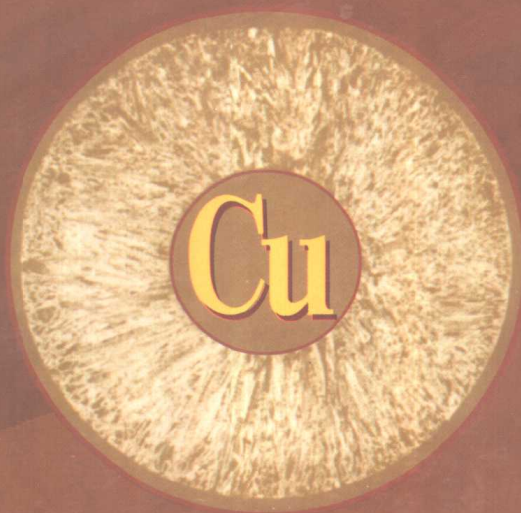




銅

合金及其 加工手冊

田榮璋
王祝堂

主編

中南大学出版社

铜

合金及其
加工手册

田荣璋 王祝堂 主编

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

铜合金及其加工手册/田荣璋,王祝堂编. —长沙:中南大学出版社,2002.5

ISBN 7-81061-465-7

I. 铜... II. ①田...②王... III. 铜合金—金属加工—技术手册 IV. TG146.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 030072 号

铜合金及其加工手册

田荣璋 王祝堂 主编

☐责任编辑 可耕 王嘉新

☐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:0731-8876770 传真:0731-8829482

电子邮件:csucbs@public.cs.hn.cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 湖南省地质测绘印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 63.5 ☐字数 1625 千字

☐版 次 2002 年 5 月第 1 版 ☐2002 年 5 月第 1 次印刷

☐印 数 0001—3000

☐书 号 ISBN 7-81061-465-7/TF·014

☐定 价 195.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

编辑出版说明

1. 我国铜加工业发展迅猛,从 1990 年到 2000 年,年产量由 50 万 t 增加到 155 万 t,生产企业由 500 余家增加到 1400 余家。为适应国民经济快速发展的要求和为应对进入 WTO 国际交流的压力,在铜加工业必须进行技术改造、提高生产技术和产品品质的情况下,出版《铜合金及其加工手册》一书,是对铜加工业最大的也是最及时的知识技术支持和服务。

2. 本《手册》内容丰富,资料与数据实用,在一定程度上反映了当代科技成就和铜合金及其加工技术理论研究和加工工艺水平。对教学、科研、生产和用材单位以及经营管理部门广大科技工作者、教师和学生、企业技术人员和技术工人、干部和经营管理人员都有相当大的参考价值。

3. 《铝合金及其加工手册》出版之后,早在 1995 年就提出选题,策划出版《铜合金及其加工手册》一书。经过长时间的酝酿和遴选作者,于 2000 年初组建该《手册》编委会,中国工程院院士、中南大学校长、著名材料科学专家、热心出版事业的黄伯云教授为主任委员;中南大学出版社原社长、出版专家田荣璋教授为执行主任委员兼执行主编;王祝堂教授为副主任委员兼主编。书稿由王祝堂主编审读初稿后汇集到出版社,由田荣璋执行主编审读、修改、精减和补充,最后定稿。原稿 240 余万字,7 个部分,21 章,在出版社文援朝社长主持下,经过多次研究,三易其稿,最后确定为 160 余万字,6 个部分,13 章。

4. 出版一部综合性大型工具书是一项复杂工程,编写人员多,分布在各地,编写时间短,在体例上编排上以及内容上难免有不尽完善之处,甚至出现疏漏和差错,敬请指正。

5. 在出版过程中得到东北大学马宏声教授、中南大学出版社原副社长张国祥教授和原副社长童芳远副研究员的多方面帮助,出版社电脑排版室的大力支持,在此,我们一并表示感谢。

中南大学出版社

编辑部

2002 年 4 月

《铜合金及其加工手册》编委会

主 任 委 员 黄伯云

执行主任委员 田荣璋(兼执行主编)

副 主 任 委 员 王祝堂(兼主编)

委	员	黄伯云	田荣璋	王祝堂
		文援朝	黄尚安	李松瑞
		孝云祯	王振范	娄燕雄
		娄明珠	高彩茹	马宏声
		张国祥	童芳远	程 滨

前 言

铜是古老的金属。中华民族有五千年以上的文明史,铜的发现与使用技术是中国古代文明的重要组成部分。出土最早的铸造铜刀,是中国 4800 年以前生产的。龙山文化时期,已能人工冶炼红铜和铜合金,并掌握了铸造、锻造和退火工艺,这个时候的锻造是不是最早的压力加工技术开始,不敢定论。世界上在 1429 年开始了铜板的生产,当然是手工作业式的。1784 年蒸汽传动轧机出现之后,铜加工的方式由作坊变成了加工厂。第二次世界大战期间,铜加工材的生产取得了长足的发展。后来,由于技术的进步,工业发达国家进行企业改造,大型加工厂的产生,生产由小批量向大批量发展,生产方式由半机械化向机械化、自动化转变。20 世纪 70 年代后,铜加工理论取得很多新成果的同时,新工艺、新方法、新技术、新产品和新的管理思想相继出现,铜的加工进入了现代生产时期。随着科学技术和工业的进步,对铜加工材提出了更高的要求,铜加工业则不断地提高产品物理性能、机械性能、化学性能、表面品质和加工精度;不断地出现适应各种特殊要求的高、精、尖新产品。

铜加工材(还有铸造铜合金),是各国均高度重视的战略物资和发展现代工业的重要基础材料和功能材料。据统计,2000 年世界精铜产量为 1468 万 t,其中美国 173.2 万 t,独联体 133.3 万 t,日本 145.5 万 t;世界精铜的消费量为 1488.5 万 t,其中美国 292.3 万 t,独联体 27 万 t,日本 132.7 万 t。我国是近些年来铜加工业发展最快的国家,也是铜消费最多的国家之一。1990 年铜加工材的生产能力为 78 万 t,当年生产量不到 50 万 t,消费量 50 万 t 左右。到 1995 年生产能力达到 253 万 t,产量达到 156 万 t,消费量超过了 180 万 t。2000 年,虽然生产能力和产量与 1995 年比没有太大的变化,消费量猛增到 215 万 t。在这个时期生产企业由 500 余家增加到 1400 余家(铜线缆企业不计在内)。预测,2005 年我国铜加工材的需求量为 255 万 t。这里说明两个问题:一是生产能力远大于产量,有生产能力储备,这是好的一面。另外,能生产产品品质不高的大路货能力大,无市场;二是消费量大于产量,主要是技术含量高的、产品品质好的和产品精度高的产品大部分靠进口。因此,我国铜加工业需要提高技术水平、生产水平和管理水平。就是说我国铜加工业生产普通的要求不高的铜加工材生产能力大,这点可以理解,1400 余家企业,大中型的仅占 7%,其余均为小企业,基础差、设备陈旧、工艺落后、管理水平低,企业必须进行改造,向现代化企业靠近。

我国经济高速度持续发展,各行各业对铜加工材,特别是高、精、尖的铜加工材的需求量猛增,加之我国已进入世界贸易组织(WTO),给我国铜加工企业造成很大的压力,“十五”期间是铜加工业改造和发展的关键时期,是在以市场为导向,以经济效益为中心,以科技进步为动力,加快结构调整步伐的方针指导下,大力进行技术改造,提高生产技术水平,提高产品品质 and 经济效益的时期,也是机遇和挑战并存的时期。在这个时期需要知识技术支援和服务。中南大学出版社出版的《铜合金及其加工手册》就是对铜加工业的知识技术支援和服务,是对铜加工业发展的一大贡献。像出版《铝合金及其加工手册》一样,一定会受到广大有色金属加工行业的领导、技术人员、技术工人,以及科研院所和高等学校的欢迎。

田 荣 璋

2002 年 4 月

目 录

铜合金物理冶金基础

第一章 铜合金相图	李松瑞(1)
1.1 相图概述	(1)
1.1.1 合金及相图	(1)
1.1.2 合金相	(1)
1.1.3 相平衡条件与相律	(2)
1.1.4 二元相图表示法及杠杆定律	(2)
1.1.5 三元相图成分表示法	(2)
1.1.6 三元相图中的杠杆定律及重心法则	(4)
1.2 铜合金二元相图	(5)
1.2.1 主要的铜合金二元相图	(5)
1.2.2 二元铜合金相图的类型	(29)
1.2.3 二元铜合金中金属间相及其晶体结构	(29)
1.3 铜合金三元相图	(32)
参考文献	(47)
第二章 铜合金物理冶金基础	李松瑞(48)
2.1 铜合金中的相	(48)
2.1.1 α 固溶体	(48)
2.1.2 其他端际固溶体相	(53)
2.1.3 中间相(金属间化合物)	(53)
2.2 固态铜合金在加热和冷却过程中组织和性能的变化	(55)
2.2.1 铸锭组织及均匀化	(55)
2.2.2 回复与再结晶	(60)
2.2.3 固态相变	(70)
2.3 固态相变	(70)
2.3.1 无序—有序转变	(70)
2.3.2 Spinodal(旋节)分解	(73)
2.3.3 脱溶转变与时效强化	(75)

2.3.4	共析转变	(84)
2.3.5	马氏体相变	(86)
2.4	腐蚀性能	(98)
2.4.1	腐蚀机制	(98)
2.4.2	主要腐蚀形式	(100)
2.4.3	在各种介质中的抗蚀性评估	(105)
	参考文献	(109)

铜及铜合金加工材及其性能

第三章 纯(紫)铜 王祝堂 贺慧彤(110)

3.1	杂质及微量合金元素对铜性能的影响	(110)
3.1.1	氧的影响	(113)
3.1.2	氢的影响	(117)
3.1.3	硫的影响	(117)
3.1.4	硒的影响	(118)
3.1.5	碲的影响	(118)
3.1.6	磷的影响	(120)
3.1.7	砷的影响	(120)
3.1.8	铋的影响	(121)
3.1.9	铊的影响	(122)
3.1.10	铅的影响	(122)
3.1.11	铁的影响	(122)
3.1.12	银的影响	(124)
3.1.13	铍的影响	(127)
3.1.14	铝的影响	(127)
3.1.15	镁的影响	(127)
3.1.16	锂、硼、锰、钙的影响	(127)
3.1.17	稀土元素的影响	(128)
3.1.18	难熔金属及其他金属的影响	(128)
3.2	铜材的应力松弛性能	(128)
3.3	铜材的退火与晶粒度	(133)
3.4	紫铜的性能	(135)
3.4.1	物理性能	(135)
3.4.2	织构与各向异性	(139)
3.4.3	力学性能	(141)
3.4.4	化学性能	(146)

3.5 美国加工铜及高铜合金的性能	(153)
3.5.1 典型用途	(153)
3.5.2 物理性能	(154)
3.5.3 工艺性能	(157)
3.5.4 力学性能	(159)
3.5.5 化学性能	(187)
参考文献	(189)

第四章 黄 铜

王祝堂 贺慧彤(190)

4.1 化学成分	(191)
4.2 简单黄铜的性能	(191)
4.2.1 物理性能	(191)
4.2.2 力学性能	(198)
4.2.3 工艺性能	(203)
4.2.4 化学性能	(208)
4.2.5 杂质影响	(212)
4.2.6 基本特性及主要用途	(213)
4.3 复杂黄铜	(213)
4.3.1 铅黄铜	(214)
4.3.2 锡黄铜	(219)
4.3.3 铁黄铜	(223)
4.3.4 镍黄铜	(225)
4.3.5 铝黄铜	(225)
4.3.6 锰黄铜	(228)
4.3.7 硅黄铜	(229)
4.4 美国黄铜的性能	(231)
4.4.1 物理性能	(231)
4.4.2 工艺性能	(235)
4.4.3 力学性能	(236)
4.4.4 化学性能	(258)
参考文献	(258)

第五章 青 铜

王祝堂 贺慧彤(259)

5.1 锡青铜	(259)
5.1.1 合金元素及杂质元素对锡青铜性能的影响	(259)
5.1.2 化学成分	(261)
5.1.3 力学性能	(261)

5.1.4	物理性能及工艺性能	(265)
5.1.5	化学性能	(265)
5.1.6	基本特性与典型用途	(268)
5.2	铝青铜	(270)
5.2.1	合金元素及杂质元素对铝青铜性能的影响	(271)
5.2.2	化学成分	(271)
5.2.3	力学性能	(271)
5.2.4	物理性能及工艺性能	(281)
5.2.5	化学性能	(282)
5.2.6	基本特性及典型用途	(285)
5.3	硅青铜	(286)
5.3.1	合金元素及杂质元素对硅青铜性能的影响	(286)
5.3.2	化学成分	(287)
5.3.3	力学性能	(287)
5.3.4	物理性能及工艺性能	(291)
5.3.5	化学性能	(291)
5.3.6	基本特性与典型用途	(293)
5.4	锰青铜	(293)
5.4.1	合金元素及杂质元素对锰青铜性能的影响	(293)
5.4.2	化学成分	(294)
5.4.3	力学性能	(294)
5.4.4	物理性能及工艺性能	(294)
5.4.5	化学性能	(296)
5.4.6	基本特性及典型用途	(296)
5.5	铬青铜及镉青铜	(296)
5.5.1	合金元素及杂质对铬青铜、镉青铜性能的影响	(297)
5.5.2	化学成分	(297)
5.5.3	力学性能	(297)
5.5.4	物理性能及工艺性能	(302)
5.5.5	化学性能	(302)
5.5.6	基本特性及典型用途	(302)
5.6	锆青铜	(303)
5.6.1	合金元素及杂质元素对锆青铜性能的影响	(304)
5.6.2	化学成分	(304)
5.6.3	力学性能	(304)
5.6.4	物理性能	(307)
5.6.5	化学性能	(307)
5.6.6	基本特性与典型用途	(308)
5.7	镁青铜	(308)

5.8	铁青铜	(308)
5.8.1	力学性能	(309)
5.8.2	物理性能	(310)
5.8.3	化学性能	(310)
5.8.4	工艺性能	(310)
5.8.5	典型用途	(311)
5.9	碲青铜	(311)
5.9.1	力学性能	(311)
5.9.2	物理性能	(312)
5.9.3	工艺性能	(312)
5.9.4	典型用途	(312)
5.10	铍青铜.....	(313)
5.10.1	合金元素及杂质元素对铍青铜性能的影响.....	(313)
5.10.2	铍青铜的热处理.....	(316)
5.10.3	铍青铜的化学性能.....	(319)
5.10.4	铍青铜的物理性能.....	(322)
5.10.5	铍青铜的力学性能.....	(323)
5.10.6	铍青铜的加工成形性能.....	(332)
5.10.7	铍青铜的应用.....	(333)
5.11	美国青铜的典型力学性能.....	(341)
5.11.1	锡青铜的典型力学性能.....	(341)
5.11.2	铝青铜的典型力学性能.....	(344)
5.11.3	硅青铜等的典型力学性能.....	(349)
5.12	美国青铜的物理性能.....	(353)
5.13	美国青铜的加工成形性能.....	(354)
5.14	典型美国青铜的显微组织与化学性能.....	(357)
5.15	杂质含量对美国青铜性能的影响.....	(359)
5.16	美国青铜的典型用途.....	(359)
	参考文献.....	(360)

第六章 白 铜 王祝堂 李 湘(361)

6.1	白铜的性能	(361)
6.1.1	加工白铜的化学成分及合金元素与杂质对其性能影响	(361)
6.1.2	物理性能	(364)
6.1.3	力学性能	(367)
6.1.4	化学性能	(378)
6.2	美国白铜的性能	(379)
6.2.1	物理性能	(379)

6.2.2	工艺性能	(381)
6.2.3	力学性能	(382)
6.2.4	化学性能	(389)
6.2.5	典型用途	(389)
参考文献		(390)

铜合金的熔炼与铸锭

第七章 铜合金的熔炼与铸锭 孝云祯 高彩茹(391)

7.1	铜及铜合金的成分控制	(391)
7.1.1	配料及化学成分调整	(391)
7.1.2	装料及熔化顺序	(397)
7.1.3	熔炼时金属的损耗	(397)
7.1.4	除气和脱氧	(399)
7.1.5	精炼	(406)
7.2	熔炼用炉	(408)
7.2.1	筑炉耐火材料	(408)
7.2.2	锅式炉	(409)
7.2.3	坩埚炉	(409)
7.2.4	反射炉	(409)
7.2.5	有芯工频感应电炉	(410)
7.2.6	无铁芯感应电炉	(414)
7.2.7	真空炉	(420)
7.2.8	电渣炉	(422)
7.3	铜及其合金的熔炼	(425)
7.3.1	紫铜的熔炼	(425)
7.3.2	黄铜的熔炼	(429)
7.3.3	青铜的熔炼	(435)
7.3.4	白铜的熔炼	(440)
7.4	铜合金锭模铸锭	(442)
7.4.1	铸锭生产方法分类	(442)
7.4.2	锭模铸锭生产及设备	(443)
7.4.3	影响锭模铸锭品质的因素	(447)
7.4.4	涂料的使用	(447)
7.4.5	锭模铸锭工艺	(448)
7.5	铜合金半连续和连续铸锭	(451)
7.5.1	半连续铸锭	(451)

7.5.2	水平连续铸锭	(457)
7.5.3	电磁铸锭	(461)
7.6	连铸新技术	(462)
7.6.1	概述	(462)
7.6.2	水平连铸带坯	(463)
7.6.3	立弯式连铸带坯	(467)
7.6.4	辊轮式连铸薄带	(467)
7.6.5	铜线(杆)坯连铸	(469)
7.6.6	铜合金半固态加工	(489)
7.7	铸锭组织及控制	(493)
7.7.1	铸锭典型的宏观组织	(493)
7.7.2	铸态组织对性能的影响	(493)
7.7.3	铸锭组织控制途径	(494)
7.7.4	铜合金晶粒细化	(495)
7.8	铸锭缺陷及质量(品质)检测	(496)
7.8.1	化学成分废品	(496)
7.8.2	气孔	(498)
7.8.3	夹渣(杂)	(500)
7.8.4	偏析	(500)
7.8.5	冷隔	(501)
7.8.6	缩孔与疏松	(502)
7.8.7	裂纹	(503)
7.8.8	锭坯品质检测	(505)
	参考文献	(508)

板带箔材生产

第八章 金属的变形与力学基础 王振范(509)

8.1	金属的变形与应力状态	(509)
8.1.1	变形与应力状态的特点	(509)
8.1.2	变形时金属的组织变化与变形景象	(516)
8.1.3	金属塑性变形与力学	(521)
8.1.4	正交曲线坐标	(55)
8.1.5	金属的变形抗力与塑性条件	(526)
8.2	塑性加工的力学解析	(530)
8.2.1	塑性加工的解析方法	(530)
8.2.2	解析计算公式	(535)

8.3	加工变形、力与温度的测定	(541)
8.3.1	位移与应变的测定	(541)
8.3.2	应变分布的测定	(544)
8.3.3	应力与力的测定	(546)
8.3.4	温度的测定	(550)
8.4	摩擦与润滑基础	(552)
8.4.1	摩擦	(552)
8.4.2	润滑	(554)
8.5	矫正、剪切基础	(560)
8.5.1	矫正基础	(560)
8.5.2	剪切基础	(565)
	参考文献	(571)

第九章 板带箔材生产 王振范(572)

9.1	板带箔材轧制理论	(572)
9.1.1	轧制时的金属变形参数	(572)
9.1.2	计算与图表	(578)
9.2	板带材生产	(588)
9.2.1	板带材产品及生产流程	(588)
9.2.2	板带生产车间概况	(608)
9.2.3	热轧板带生产	(608)
9.2.4	冷轧板带生产	(627)
9.2.5	铜合金的热处理	(653)
9.2.6	酸洗、表面清理与矫平	(662)
9.2.7	特殊板带材轧制	(668)
9.2.8	箔材生产	(672)
9.2.9	产品质量(品质)	(678)
	参考文献	(689)

管棒型线材生产

第十章 管棒型材的加工方法及其变形原理 姜明珠(7690)

10.1	变形指数	(690)
10.1.1	常用的变形指数	(690)
10.1.2	延伸系数的计算公式	(690)
10.2	挤压	(691)

10.2.1	挤压优缺点	(691)
10.2.2	挤压方法	(692)
10.2.3	挤压时金属的流动特点	(695)
10.2.4	挤压力和穿孔力	(696)
10.3	冷轧管	(699)
10.3.1	冷轧管方法(管材冷轧)	(699)
10.3.2	2辊冷轧管的变形特点	(705)
10.3.3	2辊冷轧管的轧制力	(708)
10.4	拉伸(拉拔)	(710)
10.4.1	拉伸的优缺点	(710)
10.4.2	拉伸方法	(710)
10.4.3	拉伸变形特点	(713)
10.4.4	实现稳定拉伸的条件	(714)
10.5	产品的生产方案	(726)
10.5.1	产品生产新技术	(726)
10.5.2	产品的生产方案	(726)
	参考文献	(728)

第十一章 管棒型材生产 姜明珠(729)

11.1	挤压生产	(729)
11.1.1	挤压生产工艺	(729)
11.1.2	挤压工具	(736)
11.1.3	挤压设备	(762)
11.2	冷轧管生产	(772)
11.2.1	冷轧管生产工艺	(772)
11.2.2	2辊冷轧管机的工具设计	(775)
11.2.3	冷轧管机	(791)
11.3	拉伸制品生产	(803)
11.3.1	拉伸生产工艺流程图	(803)
11.3.2	拉伸工具	(803)
11.3.3	拉伸工艺	(813)
11.3.4	拉伸机	(829)
11.3.5	退火、酸洗及其设备	(837)
11.3.6	精整、辅助工序	(845)
11.4	特殊用途管材生产	(848)
11.4.1	紫铜管和空调器管生产	(848)
11.4.2	内螺纹铜管生产	(858)
11.4.3	波导管生产	(865)

11.4.4 热交换器合金管(冷凝管)生产.....	(871)
参考文献.....	(877)

第十二章 线材生产 姜燕雄(878)

12.1 概述.....	(878)
12.1.1 定义.....	(878)
12.1.2 线材粗细表示法.....	(878)
12.1.3 线材生产方法.....	(878)
12.2 轧制法制备线材.....	(878)
12.2.1 孔型轧制与平辊轧制.....	(878)
12.2.2 孔型和孔型系.....	(880)
12.2.3 孔型轧制的几个问题.....	(881)
12.2.4 线杆轧制的孔型设计.....	(884)
12.2.5 线杆轧制方式.....	(900)
12.2.6 线杆轧制工艺.....	(906)
12.3 拉线.....	(923)
12.3.1 拉线定义.....	(923)
12.3.2 拉线模.....	(923)
12.3.3 变形量.....	(924)
12.3.4 实现拉线的条件.....	(924)
12.3.5 拉线时工件受力.....	(924)
12.3.6 影响拉线力的因素.....	(924)
12.3.7 拉线力的估算.....	(925)
12.3.8 反拉力的由来与计算.....	(930)
12.3.9 配模.....	(932)
12.3.10 线材拉制方式	(933)
12.3.11 多模连续拉制三种类型的对比	(933)
12.3.12 滑动连续拉制时的滑动	(936)
12.3.13 积蓄连续拉制时的盈亏	(941)
12.3.14 型线配模	(944)
12.3.15 拉线时的润滑冷却和清洗——拉线油	(952)
12.3.16 线材生产中的热处理	(954)
12.3.17 酸洗	(957)
12.3.18 拉线机	(958)
12.3.19 废品	(965)
12.4 当今世界的拉线技术.....	(966)
参考文献.....	(972)

附录

第十三章 铜合金牌号、材料状态代号及其对照	王祝堂 李 湘(973)
13.1 中国铜合金牌号及材料状态的表达	(973)
13.1.1 铜及铜合金牌号代号	(973)
13.1.2 状态代号	(974)
13.2 ISO 的铜及铜合金牌号与状态的表达	(974)
13.2.1 铜及铜合金牌号	(974)
13.2.2 状态代号	(976)
13.3 美国铜及铜合金牌号与状态的表达	(977)
13.3.1 铜及铜合金牌号	(977)
13.3.2 状态代号	(978)
13.4 日本铜及铜合金牌号及状态的表达	(982)
13.4.1 铜及铜合金牌号	(982)
13.4.2 状态代号	(983)
13.5 德国铜及铜合金牌号的表达	(983)
13.5.1 系统 1	(983)
13.5.2 系统 2(数字代号系统)	(984)
13.5.3 状态代号	(985)
13.6 英国铜及铜合金牌号与状态的表达	(988)
13.6.1 铜及铜合金牌号	(988)
13.6.2 状态代号	(988)
13.7 法国铜及铜合金牌号与状态的表达	(989)
13.7.1 铜及铜合金牌号	(989)
13.7.2 状态代号	(990)
13.8 俄罗斯铜及铜合金牌号与状态的表达	(991)
13.8.1 铜及铜合金牌号	(991)
13.8.2 状态代号	(992)
13.9 加工铜及铜合金牌号对照	(993)
参考文献	(997)