

铜材生产加工丛书

铜合金 熔炼与铸造工艺

刘培兴 刘晓璐 刘华霖 编著

TONGHEJIN



化学工业出版社

铜材生产加工丛书

铜合金 熔炼与铸造工艺

刘培兴 刘晓瑛 刘华鼎 **编著**



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详尽地介绍了铜与铜合金在熔炼过程中的损耗和配料、熔炼设备和技术、铜合金的精炼和熔炼工艺，以及铜与铜合金的熔铸工艺规程的制定、铸造铜合金的工艺及设备、铜合金铸锭的加工工艺，还介绍了铜合金熔铸新工艺、新技术和连铸连轧技术。本书既充分反映了国内外有关铜合金熔铸的常用加工技术及加工工艺，也汇集了作者多年积累的工作经验，内容丰富，资料翔实，实例较多。

本书适合铜与铜合金生产与加工企业的技术人员使用，同时也可供大专院校冶金、材料及相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铜合金熔炼与铸造工艺/刘培兴, 刘晓璐, 刘华甯编
著. —北京: 化学工业出版社, 2009.9
(铜材生产加工丛书)
ISBN 978-7-122-06519-3

I. 铜… II. ①刘…②刘…③刘… III. ①铜合金-熔炼②铜合金-铸造 IV. TG291

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 145684 号

责任编辑: 丁尚林
责任校对: 陈 静

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
720mm×1000mm 1/16 印张 16¼ 字数 379 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究

序

铜和铜合金是古老而永远年轻的有色金属。它伴随着中华民族历尽了近五千年的历史沧桑。铜合金的发现和使用技术是我国古代文明史的重要组成部分。据文献记载，在4800年以前我们的先辈就铸造出了铜刀，在龙山文化时期，已经能冶炼铜和铜合金，并掌握了铜合金的铸造、锻造和退火技术，这是最早的塑性加工。蒸汽机出现后铜合金加工生产由手工作坊方式发展成为工厂生产方式。随着社会和科学技术的进步和发展，铜和铜合金加工技术也由半机械化向机械化和自动化发展。20世纪80年代，在铜合金加工理论取得很多新成果的同时，新工艺、新技术和新产品也相继出现。

铜和铜合金在航天、航空、电子、电力、信息、能源、机械、冶金、建筑和交通等领域得到广泛应用。我国铜合金加工产业发展迅速，铜合金材料加工产量居世界首位。铜合金材料的加工技术是控制和改善材料形状、组织、性能及尺寸的主要手段。加工技术的发展和进步，对铜合金新材料的开发研究、应用有着决定性的作用，同时，对改善和提高传统材料的生产和使用性能也具有重要的作用。

为了满足目前铜合金加工技术开发研究和生产的要求，我们不揣冒昧，编写了这套《铜材生产加工丛书》，将铜合金材料从熔炼、铸造到加工成形等工艺做了系统全面的介绍。本丛书搜集了国内外铜合金材料加工领域的专家、学者及工程技术工作者在铜合金材料加工方面所取得的重要研究成果，以及编者在工作中积累的经验，期望使读者系统地了解铜和铜合金塑性加工理论与材料加工生产技术及设备等方面的知识，对铜合金加工工作者提高业务水平有所帮助。

鉴于铜合金加工企业中都是按产品的形状分为板、带、条、箔、管、棒、型、线八类，本丛书分为《铜合金加工基础》、《铜合金熔炼与铸造工艺》、《铜合金板带材加工工艺》、《铜合金管棒材加工工艺》、《铜合金型材加工工艺》五个分册。各分册既有各自独立的体系，又相互联系，便于读者使用。

编著者

前 言

锭坯生产历来是铜合金材料加工生产的第一道工序，也是最关键的环节。熔炼和铸造是生产锭坯的主要手段，而熔炼和铸造工艺的许多因素变化不易控制。随着生产的发展，人们日益清醒地认识到熔炼和铸造工艺的重要性。实践证明，新材料的开发研制与熔炼技术的发展相辅相成，相互促进。

编者凭借从事铜合金加工的工作经验，并汇集有关资料，不揣冒昧编成此书，供从事铜合金材料加工业的同行参考，期望以此为我国铜加工业的发展贡献绵薄之力。

本书分2篇，共11章。第1篇是铜与铜合金的熔炼加工工艺，包括第1章~第5章。概述了铜合金熔炼时所需的原料、熔剂，熔炼加工的安全技术和注意事项，详尽地介绍了熔炼过程中的损耗和配料、炉料和中间合金、熔炼设备和熔炼技术、铜合金的精炼、各类铜合金的熔炼工艺，简要介绍了铜渣的回收和收尘。第2篇是铜与铜合金的铸造加工工艺，包括第6章~第11章。概述了铸造技术的分类、铸造安全技术、铜合金的铸造特性、铸锭缺陷分析及质量检验，详尽地介绍了熔铸工艺规程的制定、铸造铜合金的金属型铸造工艺和压力铸造工艺及设备、加工铜合金铸锭的加工工艺、铸锭后续处理及设备，以及感应熔炼和水平连铸、铜合金的真空熔铸、压铸新工艺、电磁铸造技术等铜合金熔炼和铸造加工的新工艺、新技术，并简明扼要地介绍了单晶连铸技术、悬浮铸造技术、喷射铸轧技术、挤压铸造技术、连续铸挤技术等铜合金连铸连轧技术。

鉴于编者学识有限，虽尽力完善，书中仍难免有疏漏之处，敬请同行、专家、学者及读者斧正。

编著者

目 录

第 1 篇 铜与铜合金的熔炼加工工艺

第 1 章 铜与铜合金熔炼加工概述	2
1.1 熔炼铜合金所需的金属材料	2
1.2 铜合金熔炼的一般原则	8
1.3 铜合金的熔炼特性	8
1.4 铜合金熔炼时用的熔剂	9
1.4.1 使用熔剂的目的	9
1.4.2 熔剂的分类及用途	9
1.4.3 铜及铜合金常用的熔剂	9
1.4.4 使用熔剂时的注意事项	10
1.5 铜与铜合金熔炼的安全技术	11
1.5.1 熔炼炉安全操作要点	11
1.5.2 熔炼安全操作要点	11
第 2 章 铜合金熔炼时的金属损耗和配料	12
2.1 熔炼时的金属熔炼损耗	12
2.1.1 金属的挥发	12
2.1.2 氧化烧损	13
2.1.3 其他熔炼烧损	14
2.1.4 降低熔炼损耗的途径	14
2.2 铜合金熔炼时的炉料和中间合金	14
2.2.1 新金属	14
2.2.2 回炉料	14
2.2.3 中间合金	15
2.3 配料原则与配料计算	20
2.3.1 配料的原则	20
2.3.2 配料的计算	21
第 3 章 铜与铜合金的熔炼设备及熔炼技术	31
3.1 概述	31
3.1.1 对铜及铜合金熔炼设备的基本要求	31
3.1.2 铜合金熔炼炉的分类及选用	31

3.2	坩埚炉及其熔炼技术	31
3.2.1	固体燃料坩埚炉及其熔炼技术	31
3.2.2	液体、气体燃料坩埚炉及其熔炼技术	32
3.2.3	电阻坩埚炉及其熔炼技术	32
3.3	反射炉及其熔炼技术	34
3.3.1	火焰反射炉及其熔炼技术	34
3.3.2	电阻反射炉及其熔炼技术	36
3.4	竖式炉及其熔炼技术	36
3.5	感应炉及其熔炼技术	38
3.5.1	无芯感应炉及其熔炼技术	38
3.5.2	熔沟式有芯感应炉及其熔炼技术	39
3.5.3	真空感应炉及其熔炼技术	42
3.6	电弧炉及其熔炼技术	47
3.7	其他熔炼炉及熔炼技术	48
第4章	铜合金的精炼	49
4.1	铜与铜合金的除气和脱氧精炼	49
4.1.1	气体的来源	49
4.1.2	气体介质对熔融铜合金的影响	49
4.1.3	除气精炼的原理简述及方法	50
4.1.4	铜合金熔炼时的氧化和脱氧	51
4.2	铜与铜合金的氧化精炼	54
4.3	铜与铜合金的除渣精炼	55
4.3.1	除渣精炼原理简述	55
4.3.2	除渣精炼方法	56
4.4	铜合金的变质处理	56
4.4.1	对变质剂的要求条件	56
4.4.2	使用变质剂的作用	57
4.4.3	铜及其合金变质处理的实例	57
4.5	电磁场精炼	58
4.5.1	电磁场精炼原理	58
4.5.2	电磁场精炼方法	59
第5章	铜与铜合金的熔炼工艺	62
5.1	熔炼前的准备工作	63
5.1.1	炉料和辅助材料的准备	63
5.1.2	熔炉的准备	63
5.1.3	浇包的准备	65
5.1.4	工具的准备	65
5.2	铸造纯铜和低合金铜的熔炼工艺	65
5.2.1	铸造纯铜和低合金铜的熔炼工艺流程	65

5.2.2	熔炼操作要点	66
5.3	加工纯铜的熔炼工艺	66
5.3.1	加工纯铜工频有芯感应电炉熔炼工艺	67
5.3.2	加工纯铜反射炉熔炼工艺	68
5.3.3	竖式炉熔炼工艺	69
5.4	加工铜合金的熔炼工艺	70
5.4.1	加工黄铜的熔炼工艺	70
5.4.2	加工青铜熔炼工艺	72
5.4.3	加工白铜熔炼工艺	75
5.5	铸造铜合金和压铸铜合金的熔炼工艺	77
5.5.1	熔炼工艺参数	77
5.5.2	合金元素的加入	77
5.5.3	铸造铜合金的熔炼工艺流程	78
5.5.4	铸造铜合金工艺操作简述	78
5.5.5	铸造铜合金熔炼作业	79
5.5.6	压铸铜合金的熔炼特点	87
5.5.7	炉前的质量控制	87
5.6	铜渣的回收和收尘	88
5.6.1	铜渣的回收	88
5.6.2	收尘	90

第 2 篇 铜与铜合金铸造加工工艺

第 6 章	铜与铜合金铸造加工工艺概述	94
6.1	铜合金的铸造技术分类	94
6.2	铜合金的铸造性能	94
6.3	铜及铜合金铸造安全技术	95
6.3.1	铸锭安全技术	95
6.3.2	金属型铸造和压力铸造安全技术	96
6.4	熔铸工艺规程的制定	96
6.4.1	对熔铸质量的基本要求	96
6.4.2	确定熔铸工艺参数的依据	96
6.4.3	合金成分的控制	96
6.4.4	熔体中含气量及夹渣量的控制	97
6.4.5	偏析、缩松及裂纹的控制	97
第 7 章	铸造铜合金的金属型铸造工艺	99
7.1	金属型铸造的特点及工艺流程	99
7.1.1	金属型铸造的特点	99
7.1.2	金属型铸造工艺流程	99
7.2	金属型铸造工艺规范及操作要点	99

7.2.1	金属型准备	99
7.2.2	金属型和型芯的预热和喷刷涂料	101
7.2.3	金属型浇铸前的准备工作	102
7.2.4	浇铸	103
7.2.5	开型	103
7.2.6	铸件清理入库	104
7.3	金属型铸造工艺设计	106
7.3.1	铸件分型面的选择	106
7.3.2	浇铸系统的设计	108
7.4	金属型设计	117
7.4.1	金属型的结构形式	117
7.4.2	金属型的组成及其设计	119
7.4.3	金属型铸造铜合金铸件的实例	127
7.5	金属型铸造技术	130
7.5.1	立模铸造技术	130
7.5.2	斜模铸造技术	130
7.5.3	无流铸造技术	131
7.5.4	平模铸造技术	131
7.5.5	金属型铸造机的分类及其应用范围	132
第8章	铸造铜合金的压力铸造工艺	133
8.1	压力铸造工艺流程	133
8.2	压力铸造工艺参数及其选择	133
8.2.1	压力	133
8.2.2	速度	135
8.2.3	温度	136
8.2.4	时间	137
8.2.5	压铸涂料	138
8.3	压力铸造工艺规范和操作要点	139
8.3.1	压铸机的检查、调整和润滑	139
8.3.2	铸型的安装和调试	139
8.3.3	压铸型预热	139
8.3.4	压铸用涂料和喷涂	141
8.3.5	合金液的输送	141
8.3.6	浇铸	142
8.3.7	铸件的取出	144
8.3.8	后处理和入库	144
8.3.9	安全操作	147
8.4	压铸件结构设计	147
8.4.1	压铸件设计的基本要求	147

8.4.2	压铸件结构要素	147
8.4.3	压铸件的尺寸精度	148
8.5	压铸型设计	149
8.5.1	压铸型的分类	149
8.5.2	压铸型的结构组成	152
8.5.3	压铸型设计的依据	154
8.5.4	压铸型设计的基本要求	154
8.5.5	压铸型的设计过程	154
8.5.6	压铸型设计	157
8.6	压铸机	157
8.6.1	压铸机的分类	157
8.6.2	机型选择原则	161
8.6.3	压铸机的基本结构	161
第9章	铜与铜合金的铸锭加工工艺	169
9.1	紫铜的铸锭工艺——金属型铸锭工艺	169
9.2	加工铜合金的铸锭加工工艺	169
9.2.1	加工铜合金铸锭的连续铸造工艺概述	169
9.2.2	铜合金的立式半连续铸锭工艺	171
9.2.3	铜合金立式连续铸锭工艺	188
9.2.4	铜合金水平连续铸锭	194
9.3	铸锭后续处理及设备	203
9.3.1	铸锭的锯切及锯切设备	203
9.3.2	铜合金扁锭表面加工设备	205
9.3.3	吊钳	206
第10章	铜及铜合金铸造的缺陷分析及质量检验	209
10.1	铸件的缺陷分析及质量检验	209
10.1.1	铸件质量检验的内容及标准	209
10.1.2	铸件的缺陷分析和防止方法	210
10.2	铸锭的缺陷分析及质量检验	216
10.2.1	铸锭的缺陷分析及防止方法	216
10.2.2	铸锭的质量检查	225
第11章	铜与铜合金熔炼和铸造加工的新工艺新技术	228
11.1	感应熔炼和水平连铸	228
11.1.1	棒、型、线坯水平连铸	228
11.1.2	管材水平连铸	229
11.1.3	带坯水平连铸	229
11.2	铜合金的真空熔铸	232
11.2.1	真空铸锭的特点	232

11.2.2	真空铸锭	232
11.3	铜合金的真空吸铸	233
11.3.1	概述	233
11.3.2	真空吸铸工艺	235
11.3.3	真空吸铸机	237
11.4	压铸新工艺	240
11.4.1	真空压铸	240
11.4.2	定向、抽气、加氧压铸	241
11.4.3	精、速、密压铸	242
11.4.4	半固态压铸	243
11.5	电磁铸造技术	245
11.5.1	电磁铸造技术原理	245
11.5.2	电磁铸造技术特点	246
11.6	其他铸造技术	247
11.6.1	单晶连铸技术	247
11.6.2	悬浮铸造技术	247
11.6.3	喷射铸轧技术	248
11.6.4	挤压铸造技术	248
11.6.5	连续铸挤技术	248
11.6.6	铜合金连铸连轧技术	249
参考文献		250

第 1 篇

铜与铜合金的 熔炼加工工艺

第1章

铜与铜合金熔炼加工概述

铜合金的熔炼和铸造是铜合金制品加工生产过程中的第一道工序。熔炼是为铸造工序提供质量优良的、合格的铜合金液；铸造是为后续的加工工序（机加工或塑性加工）提供质量合格的铸件或铸锭。

1.1 熔炼铜合金所需的金属材料

铜合金是由纯铜与其他合金元素熔炼而成的，其组织和性能，除受工艺因素的影响外，主要依靠其化学成分来决定。因而，铜合金所用炉料的成分是保证铜合金制品质量的关键因素。配制铜合金所用的炉料，一般有新金属（纯金属）、废料和中间合金三种。在配制前，首先应按合金成分的要求选择所需品位的新金属，再根据实际情况配加一定比例的废料和中间合金，以达到控制合金的化学成分、降低成本、节约貴重金属和保证铸件质量的目的。

新金属是指由冶炼厂提供的纯金属。根据有关标准，每种纯金属按其品位不同分为高纯金属和工业纯金属，都分若干牌号，每种牌号都标定出主元素含量和一些主要杂质元素的限量。例如：电解铜所含杂质元素种类较多，一般按其铜含量的多少来确定其品位，而电解铝仅含铁和硅两种杂质，其品位是按杂质含量多少而确定的。因而，不论何种品位的纯金属，都含不同数量的杂质。这些杂质都将带入合金中，影响其成分和性能。通常品位高的纯金属，杂质含量少，所以在选择纯金属品位时，应按合金成分来考虑，在保证合金液成分质量合格、易于控制成分和杂质含量时，应尽量选择品位高的纯金属。但是，品位越高，价格越贵，生产成本越高。总之，应在保证质量要求的前提下，尽量选用品位较低的，这样既可以降低成本还能节约贵重金属。

配制铜合金所需的新金属有：铜、锌、锡、铝、镍、铅等二十余种。各种金属的化学成分要符合国家标准或部标的技术要求。分别列于表 1-1~表 1-23。

(1) 阴极铜（电解铜）及其化学成分 见表 1-1。

表 1-1 标准阴极铜的化学成分 (GB/T 467—1997)

Cu+Ag /% ≥	杂质含量/% ≤									
	As	Sb	Bi	Fe	Pb	Sn	Ni	Zn	S	P
99.95	0.0015	0.0015	0.0005	0.0025	0.002	0.001	0.002	0.002	0.0025	0.001

(2) 锌及其化学成分 见表 1-2。

表 1-2 锌锭 (GB/T 470—1997)

牌号	化学成分/%									
	Zn ≥	杂质 ≤								
		Pb	Cd	Fe	Cu	Sn	Al	As	Sb	总和
Zn99.995	99.995	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	—	—	—	0.0050
Zn99.99	99.99	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	—	—	—	0.010
Zn99.95	99.95	0.020	0.02	0.010	0.002	0.001	—	—	—	0.050
Zn99.5	99.5	0.3	0.07	0.04	0.002	0.002	0.010	0.005	0.01	0.50

(3) 锡及其化学成分 见表 1-3。

表 1-3 锡锭 (GB/T 728—1998)

牌号	化学成分/%										
	Sn ≥	杂质 ≤									
		As	Fe	Cu	Pb	Bi	Sb	Cd	Zn	Al	总和
Sn99.90	99.90	0.008	0.007	0.008	0.040	0.015	0.020	0.0008	0.001	0.001	0.10
Sn99.95	99.95	0.003	0.004	0.004	0.010	0.006	0.014	0.0005	0.0008	0.0008	0.050
Sn99.99	99.99	0.0005	0.0025	0.0005	0.0035	0.0025	0.002	0.0003	0.0005	0.0005	0.010

(4) 铅及其化学成分 见表 1-4。

表 1-4 铅锭 (GB/T 469—1995)

牌号	化学成分/%									
	Pb ≥	杂质 ≤								
		Ag	Cu	Bi	As	Sb	Sn	Zn	Fe	总和
Pb99.994	99.994	0.0005	0.001	0.003	0.0005	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.006
Pb99.99	99.99	0.001	0.0015	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01
Pb99.96	99.96	0.0015	0.002	0.03	0.002	0.005	0.002	0.001	0.002	0.04

(5) 铝及其化学成分 见表 1-5。

表 1-5 重熔用铝锭 (GB/T 1196—93)

牌号	化学成分/%							
	Al ≥	杂质 ≤						总和
		Fe	Si	Cu	Ca	Mg	其他杂质	
Al99.85	99.85	0.12	0.08	0.005	0.030	0.030	0.015	0.15
Al99.80	99.80	0.15	0.10	0.01	0.03	0.03	0.02	0.20
Al99.70	99.70	0.20	0.13	0.01	0.03	0.03	0.03	0.30
Al99.60	99.60	0.25	0.18	0.01	0.03	0.03	0.03	0.40

(6) 镍及其化学成分 见表 1-6。

表 1-6 电解镍 (GB/T 6516—1997)

牌号	化学成分/%														
	Ni+ Co ≥	杂质 ≤												Mg	
		Co	C	Si	P	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb		Bi
Ni9996	99.96	0.02	0.01	0.002	0.001	0.01	0.01	0.0015	0.0008	0.0003	0.0003	0.0003	0.001	0.0003	0.001
Ni9990	99.90	0.08	0.01	0.002	0.001	0.02	0.02	0.002	0.001	0.0008	0.0008	0.0008	0.001	0.0008	0.002
Ni9950	99.5	0.15	0.02	—	0.003	0.20	0.04	0.005	0.002	0.002	0.0025	0.0025	0.002	0.0025	—
Ni9920	99.2	0.50	0.10	—	0.02	0.50	0.15	—	—	—	—	—	0.005	—	—

(7) 镁及其化学成分 见表 1-7。

表 1-7 重熔用镁锭 (GB/T 3499—1995)

级别	牌号	化学成分/%								
		Mg \geq	杂质 \leq							
			Fe	Si	Ni	Cu	Al	Cl	Mn	总和
一级	Mg99.95	99.95	0.004	0.005	0.0007	0.003	0.006	0.003	0.010	0.05
二级	Mg99.90	99.90	0.04	0.01	0.001	0.004	0.02	0.005	0.03	0.10
三级	Mg99.80	99.80	0.05	0.03	0.002	0.02	0.05	0.005	0.06	0.20

(8) 铋及其化学成分 见表 1-8。

表 1-8 铋分类及化学成分 (GB/T 1599—79)

牌号	代号	化学成分/%					
		Sb \geq	杂质 \leq				
			As	Fe	S	Cu	总和
一号铋	Sb-1	99.85	0.05	0.02	0.04	0.01	0.15
二号铋	Sb-2	99.65	0.10	0.03	0.06	0.05	0.35
三号铋	Sb-3	99.50	0.15	0.05	0.08	0.08	0.50
四号铋	Sb-4	99.00	0.25	0.25	0.20	0.20	1.00

(9) 电解锰及其化学成分 见表 1-9。

表 1-9 电解金属锰的化学成分 (YB/T 051—1993)

牌号	化学成分/%							
	Mn \geq	杂质 \leq						
		C	S	P	Si	Fe		Se
						I	II	
DJMn99.80	99.8	0.02	0.03	0.005	0.005	0.01	0.03	0.06
DJMn99.7	99.7	0.04	0.05	0.005	0.010	0.01	0.03	0.10
DJMn99.5	99.5	0.08	0.10	0.010	0.015	0.05	0.05	0.15

注：锰含量由减量法减去表中杂质含量之和得到。

(10) 铬及其化学成分 见表 1-10。

表 1-10 金属铬的化学成分 (GB/T 3211—1987)

牌号	化学成分/%														
	Cr \geq	杂质 \leq													
		Fe	Si	Al	Cu	C	S	P	Pb	Sn	Sb	Bi	As	N	H
JCr99-A	99.0	0.35	0.25	0.30	0.02	0.02	0.01	0.0005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.05	0.01	0.50
JCr99-B		0.40	0.30		0.04										
JCr98.5-A	98.5	0.45	0.35	0.50	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.01	0.50
JCr98.5-B		0.50	0.40												
JCr98	98.0	0.80	0.40	0.80	0.06	0.05	0.03						—	—	—

(11) 硅及其化学成分 见表 1-11。

(12) 锂及其化学成分 见表 1-12。

表 1-11 工业硅的化学成分 (GB/T 2881—1991)

名称	牌号	化学成分/%			
		Si ≥	杂质 ≤		
			Fe	Al	Ca
A 级硅	Si-A	99.3	0.4	0.2	0.1
B 级硅	Si-B	99.0	0.5	0.3	0.2
一级硅	Si-1	98.5	0.6	—	0.3
二级硅	Si-2	98.0	0.7	—	0.5
三级硅	Si-3	97.0	1.0	—	1.0

表 1-12 金属锂分类及化学成分 (GB/T 4369—1984)

牌号	化学成分/%						
	Li ≥	杂质 ≤					
		Na	Ca	Si	Fe	Al	Ni
Li-1	99.00	0.20	0.04	0.04	0.01	0.02	0.005
Li-2	98.50	0.60	0.10	0.05	0.03	0.04	0.01

注：锂的质量分数为 100% 减去表列杂质质量分数 (%) 总和的差值。

(13) 海绵锆的化学成分 见表 1-13。

表 1-13 工业级海绵锆的化学成分 (YS/T 397—1994)

级别	牌号	化学成分/%														
		Zr+ Hf ≥	杂质 ≤													
			Ni	Cr	Al	Mg	Mn	Pb	Ti	V	Cl	Si	O	C	N	H
工业级	HZr-1	99.4	0.010	0.020	0.010	0.060	0.010	0.005	0.005	0.005	0.130	0.010	0.10	0.050	0.010	0.0125

(14) 金属铈的分类及化学成分 见表 1-14。

表 1-14 金属铈的分类及化学成分 (GB/T 2525—1996)

牌号	化学成分/%									
	RE	Ce/RE	杂质 ≤							
	≥	≥	稀土杂质			非稀土杂质				
			La+Pr+Nd+...	Fe	S	Si	Al	C		
Ce-2	98.5	99.9	0.1			0.3	0.02	0.1	0.5	0.05
Ce-3	98.5	99.5	0.5			0.5	0.02	0.1	0.5	0.05
Ce-4	98.0	99	1			0.5	0.02	0.1	0.5	0.08
Ce-5	98.0	98	2			0.5	0.02	0.1	0.5	0.08

注：杂质包括 C、S、Mn、Fe、Ni、Cu、As、Pb、Zn、Si、Cd、Mg、P、Al、Sn、Sb、Bi 等元素。

(15) 镉的分类及化学成分 见表 1-15。

表 1-15 镉的化学成分 (YS/T 72—1994)

牌号	化学成分/%									
	Cd ≥	杂质 ≤								
		Pb	Zn	Fe	Cu	Ti	As	Sb	Sn	总和
Cd-99.995	99.995	0.002	0.001	0.001	0.0005	0.0015	0.0015	0.0002	0.0002	0.0050
Cd-99.99	99.99	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.0015	0.002	0.01
Cd-99.96	99.96	0.020	0.005	0.003	0.01	0.003	0.002	0.002	0.002	0.04

(16) 砷的化学成分 见表 1-16。

表 1-16 砷的化学成分 (YS 68—1993)

牌号	化学成分/%				
	As \geq	杂质 \leq			
		Sb	Si	S	总和
As99	99.0	0.4	0.1	0.3	1.0

(17) 碲的分类及化学成分 见表 1-17。

表 1-17 碲的化学成分 (YS/T 222—1996)

牌号	化学成分/%												
	Te \geq	杂质 \leq											总和
		Cu	Pb	Al	Bi	Fe	Na	Si	S	Se	As	Mg	
Te-1	99.99	0.001	0.002	0.0009	0.0009	0.0009	0.003	0.001	0.001	0.002	0.0005	0.0009	0.01
Te-2	99.9	0.003	0.004	0.003	0.002	0.004	0.006	0.002	0.005	0.02	0.001	0.002	0.1
Te-3	99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0

(18) 混合稀土金属化学成分 见表 1-18。

表 1-18 混合稀土金属化学成分 (GB/T 4153—1993)

牌号	化学成分/%						
	主要成分 \geq			杂质 \leq			
	RE	CeRE	LaRE	Fe	Si	S	P
RECe-48	99	48	—	0.5	0.07	0.02	0.01
RECe-45	98	45	—	1.0	0.15	0.02	0.01
RELa-80	99	—	80	0.5	0.07	0.02	0.01
RELa-40	98	—	40	1.0	0.20	0.02	0.01

(19) 金属锰分类及其化学成分 见表 1-18。

表 1-19 金属锰的化学成分 (GB/T 2774—1991)

牌号	化学成分/%								
	Mn \geq	杂质 \leq							Al+Ca+Mg
		C	Si	Fe	P	S	Ni	Cu	
JMn97	97	0.08	0.4	2.0	0.04	0.04	0.02	0.03	0.7
JMn96	96	0.10	0.5	2.3	0.05	0.06			
JMn95-A	95	0.15	0.8	2.8	0.05				
JMn95-B	95	0.15	0.8	3.0					
JMn93-A	93	0.20	1.8	2.8					
JMn93-B	93	0.20	1.8	4.0					

(20) 原料纯铁的化学成分 见表 1-20。

表 1-20 原料纯铁的化学成分 (GB/T 9971—1988)

牌号	杂质/% \leq							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
YT1-F	0.04	0.03	0.10	0.015	0.025	0.10	0.20	—
YT2-F	0.025	0.02	0.035	0.015	0.020	0.10	0.20	—
YT-3	0.04	0.20	0.30	0.020	0.020	0.10	0.20	0.65
YT-4	0.025	0.15	0.30	0.010	0.010	0.10	0.20	0.10