2.4 铜合金材料的特殊加工方法	73
2.4.1 异种材料复合技术	73
2.4.2 粉末冶金法	75
2.4.3 快速凝固技术	75
2.4.4 定向凝固及单晶制备技术	76
2.5 铜加工技术的发展趋势	76
3 铜材在电力系统中的应用	78
3.1 铜材在电力传输方面的应用	78
3.1.1 电线电缆	78
3.1.2 电力汇流排	80
3.1.3 变压器铜带	82
3.1.4 开关、断路器等用铜材	83
3.2 铜材在发电设备中的应用开发	84
3.2.1 空心铜导线	84
3.2.2 整流子、集电环	84
3.2.3 槽楔材料	85
3.2.4 电站冷凝器用冷凝管及管板	86
3.2.5 太阳能电池	90
3.3 铜材在用电设备中的应用	91
3.3.1 电动机	91
3.3.2 电抗器(电感器)	92
3.3.3 电容器	92
3.3.4 变频器	92
3.3.5 继电器	93
4 铜材在电子、信息领域的应用	95
4.1 铜材在真空电子管中的应用	95
4.1.1 真空电子管	95
4.1.2 真空电子器件用无氧铜材	96
4.2 铜材在集成电路中的应用	101
4.2.1 集成电路(含分立器件)的用途和发展	101
4.2.2 引线框架用铜材	102
4.2.3 引线框架铜合金的发展趋势	105
4.2.4 异形铜带在功率管中的应用	106

4.2.5 铜材在晶体振荡管上的应用	107
4.3 铜材在通讯电缆中的应用	109
4.3.1 射频电缆的结构和制造工艺	109
4.3.2 电缆铜带的技术要求和生产方法	110
4.4 铜材在印刷线路板中的应用	111
4.4.1 印刷电路板	111
4.4.2 铜箔在印刷电路板中的应用	112
4.4.3 铜箔的生产方法	113
4.4.4 石磷铜球在印刷电路板中的应用	115
5 铜材在建筑领域的应用	117
5.1 空调与采暖系统	117
5.1.1 空调设备和铜空调管	117
5.1.2 太阳能集热器	124
5.2 水气系统	127
5.2.1 铜水(气)管	127
5.2.2 覆塑铜管	130
5.2.3 管接头及配件	131
5.3 铜材在建筑五金及其他方面的应用	135
5.3.1 建筑五金	135
5.3.2 屋面板和幕墙	137
5.3.3 地板条、防滑条	138
5.3.4 铜门窗	139
5.4 建筑防渗	140
5.5 避雷装置	141
6 铜材在机械制造业中的应用	143
6.1 铜材在结构件中的应用	143
6.2 铜材在耐磨器件中的应用	143
6.2.1 蜗轮蜗杆	143
6.2.2 齿轮	144
6.2.3 摩擦副	145
6.2.4 轴承	145
6.3 铜材在弹性器件中的应用	147
6.3.1 锡磷青铜	147

6.3.2 铍青铜	148
6.4 铜材在热交换器上的应用	149
6.4.1 常规热交换器	149
6.4.2 热管	152
6.4.3 微热管	157
6.5 铜材在焊接中的应用	158
6.5.1 电极	158
6.5.2 焊丝	160
6.6 铜材在冶金工业中的应用	160
6.6.1 高炉冷却壁板	160
6.6.2 结晶器用铜材	161
6.6.3 电炉感应器	164
6.7 铜材在轻工、制药、食品工业中的应用	165
6.7.1 模具	165
6.7.2 反应釜	166
6.7.3 印刷制版	166
6.7.4 铜材在造纸业的应用	167
7 铜材在交通运输领域的应用	169
7.1 汽车用铜材	169
7.1.1 汽车用铜材的市场需求	169
7.1.2 汽车水箱用铜带	170
7.1.3 同步器齿环材料	173
7.1.4 汽车接插件材料	177
7.1.5 汽车动力电池用铜材	180
7.1.6 气门芯管及其他	181
7.2 轨道交通用铜材	182
7.2.1 轨道交通用铜材市场需求	182
7.2.2 接触线	182
7.2.3 接触网线夹零件	186
7.3 自行车用铜材	188
8 铜材在海洋工程中的应用	189
8.1 铜材在海洋运输中的应用	189
8.1.1 海洋运输的发展状况	189
8.1.2 铜材在舰船上的应用	190

8.2 海水淡化	193
8.2.1 海水淡化发展趋势	193
8.2.2 铜材在海水淡化中的应用	194
8.3 海水养殖	195
8.3.1 我国海水养殖前景	195
8.3.2 铜材在海水养殖中的应用	196
8.4 制盐	198
8.4.1 盐业发展趋势	198
8.4.2 铜材在盐业中的应用	199
9 铜材在国防军工中的应用	200
9.1 铜材在兵器中的应用	200
9.1.1 穿甲弹专用铜板	200
9.1.2 雷管用铜带	202
9.2 航空航天专用铜材	203
9.2.1 航空用铝青铜棒	203
9.2.2 机载天线用镁青铜线	204
9.2.3 航天发动机用铬锆铜材	205
9.2.4 火箭分离爆炸螺栓用铜材	206
9.3 铜材在军用电子领域的应用	207
9.3.1 导波用波导管	207
9.3.2 高保真单晶铜线	209
9.4 铜材在加速器和对撞机上的应用	210
9.4.1 加速器和对撞机	210
9.4.2 外方内圆空心铜导线	212
9.5 铜材在舰艇上的应用	213
9.5.1 舰艇常用铜材概况和趋势	213
9.5.2 舰艇用高阻尼铜合金	215
10 装饰和艺术铜合金的应用	217
10.1 铜及其合金的装饰和艺术价值	217
10.1.1 装饰和艺术对材料的要求	217
10.1.2 铜及其合金的装饰作用	218
10.2 古代装饰与艺术用铜合金	219
10.3 现代艺术与装饰铜合金	222
参考文献	227

0 概 论

0.1 铜合金材料的重要地位和作用

铜是人类应用最早的一种金属，已有四千多年的生产和应用历史；铜又是应用最广泛的金属材料之一，仅次于铁、铝而居第三位。

铜及铜合金具有一系列的优异特性：导电、导热、耐蚀、耐磨、抑菌、装饰、易加工、可铸造、可电镀、可焊接等，被广泛应用于电力、电子、通讯、化工、机械、交通运输、海洋工程、航空航天、建筑装饰、生活饰品等领域，在人类生活和国民经济建设中发挥着巨大的作用，为人类社会的进步作出了不可磨灭的贡献。同时，铜及其合金作为一种战略、战备物资，在军工、国防建设中具有重要的地位，并在很多应用领域都是不可替代的金属材料。

在铜合金的应用中，人们充分发挥铜材料的特性：良好的导电导热性，使铜合金大量应用于电气、电力行业；强度刚柔相济，富有弹性，使铜合金常用于结构件；在外观上色彩丰富、古朴典雅，常用于制作人们所喜爱的装饰和装潢材料等等。铜合金材料的使用，从拉链、纽扣到餐具、炊具；从螺钉、垫片到各种齿轮、机械；从建筑、装饰到交通工具；从电熨斗、热水器到发电站、输变电设备；从网络通讯到太空探测，可以说人类的一切生产活动及生活几乎都离不开铜及铜合金制品。

铜加工材作为一种基础材料，其首要用途也是最大的应用领域——电力工业。发电设备、输变电设备、电缆、电线等的铜材消费量已超过全部铜材消费量的50%。

铜加工材的第二大应用领域是机电业。各种电动机、电控仪器仪表、换热设备、齿轮/蜗轮及轴承等机电产品的铜材消费量约占15%。

现代通讯业方兴未艾，是铜材消费最具前途的领域。固定和移动电话发送和接收设备、网络工程、计算机等铜材的消费量急剧增长。

在国外，建筑业也是铜材的重要应用领域，约占15%。近年来，在中国建筑用铜材也有不断增加的趋势，特别是铜水管、空调已经进入寻常百姓家。

铜及铜合金作为特殊的功能合金材料，如记忆铜合金、阻尼铜合金、耐蚀铜

合金、耐磨铜合金等，是军工、航天、高科技等领域不可或缺的材料。铜及铜合金材料的基本消费结构如图 0-1 所示。

随着人们物质文化生活水平的提高和信息化时代的到来，铜及铜合金已经并将继续成为与人类生活密不可分的重要基础材料。

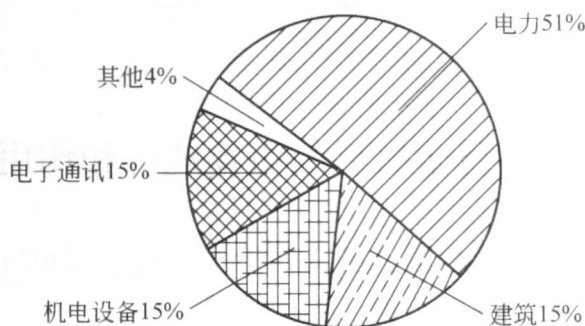


图 0-1 铜及铜合金的基本消费结构

0.2 我国铜合金材料及其生产技术的发展

我国的先民们虽然在三千年前就创造了闻名世界的灿烂的古代青铜文化，但到近代，由于长期的封建统治，到中华人民共和国成立前夕，我国的铜加工几乎一片空白，只有十几家破败而又简陋的作坊，铜加工材仅有 2000t。解放后，坚持自力更生、艰苦奋斗的方针，迅速建起了“沈阳有色金属加工厂”、“洛阳铜加工厂”、“西北铜加工厂”等骨干企业，为我国铜工业的发展奠定了基础。改革开放三十多年来，民营和集体铜加工企业如雨后春笋蓬勃发展，我国铜加工业发生了翻天覆地的变化，取得了举世瞩目的成就。

0.2.1 产量规模

近二十年来，特别是近几年，我国铜加工材产量快速增长，1985 年铜加工材产量为 59.07 万吨，2004 年为 569.5 万吨，增长近 10 倍，跃居世界首位。2008 年产量又创新高，约 750 万吨，占世界铜总产量的一半。以后几年每年都以 15% 以上的速度递增。到 2011 年，铜材产量达到 1028 万吨，牢牢占据世界的半壁江山。同时，我国铜加工企业生产集中度不断提高，产量规模不断扩大。大型企业产能由不到 10 万吨扩大到 20 万~30 万吨，实现了跨越式发展，逐步完成了从粗放式到现代化企业的转变。近二十年来我国铜加工材产量、出口量、进口量及消费量见表 0-1。

表 0-1 中国近二十年铜加工材产量、出口量、进口量及消费量

年 份	1990	2000	2005	2008	2009	2010	2011
产量/万吨	60.24	196.33	466.8	748.59	888.4	1009.3	1028.15
进口量/万吨	3.02	73.7	118.7	93.49	82.38	91.05	78.1
出口量/万吨	8.39	13.7	46.4	51.75	45.5	58.8	50.03
消费量/万吨	55.87	256.33	539.1	790.33	925.3	1041.55	1056.22

注：消费量=产量+进口量-出口量。

0.2.2 产品品种

近年来，我国铜加工材品种发生了巨大变化，产品的规格不断向两端极限延伸，合金牌号更加系列化。目前，中国铜加工材约有 250 种合金，近千个产品品种，是世界上铜加工产品品种最丰富的国家之一。

在合金系列方面，目前常用的、大批量生产的加工铜及铜合金约 150 多个，纳入我国国家标准的加工铜及铜合金牌号为 110 个（美国 ASTM 标准公布的有 134 个）。其中紫铜 9 个，黄铜 43 个，青铜 40 个，白铜 18 个。但是各铜加工企业实际生产的牌号远不止这些，各研究机构开发的合金牌号也数倍于此，多达 1000 多个。据不完全统计，仅近十年来，申请专利的新型铜合金就达 170 个以上。

在开发新的合金品种的同时，根据实际需要，对原来的合金也进行了调整和删减。如紫铜系列，纯铜中淘汰了 T4，无氧铜中增加了铜含量 99.99% 的零号无氧铜；磷脱氧铜由一个牌号变为两个，去除了锰脱氧铜；增加了含银无氧铜。同时合金品种开发的产业化进度大大加快，合金的系列化程度也在不断提高。无氧铜电缆带、变压器铜带、框架铜带、超薄水箱铜带、锌白铜带、空调铜管、同步齿环铜管、弥散强化铜合金等一大批新材料迅速实现了产业化，开始大批量生产。一些特殊用途的功能性材料的开发，为我国高新技术和国防军工的发展提供了有力的支撑。

0.2.3 产品质量

我国铜加工材的产品质量与过去的二十年相比发生了重大的变化。从整体上看，基本改变了“脏、乱、差”（表面不净、长短不齐、精度差）的面貌，光亮、清洁的产品已成为铜加工产品的总体面貌，基本实现了普通铜加工材向高精度铜加工材的转变，许多产品已成为国内外知名品牌。如我国的空调铜管，铜水（气）管，白铜管，黄铜棒、线等受到国外的欢迎，近几年出口量均保持在 50 万吨以上。

产品的技术标准大多进行了一次或二次修订升级（由行业标准上升为国家标准），产品的技术质量指标更严格、精度更高。同时对一些可以量化而原来没有量化的指标进行了量化，使产品质量指标的可操作性、可执行性更强，大部分产品标准达到国际先进水平。

在产品的性能指标控制上，从过去注重某一指标改变为更重视产品的综合指标及指标的均匀稳定性，使产品的综合性能朝更高、更优的方向发展。

现代企业不但注重产品的内在质量，同时也重视产品包装的防护性和美观性。铜加工材已由原来的简单、粗放捆扎式包装改变为现在的分类、个性化产品包装，能够针对不同的产品特点、不同的用户要求，进行包装方案设计、选材制作及包装分类等，使产品包装更科学合理、防护性更强，并方便用户后续加工使用。

0.2.4 技术水平

近二十年来，通过大量的引进、消化、吸收国外先进技术及技术自主创新，大大缩小了我国铜加工技术与发达国家的差距，并迅速发展到了一个新阶段。各企业不断着力进行新技术开发，涌现出了诸多铜加工技术创新成果。这些创新成果的快速产业化转化，为铜加工技术的发展奠定了坚实的基础，同时也为其提供了可持续发展的原动力。我国铜加工业也因此实现了由模仿国外先进技术向原创性技术的重大转变。如两段式（连铸-冷加工）加工大量取代传统的三段式（熔铸-热加工-冷加工），生产工艺流程发生根本性改变；光亮铜杆的连铸连轧技术，已成为铜线杆生产的主流方法；管材卷式法生产技术由单纯的倒立式圆盘拉伸向圆盘拉伸与多连直拉相结合的技术全面推进；连续挤压技术在异形材、窄薄带和汇流排生产中的迅速推广应用，水平连铸技术在紫铜和其他合金宽薄带坯生产中的应用，上引连铸技术在紫铜以外合金及中小规格管材生产中的应用等都取得了重大成果突破，走在了世界前列。

同时，为了改善产品质量、节能降耗，还涌现出许多所谓小技术，如潜流式熔炼转炉技术、超多线（头）水平连续铸造技术、电磁搅拌铸造技术等。这些新技术的应用，不但大大改善了产品质量，而且在降低生产成本、提高生产效率、提高成材率及现场文明生产方面都作出了积极的贡献。

特别值得一提的是，我国多项自主创新的原创性铜加工技术已处于国际领先地位，并被世界公认为铜加工技术的重大进步，如水平连铸—行星轧制—内螺纹管成型技术、铜材连续挤压技术及再生铜棒型材潜流多面连铸技术等。

0.2.5 产业发展程度

纵观我国铜加工发展的历史，我国铜加工产业不断进行结构调整，其中包括

产品结构、产业结构、企业规模、产业链的布局等。也正是如此，我国的铜加工产业实力明显得到增强。我国的铜加工业生产集中度显著提高、规模不断扩大，大型企业产能由不足 10 万吨扩大到 20 万 ~ 30 万吨；国内前十大铜加工企业的总产量占全国总产量的近 20%；铜加工产业由内地逐渐向市场经济发达的东南沿海地区及长江三角洲和珠江三角洲地区集中，前十大铜材生产省区全都在东、中部地区，其加工材产量占全国总产量的 90% 以上（2008 年达 92.1%）；全国产量前十大企业基本上都集中在东、中部地区。同时投资主体呈多元化，特别是民营企业的迅速崛起，其总产能已大大超过国有企业，所占比例已超过全国产能的 82% 以上，在全国前 10 大铜加工企业中，民营企业占了 8 席，起着举足轻重的作用。同时民营企业以延长产业链为思路，向铜加工的上游和下游纵深发展，这是市场经济发展的必然。表 0-2 所示为我国铜加工材产地分布及近年产量，表 0-3 所示为 2008 年中国十大铜加工企业产量及销售额。

表 0-2 中国铜加工材主要产地及近年产量 (万吨)

序号	产地	2007 年	2008 年	2011 年
1	江苏	143.59	139.21	155.61
2	浙江	138.49	151.16	189.06
3	广东	95.70	113.25	137.97
4	江西	55.80	108.73	156.46
5	安徽	43.08	56.76	126.00
6	河南	40.07	43.52	41.69
7	天津	22.47	26.47	12.84
8	辽宁	17.34	18.92	14.99
9	上海	14.61	14.15	37.93
10	山东	14.68	17.38	28.67
全国总计		628.80	748.59	1028

表 0-3 2008 年中国十大铜加工企业产量及销售额

序号	企 业 名 称	产量/万吨	销售额/亿元
1	宁波金田铜业集团公司	24	201
2	金龙精密铜管集团股份有限公司	21	160
3	海亮股份有限公司	14.7	79
4	安徽楚江投资集团有限公司	10.9	38.5
5	中铝洛阳铜业有限公司	10.4	51
6	安徽鑫科新材料股份有限公司	9.1	35.3

续表 0-3

序号	企 业 名 称	产量/万吨	销售额/亿元
7	浙江宏磊铜业股份有限公司	8	38
8	山东奥博特铜铝有限公司	7.2	49
9	沈阳星河铜业有限公司	6.6	40
10	广东华鸿铜业有限公司	6.2	35.2

0.2.6 装备设计和制造能力

铜加工产业化发展，使我国的铜加工工艺设计、装备设计与制造能力迅速提高。改革开放三十年来，所有新建铜加工厂均由国内自行设计。中国设计制造的装备如感应电炉、水平连铸机、轧机、挤压机、轧管机、倒立式圆盘拉伸机、光亮退火炉、清洗机列、拉弯矫直机等，不但单机水平达到了较高水准，而且整条生产线配套能力也大大增强。

目前，我国首创的具有结构简单、节能、环保的中小型潜流式联体感应炉组在世界上得到了较广泛的应用；管棒型线生产设备已完全国产化，并实现出口，大大降低了投资成本，受到国内外客户的欢迎；高精度铜板带热轧机、四辊精轧机已经基本实现国产化，多辊精轧机尤其是六辊轧机的研制取得了重大突破，轧机自动化水平进入了国际先进行列，关键零部件质量水平与国外的差距正逐步缩小。

0.2.7 科技研发

随着经济全球化的不断深入，自主创新是一个国家和企业的核心竞争力的理念深入人心。因此，近二十年来大中型铜加工企业都加大了科技创新的投入。除了积极引进新技术、新设备外，还大力招揽人才，建立自己的技术中心或科研机构，一个以市场为导向、以企业为主体、产学研紧密结合的研发体系已经基本形成。

0.3 铜合金材料应用开发的热点及方向

0.3.1 大规模集成电路引线框架用第三代铜合金的开发

为适应集成电路器件高密度、小型化和高可靠性的要求，继 Cu-Fe-P 系、Cu-Ni-Si 系之后，发达国家材料研发大多致力于开发高强高导的 Cu-Cr-Zr 系合金，其目标性能是抗拉强度在 600MPa 以上、电导率在 80% IACS 以上。为了提高强度，除进一步研究 Cr 和 Zr 在析出过程中的交互作用外，还主要集中在非真空加 Zr 技术研究和产业化，以及添加 Ti、Si、Mg 等元素，进行微合金化以提高