

YOUSE JINSHU HANJIE JI YINGYONG

有色金属焊接 及应用

李亚江 李嘉宁 王娟 编著

第2版



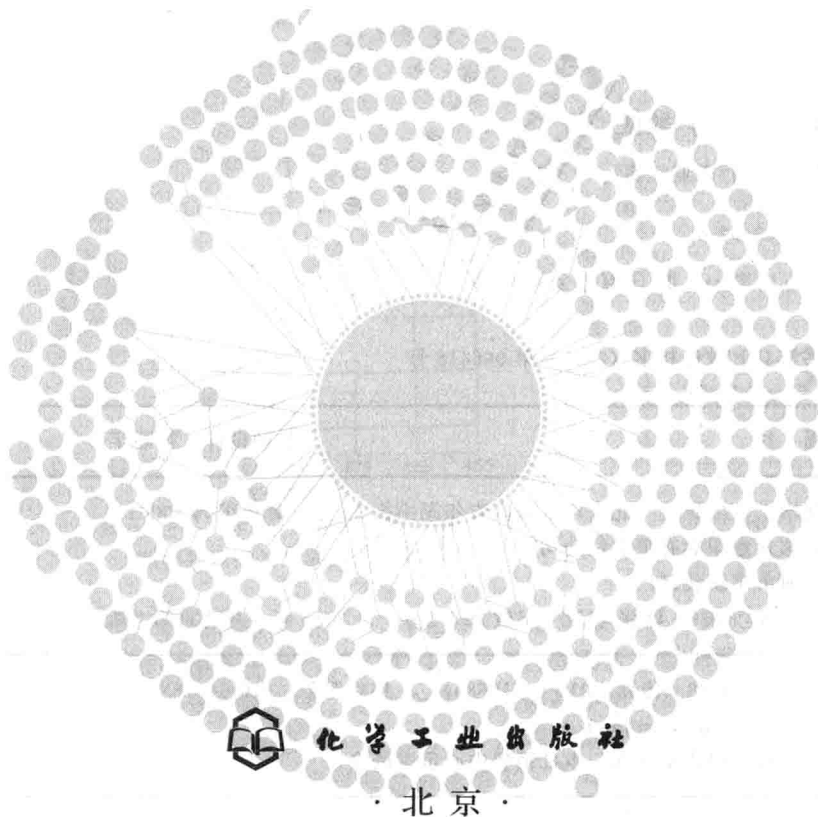
化学工业出版社

YOUSE JINSHU HANJIE JI YINGYONG

有色金属焊接 及应用

第2版

李亚江 李嘉宁 王娟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

有色金属焊接及应用/李亚江编著. —2 版. 北京:
化学工业出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-122-23492-6

I. ①有… II. ①李… III. ①有色金属-焊接
IV. ①TG457.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 066418 号

责任编辑: 周 红

装帧设计: 王晓宇

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: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 522 千字 2015 年 6 月北京第 2 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: 79.00 元

版权所有 违者必究



前言

随着科学技术的发展,有色金属在国民经济建设中的突出作用日益引起人们的广泛关注。虽然有色金属只占金属材料总量的5%左右,处于补充地位,但有色金属在社会经济发展和工程应用中的重要作用却是钢铁或其他材料无法替代的。近年来随着市场经济的发展,有色金属的应用范围越来越广泛,已经从航空航天逐渐扩展到电子、通信、汽车、交通运输和民用等各个领域。特别是铝、铜、钛、镁、镍及其合金等有色金属在未来几年的金属结构应用中越来越受到重视。

有色金属具有自己的特点,因而其焊接比常规钢铁材料的焊接要复杂得多,这给焊接工作带来很大的困难。2006年出版的《有色金属焊接及应用》在社会上产生了一定影响,此次修订版将增补新的内容,使之更加完善。本书的特点是阐明各种有色金属的焊接性特点、焊接方法的选用,并从实用性角度对工程中有色金属结构的焊接工艺要点及应用等进行了介绍。给出一些有色金属焊接产品研发和生产中成功应用的实例,能帮助读者在一定程度上掌握有色金属焊接的基本规律,提高其有色金属焊接技能。

本书主要供与有色金属焊接生产和制造相关的工程技术人员、管理人员、质量检验人员和操作人员使用,也可供高等院校师生、科研单位、厂矿企业的相关人员参考。

本书由李亚江、李嘉宁、王娟编著,为本书提供帮助的人员还有刘鹏、马海军、夏春智、刘强、马群双、吴娜、沈孝芹、黄万群、魏守征、蒋庆磊、刘坤、胡晓东、杜红燕、许有肖等。

由于时间仓促,加之笔者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

第 1 章 概述 001

- 1.1 有色金属的分类及性能 001
 - 1.1.1 有色金属的分类及牌号 001
 - 1.1.2 有色金属的主要特性及热处理 005
- 1.2 有色金属的焊接特点 007
 - 1.2.1 有色金属焊接的难易程度 007
 - 1.2.2 常用有色金属焊接方法 008
 - 1.2.3 有色金属焊接材料 012

第 2 章 铝及铝合金的焊接 017

- 2.1 铝及铝合金的特点及焊接性 017
 - 2.1.1 铝及铝合金的分类、成分和性能 017
 - 2.1.2 铝及铝合金的焊接特点 022
 - 2.1.3 焊接方法的选用 024
 - 2.1.4 铝及铝合金焊接材料 025
- 2.2 铝及铝合金焊接工艺 029
 - 2.2.1 焊前准备 029
 - 2.2.2 铝及铝合金的气焊 030
 - 2.2.3 铝及铝合金的钨极氩弧焊(TIG 焊) 033
 - 2.2.4 铝及铝合金的熔化极氩弧焊(MIG 焊) 036
 - 2.2.5 铝及铝合金的搅拌摩擦焊(FSW) 039
 - 2.2.6 铝及铝合金的钎焊 045
- 2.3 铝及铝合金焊接实例 051
 - 2.3.1 铝冷凝器端盖的气焊 051
 - 2.3.2 铝制容器手工 TIG 焊 052
 - 2.3.3 铝储罐的半自动 MIG 焊 053
 - 2.3.4 铝合金压力罐的自动 MIG 焊 054
 - 2.3.5 铝波导零件的真空钎焊 055
 - 2.3.6 铝制板翅式冷却器(或换热器)的钎焊 055
 - 2.3.7 铝锂合金的焊接 059
 - 2.3.8 铝合金计算机机箱的真空钎焊 061
 - 2.3.9 5A06 铝合金搅拌摩擦点焊 062
 - 2.3.10 大厚度飞机铝合金搅拌摩擦焊 063

第 3 章 铜及铜合金的焊接 067

- 3.1 铜及铜合金的分类、成分及性能 067
 - 3.1.1 铜及铜合金的分类 067
 - 3.1.2 铜及铜合金的成分及性能 068
- 3.2 铜及铜合金的焊接性及焊接材料 071
 - 3.2.1 铜及铜合金的焊接特点 071
 - 3.2.2 铜及铜合金的焊接材料 075
- 3.3 铜及铜合金的焊接工艺 077

3.3.1	焊接方法的选用	077
3.3.2	焊前准备	078
3.3.3	焊接工艺及参数	080
3.4	铜及铜合金焊接实例	089
3.4.1	纯铜薄壁容器的手工 TIG 焊	089
3.4.2	纯铜厚壁容器的半自动 MIG 焊	089
3.4.3	高炉纯铜螺旋风口的自动 MIG 焊	090
3.4.4	船用铜制螺旋桨的电弧焊修复	091
3.4.5	铜波导管-法兰盘接头感应钎焊技术	093
3.4.6	纯铜导体的 TIG 焊工艺	095
3.4.7	纯铜 TIG 焊单面焊双面成形工艺	098

第 4 章 钛及钛合金的焊接 100

4.1	钛及钛合金的分类和性能	100
4.1.1	钛及钛合金的分类	100
4.1.2	钛及钛合金的化学成分及性能	101
4.2	钛及钛合金的焊接特点	103
4.2.1	接头区脆化	104
4.2.2	焊接裂纹	106
4.2.3	焊缝中的气孔	107
4.3	钛及钛合金的焊接工艺	108
4.3.1	钛及钛合金焊丝	108
4.3.2	钛及钛合金的氩弧焊(TIG 焊、MIG 焊)	110
4.3.3	钛及钛合金的等离子弧焊(PAW)	117
4.3.4	钛及钛合金的其他焊接方法	117
4.4	钛及钛合金焊接实例	121
4.4.1	TC4 钛合金气瓶的 TIG 焊	121
4.4.2	乙烯工程中钛管的焊接	122
4.4.3	凝汽器与蒸发器部件的 TIG 焊	123
4.4.4	发动机钛合金组件的电子束焊	124
4.4.5	TC4 钛合金壳体的人工氩弧焊	125
4.4.6	TA10 钛合金燃料储罐的焊接	128
4.4.7	深潜器钛合金框架结构的焊接	130
4.4.8	TC4 钛合金舱体的焊接	133
4.4.9	钛合金张力储箱毛细元件的焊接	134

第 5 章 镁及镁合金的焊接 136

5.1	镁及镁合金分类、性能及焊接特点	136
5.1.1	镁及镁合金的分类及应用	136
5.1.2	镁及镁合金的成分及性能	137
5.1.3	镁及镁合金的焊接特点	140
5.2	镁及镁合金的焊接工艺	141
5.2.1	焊接材料及焊前准备	141

5.2.2	镁及镁合金的氩弧焊	143
5.2.3	镁及镁合金的电阻点焊	145
5.2.4	镁及镁合金的气焊	146
5.2.5	镁及镁合金的其他焊接方法	147
5.3	镁及镁合金焊接实例	149
5.3.1	镁合金的钨极氩弧焊(TIG 焊)	149
5.3.2	电子控制柜镁合金组合件 TIG 焊	151
5.3.3	镁合金汽轮机喷嘴裂纹的电子束焊修复	152
5.3.4	飞机发动机镁合金铸件裂纹的 TIG 焊修复	153
5.3.5	AZ31B/AZ61A 异种镁合金的搅拌摩擦焊	154
5.3.6	镁合金超声波振动钎焊	156
5.3.7	镁合金自行车架的脉冲交流 TIG 焊	157
5.3.8	ZM 镁合金铸件缺陷的补焊	159
5.3.9	中厚度镁合金激光焊	161

第 6 章 镍及镍合金的焊接 163

6.1	镍及镍合金的性能及焊接特点	163
6.1.1	镍及镍合金的分类	163
6.1.2	镍及镍合金的成分和性能	164
6.1.3	镍及镍合金的焊接特点	166
6.2	镍及镍合金的焊接工艺	168
6.2.1	焊条电弧焊	168
6.2.2	气体保护焊	171
6.2.3	埋弧焊	176
6.2.4	钎焊与扩散焊	178
6.2.5	其他焊接方法	182
6.3	镍及其合金焊接实例	185
6.3.1	镍基铸造合金炉筒的焊条电弧焊	185
6.3.2	镍合金裂解筒及纯镍管-板的 TIG 焊	186
6.3.3	汽轮机镍合金部件的电子束焊	187
6.3.4	镍合金的窄间隙焊接工艺	188
6.3.5	乙烯装置中高铬镍高温合金的焊接	189
6.3.6	N06690 镍基合金管道的焊接	193

第 7 章 有色金属复合板的焊接 196

7.1	复合板的基本性能	196
7.1.1	复合板的力学性能	196
7.1.2	不锈复合板的种类与性能	197
7.1.3	复合板的接头设计	199
7.2	钛-钢复合板的焊接	200
7.2.1	钛-钢复合板的分类及性能	200
7.2.2	钛-钢复合板焊接工艺特点	201
7.2.3	钛-钢复合板焊接实例	202

7.3 不锈钢复合钢板的焊接	203
7.3.1 不锈钢复合钢板的加工特点	203
7.3.2 不锈钢复合钢板的焊接特点	204
7.3.3 不锈钢复合钢的焊接程序	205
7.4 铜-钢复合板的焊接	211
7.4.1 铜-钢复合板及焊接特点	211
7.4.2 铜-钢复合板焊接工艺	212
7.5 复合渗铝钢的焊接	212
7.5.1 渗铝钢的特性及焊接特点	213
7.5.2 渗铝钢的焊接工艺	214
7.5.3 渗铝钢的焊接接头性能	215

第 8 章 低熔点、难熔及稀有金属的焊接 218

8.1 低熔点有色金属的焊接	218
8.1.1 铅及其合金的焊接	218
8.1.2 锌及其合金的焊接	223
8.2 难熔有色金属的焊接	226
8.2.1 钨及其合金的焊接	226
8.2.2 钼及其合金的焊接	230
8.2.3 钽及其合金的焊接	234
8.2.4 铌及其合金的焊接	237
8.3 异种难熔金属的焊接	241
8.3.1 钨与钢的焊接	241
8.3.2 铌与钢的焊接	242
8.3.3 钼与钢的焊接	244
8.4 稀有贵金属的焊接	246
8.4.1 银及其合金的焊接	246
8.4.2 金及其合金的焊接	248
8.4.3 铂及其合金的焊接	250

第 9 章 有色金属与钢的焊接 251

9.1 铝及铝合金与钢的焊接	251
9.1.1 铝及铝合金与钢的焊接特点	251
9.1.2 铝及铝合金与钢的焊接工艺	252
9.1.3 铝与钢的焊接实例	256
9.2 铜及铜合金与钢的焊接	258
9.2.1 铜及铜合金与钢的焊接特点	258
9.2.2 铜与低碳钢的焊接	259
9.2.3 铜与不锈钢的焊接	261
9.2.4 铜及铜合金与钢的焊接实例	263
9.3 钛及钛合金与钢的焊接	264
9.3.1 钛及钛合金与钢的焊接特点	265
9.3.2 钛及钛合金与钢的焊接工艺	265

9.4 镍及镍合金与钢的焊接	267
9.4.1 镍及镍合金与钢的焊接特点	268
9.4.2 镍及镍合金与钢的焊接工艺	269
9.4.3 镍与钢的焊接实例	271
9.5 其他有色金属与钢的焊接	272
9.5.1 铍及铍合金与钢的焊接	272
9.5.2 锆及锆合金与钢的焊接	274
9.5.3 铅及铅合金与钢的焊接	276

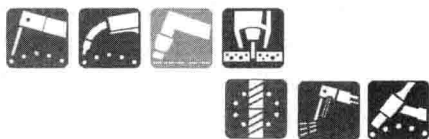
第10章 异种有色金属的焊接 277

10.1 铜与铝及铝合金的焊接	277
10.1.1 铜与铝及铝合金的焊接特点	277
10.1.2 铜与铝及铝合金的熔焊	279
10.1.3 铜与铝及铝合金的压焊	281
10.1.4 铜与铝及铝合金的钎焊	286
10.1.5 厚板铜与铝的搅拌摩擦焊	288
10.2 铜与钛及钛合金的焊接	291
10.2.1 铜与钛及钛合金的焊接特点	291
10.2.2 铜与钛及钛合金的氩弧焊	292
10.2.3 铜与钛及钛合金的扩散焊	293
10.3 铜与镍及镍合金的焊接	294
10.3.1 铜与镍及镍合金的焊接特点	294
10.3.2 铜与镍及镍合金的焊接工艺	294
10.4 铜与钼的焊接	295
10.4.1 铜与钼的焊接特点	296
10.4.2 铜与钼的扩散焊	296
10.5 铝与钛、镁的焊接	296
10.5.1 铝与钛及钛合金的焊接特点	297
10.5.2 铝与钛及钛合金的焊接工艺	297
10.5.3 铝与镁的焊接特点	300
10.5.4 铝与镁的焊接工艺	301

参考文献 304

第 1 章

概述



1.1 有色金属的分类及性能

1.1.1 有色金属的分类及牌号

(1) 有色金属的分类

按密度和在自然界中的蕴藏量，可以对有色金属作如下分类。

① 有色轻金属 指密度小于 4.5g/cm^3 的有色金属材料，包括铝、镁、钠、钾、钙等及其合金。这类有色金属的特点是密度小 ($0.53\sim 4.5\text{g/cm}^3$)，化学活性大，与氧、硫、碳和卤族元素形成的化合物性质都相当稳定。在工业上应用最为广泛的是铝及铝合金，它的产量已超过有色金属总产量的 $1/3$ 。

② 有色重金属 指密度大于 4.5g/cm^3 的有色金属材料，包括铜、镍、铅、锌、锡等及其合金，在国民经济生产中应用广泛。其中最常用的是铜及铜合金，它是机械制造和电气设备的基本材料。

③ 贵金属 包括金、银和铂族元素及其合金，由于它们对氧和其他化学试剂的稳定性，而且在地壳中含量少，开采和提取较困难，价格较贵，因而得名贵金属。这类材料的特点是密度大 ($10.4\sim 22.4\text{g/cm}^3$)、熔点高 ($916\sim 3000^\circ\text{C}$)、化学性质稳定、能抗酸、碱腐蚀。一般用于电气、电子、航空航天以及高温仪器仪表等。

④ 半金属 包括硅、硒、碲、砷、硼五种元素，物理化学性质介于金属与非金属之间，故称半金属。如砷是非金属，但又能传热导电。这类有色金属根据各自特性，具有不同用途。硅是主要的半导体材料之一，高纯硒、碲、砷是制造化合物半导体的原料，硼是合金的添加元素。

⑤ 稀有金属 指那些在自然界中含量很少、分布分散或难以从原料中提取的金属，分为稀有轻金属和稀有高熔点金属两类。

a. 稀有轻金属 包括钛、铍、锂、铷、铯五种金属及其合金，主要特点是密度小、化学活性强。这类金属的氧化物和氯化物具有很高的化学稳定性，很难还原。

b. 稀有高熔点金属 又称为稀有难熔金属，包括钨、钼、钽、铌、锆、钪、钒、铪八种金属及其合金，其特点是熔点高（均在 1700°C 以上，最高的钨达 3400°C ）、硬度高、抗腐蚀性强，可与一些非金属生成非常硬和难熔的稳定化合物，如碳化物、氮化物、硅化物和硼化物，这些化合物是生产硬质合金的重要材料。

由一种有色金属作为基体，加入另一种或几种金属或非金属组分所组成的既具有基体金属通性又具有某种特定性能的物质，称为有色金属合金。

有色金属合金的分类方法很多，按基体金属不同，可分为铝合金、铜合金、钛合金、镁



合金、镍合金等；按其生产方法不同，可分为铸造合金与变形合金；按组成合金的元素数目不同，可分为二元合金、三元合金和多元合金；按合金组分的总含量不同，可分为低合金、中合金、高合金，合金组分的总含量小于 2.5% 的为低合金，总含量为 2.5%~10% 的为中合金，总含量大于 10% 的为高合金。

有色金属按纯度分为工业纯度和高纯度两类。以冶炼和压力加工方法生产出来的各种板材、管材、棒材、线材、型材等有色金属及其合金半成品材料，按金属及合金系统可分为铝及铝合金、镁及镁合金、铜及铜合金（如紫铜、黄铜、青铜等）、镍及镍合金、钛及钛合金等。制造业常用的有色金属见表 1.1。

表 1.1 制造业常用的有色金属

分类名称		说 明	
纯金属		铜（纯铜）、铝、钛、镁、镍、锌、铅、锡等	
铜合金	黄铜	压力加工用、铸造用	普通黄铜（铜锌合金） 特殊黄铜（含有其他合金元素的黄铜）：铝黄铜、铅黄铜、锡黄铜、硅黄铜、锰黄铜、钛黄铜、镍黄铜等
	青铜	压力加工用、铸造用	锡青铜（铜锡合金，一般还含有磷、锌、铅等合金元素） 特殊青铜（铜与除锌、锡、镍以外的其他合金元素的合金）：铝青铜、硅青铜、锰青铜、铍青铜、锆青铜、铬青铜、钼青铜、镁青铜、等
	白铜	压力加工用	普通白铜（铜镍合金） 特殊白铜（含有其他合金元素的白铜）：锰白铜、铁白铜、锌白铜、铝白铜等
铝合金	压力加工用（变形用）		非热处理强化铝合金：防锈铝（铝-锰合金、铝-镁合金） 热处理强化铝合金：硬铝（铝-铜-镁或铝-铜-锰合金）、锻铝（铝-铜-镁-硅合金）、超硬铝（铝-铜-镁-锌合金）等
		铸造用	铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金、铝锌合金、铝稀土合金等
钛合金	压力加工用		钛与铝、钼等合金元素的合金
	铸造用		钛与铝、钼等合金元素的合金
镁合金	压力加工用		镁铝合金、镁锰合金、镁锌合金等
	铸造用		镁锌合金、镁铝合金、镁稀土合金等
镍合金	压力加工用		镍硅合金、镍锰合金、镍铬合金、镍铜合金、镍钨合金等
锌合金	压力加工用		锌铜合金、锌铝合金
	铸造用		锌铝合金
铅合金	压力加工用		铅锡合金等
轴承合金			铝基轴承合金、锡基轴承合金、铜基轴承合金、铝基轴承合金
硬质合金			钨-钴合金、钨-钛-钽（铌）-钴合金、钨-钛-钴合金、碳化钨-镍-钼合金

采用铸造方法制造的铸件和铸锭，可以直接浇铸成各种形状的机械零件。这些铸件和铸锭按不同的合金系统可分为铸造铝合金、铸造镁合金、铸造黄铜、铸造青铜等。

(2) 有色金属及合金的牌号

1) 纯金属加工产品

纯金属指的是提纯度高于一般工业生产用金属纯度的金属，提纯度高于纯金属的称为高纯金属。高纯金属主要用于研究和其他特殊用途，不同金属的纯度成分标准是不同的。

2) 合金加工产品

合金加工产品的代号，用汉语拼音字母、元素符号或汉语拼音字母及元素符号结合表示成分的字母组或顺序号表示。如铝、铜的纯金属加工产品分别用汉语拼音字母 L、T（或英文字母 Al、Cu）加顺序号表示。

① 铝合金 以铝为基础，加入一种或几种其他元素（如 Cu、Mg、Si、Mn 等）构成的合金称为铝合金。由于纯铝强度低，应用受到限制，工业上多采用铝合金。铝合金密度小，

有足够高的强度、塑性，耐蚀性好，大部分铝合金可以经过热处理得到强化，因而在航空航天、汽车、电子制造业中得到广泛应用。

根据 GB/T 3190—2008《变形铝及铝合金化学成分》和 GB/T 16474—2011《变形铝及铝合金牌号表示方法》的规定，纯铝、变形铝及铝合金牌号表示方法采用四位字符体系。牌号的第一位数字表示铝及铝合金的组别，从1~7分别表示纯铝，以Cu、Mn、Si、Mg、Mg和Si（ Mg_2Si 相为强化相）、Zn为主要合金元素的铝合金，8表示以其他元素为主要合金元素的铝合金，9为备用合金组。牌号的第二位字母表示纯铝或铝合金的改型情况；最后两位数字用以标识同一组中不同的铝合金或表示铝的纯度。

在最初的铝及铝合金牌号中，纯铝合金用“L”加表示合金组别的汉语拼音字母及顺序号表示。例如，防锈铝的代号为LF、锻铝为LD、硬铝为LY、超硬铝为LC、特殊铝为LT、硬钎焊铝为LQ。

② 铜合金 以铜为基体的合金称为铜合金，如各种黄铜、青铜和白铜。普通黄铜用“H”加基本元素铜的含量表示。三元以上黄铜用“H”加第二个主添加元素符号及除锌以外的成分数字组表示。如68黄铜表示为H68，90-1锡黄铜表示为HSn90-1。

青铜用汉语拼音“Q”加第一个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示，如6.5-0.1锡青铜表示为QSn6.5-0.1。

白铜用汉语拼音“B”加镍含量表示，三元以上的白铜用“B”加第二个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示，如30号白铜表示为B30，3-12锰白铜表示为BMn3-12。

由于铜的蕴藏量有限，在使用方面受到一定的限制，如某些工业部门过去用铜合金的零件，现已改用其他材料（如铝合金、塑料等）制造。

③ 镁合金 以镁为基体的合金，常称为超轻质合金。近年来，镁合金在工业（如航空、电子、通信、仪表、汽车等行业）上的应用越来越多。由于镁合金具有密度小（比铝轻1/3）、比强度（强度/密度）高、能承受较大的冲击载荷、有良好的切削加工性等优点，具有广泛的应用前景。根据加工方法不同，镁合金分为变形镁合金（压力加工）和铸造镁合金两大类。

常用有色金属及其合金产品牌号的表示方法见表1.2。铜及铜合金材料状态代号见表1.3。有色金属产品状态名称、特性及其汉语拼音字母的代号见表1.4。

3) 铸造产品

GB/T 8063—94《铸造有色金属及其合金牌号表示方法》规定了采用化学元素符号和百分含量的表示方法。铸造有色金属牌号由“Z”和相应纯金属的化学元素符号及表明产品纯度百分含量的数字或用一短横加顺序号组成。如牌号ZA199.5，表示铸造纯铝，铝的最低名义百分含量为99.5%。

当合金化元素多于两个时，合金牌号中应列出足以表明合金主要特性的元素符号及其名义百分含量的数字。合金化元素符号按其名义百分含量递减的次序排列，当百分含量相等时，按元素符号字母顺序排列。

除基体元素的名义百分含量不标注外，其他合金元素的百分含量均标注于该元素符号之后。当合金元素含量规定为大于或等于1%的某个范围时，采用其平均含量，必要时也可用带一位小数的数字标注。当合金含量小于1%时，一般不标注。

对具有相同主成分，需要控制低间隙元素的合金，在牌号后的圆括弧内标注EL1。对杂质限量要求严、性能高的优质合金，在牌号后面标注大写字母“A”，表示优质。

表 1.2 常用有色金属及其合金产品牌号的表示方法

分 类	牌 号 举 例		牌号表示方法说明
	名 称	代 号	
铝及铝合金	纯铝	1A09	1 A 09 ① ② ③ ① 组别代号：1×××为纯铝，2×××~7×××分别为以铜、锰、硅、镁、镁+硅、锌为主要合金元素的铝合金，8×××为以其他合金元素为主要合金元素的铝合金，9×××为备用合金组 ② A 表示原始纯铝，B~Y 表示铝合金的改型情况 ③ 1×××（纯铝）表示最低铝百分含量；2×××至 8×××用来区分同一组中不同的铝合金
	铝合金	2A50, 3A21	
铜及铜合金	纯铜	T1, T2-M	Q Al 10-3-1.5 M ① ② ③ ④ ⑤ ① 分类代号：T 为纯铜，TU 为无氧铜，TK 为真空铜，H 为黄铜，Q 为青铜，B 为白铜
	黄铜	TU1, TUMn H62, HSn90-1	② 主添加元素代号：纯铜、一般黄铜、白铜不标；三元以上黄铜、白铜为第二主添加元素（第一主添加元素分别为 Zn、Ni）；青铜为第一主添加元素
	青铜	QSn4-3 QSn4-4-2.5 QAl10-3-1.5	③ 序号主添加元素含量（以百分数表示）：纯铜中为金属顺序号；黄铜中为 Cu 含量（Zn 为余数）；白铜为 Ni 或（Ni+Co）含量；青铜为第一主添加元素含量
	白铜	B25 BMn3-12	④ 添加元素量（以百分数表示）：纯铜、一般黄铜、白铜无此数字；三元以上黄铜、白铜为第二添加元素合金；青铜为第二主添加元素含量 ⑤ 状态代号：见表 1.3
钛及钛合金	—	TA1-M, TA4	TA 1 M ① ② ③ ① 分类代号（表示合金或合金组织类型）：TA 为 α 型 Ti 合金；TB 为 β 型 Ti 合金；TC 为（α+β）型 Ti 合金
		TB2	② 金属或合金的顺序号
		TC1, TC4	③ 状态代号：见表 1.4
		TC9	
镁合金	—	MB1	MB 8 M ① ② ③ ① 分类代号：M 为纯镁；MB 为变形镁合金
		MB8-M	② 金属或合金的顺序号 ③ 状态代号：见表 1.4
镍及镍合金	—	N4, NY1	N Cu 28 2.5-1.5 M ① ② ③ ④ ⑤ ① 分类代号：N 为纯镍或镍合金；NY 为阳极镍
		NSi0.19	② 主添加元素符号
		NMn2-2-1	③ 序号或主添加元素含量：纯镍为顺序号；主添加元素含量以百分数表示
		NCu28-2.5-1.5	④ 添加元素含量：以百分数表示
		NCr10	⑤ 状态代号：见表 1.4

表 1.3 铜及铜合金材料状态代号

名 称	采用的汉字及汉语拼音		代 号
	汉 字	汉 语 拼 音	
热加工	热	Re	R
退火（焯火）	焯（软）	Men	M
淬火	淬	Cui	C
淬火后冷轧（冷作硬化）	淬、硬	Cui ying	CY
淬火（自然时效）	淬、自	Cui zi	CZ
淬火（人工时效）	淬、时	Cui shi	CS

续表

名 称	采用的汉字及汉语拼音		代 号
	汉 字	汉 语 拼 音	
硬	硬	Ying	Y
3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬	硬	Ying	Y1、Y2、Y3、Y4
特硬	特	Te	T
淬火后冷轧、人工时效	淬、硬、时	Cui ying shi	CYS
热加工、人工时效	热、时	Re shi	RS
淬火、自然时效、冷作硬化	淬、自、硬	Cui zi ying	CZY
淬火、人工时效、冷作硬化	淬、时、硬	Cui shi ying	CSY

表 1.4 有色金属产品状态名称、特性及其汉语拼音字母的代号

名 称	代号	名 称	代号	名 称	代号
(1) 产品状态代号		(2) 产品特性代号		(3) 产品状态、特性代号组合举例	
热加工（如热轧、热挤）	R	优质表面	O	不包铝（热轧）	BR
退火	M	涂漆蒙皮板	Q	不包铝（退火）	BM
淬火	C	加厚包铝的	J	不包铝（淬火、冷作硬化）	BCY
淬火后冷轧（冷作硬化）	CY	不包铝的	B	不包铝（淬火、优质表面）	BCO
淬火（自然时效）	CZ	硬 质 合 金	表面涂层	不包铝（淬火、冷作硬化、优质表面）	BCYO
淬火（人工时效）	CS		添加碳化钽	优质表面（退火）	MO
硬	Y		添加碳化钨	优质表面淬火、自然时效	CZO
3/4 硬、1/2 硬	Y1、Y2		细颗粒	优质表面淬火、人工时效	CSO
1/3 硬	Y3		粗颗粒	淬火后冷轧、人工时效	CYS
1/4 硬	Y4		超细颗粒	热加工、人工时效	RS
特硬	T		—	淬火、自然时效、冷作硬化、优质表面	CZYO

1.1.2 有色金属的主要特性及热处理

常用有色金属的主要特性见表 1.5。

表 1.5 常用有色金属的主要特性

序 号	名 称	主 要 特 性
1	铝及其合金	密度小（2.7g/cm ³ ），比强度高，耐蚀性好，导电性、导热性、反光性良好，塑性好，易加工成形和铸造各种零件
2	铜及其合金	优良的导电性、导热性，较好的耐蚀性，较高的强度和高的塑性，易加工成形和铸造各种零件
3	钛及其合金	密度小（4.5g/cm ³ ）、比强度高、高温强度高、硬度高、耐蚀性良好
4	镁及其合金	密度小（1.7g/cm ³ ），比强度和比刚度高，能承受大的冲击载荷，有良好的机械加工性能和抛光性能，对有机酸、碱类和液体燃料有较高的耐蚀性
5	镍及其合金	有较高的力学性能，耐热性、耐腐蚀性好，具有特殊的电、磁和热膨胀性能
6	锌及其合金	有较高的力学性能，熔点低，易于加工成形和压铸成零件
7	锡、铅及其合金	熔点低，耐磨、减摩性能好，耐腐蚀性好，铅的抗 X 射线和 γ 射线的穿透力强

有色金属热处理的方法很多，对于不同的目的和用途，采用不同的热处理工艺，见表 1.6。有色金属及其合金压延材的交货状态见表 1.7。

化学元素对有色金属的性能有重要影响。以铝及其合金为例，化学元素对铝及其合金性能的影响见表 1.8。以铜及其合金为例，化学元素对铜及其合金性能的影响见表 1.9。

表 1.6 有色金属的热处理

热处理类型			工艺方法	目的及应用
退火	均匀化退火		加热温度为合金熔化温度下 20～30℃，保温时间不宜过长，加热速度和冷却速度一般不作严格规定（有相变的合金必须缓冷）	铸造后或加工前用于消除应力、降低硬度和提高塑性
	再结晶退火		加热温度高于再结晶温度，保温时间不宜过长，冷却可在空气中或水中进行，但有相变的合金不宜急冷	改变材料的力学性能和物理性能，在某些情况下恢复到原来的性能
	低温退火	回复退火	加热温度低于再结晶温度	消除应力
		部分软化退火	加热温度在合金再结晶开始和终止温度之间	消除应力和控制半硬产品的性能，避免应力腐蚀
	光亮退火		在保护性气氛中或真空炉中退火、纯铜退火，气体中含氢量不应超过 3%	防止氧化、节省酸洗经费，获得光亮表面，多用于铜和铜合金
淬火-时效	淬火		加热温度高于溶解度曲线且接近于共晶温度或固相线温度，可采用快速加热，冷却一般采用水冷，有些合金（如铸造铝合金）也采用油淬或其他冷却介质	淬火和时效是提高有色合金强度和硬度的一种有效方法（即可热处理强化）。淬火和时效应连续进行，多用于铝、硅、镁和铝铜合金以及铍青铜
	时效	自然时效	淬火后在室温下停留较长时间	对于淬火和时效效果不明显的合金，如黄铜、锡青铜和铝镁合金工业上不采用热处理强化
		人工时效	淬火后再将合金加热到 100～200℃范围内保温一段时间	

表 1.7 有色金属及其合金压延材的交货状态

序 号	交 货 状 态		说 明
	名 称	代 号	
1	软状态	M	表示材料在冷加工后，经过退火。这种状态的材料，具有塑性高而强度和硬度低的特点
2	硬状态	Y	这种状态的材料在冷加工后未经退火软化。它具有强度、硬度高，而塑性、韧性低的特点。有色金属还具有特硬状态，代号为 T
3	半硬状态	Y1、Y2 Y3、Y4	半硬状态介于软状态和硬状态之间，表示材料在冷加工后，有一定程度的退火。半硬状态按加工变形程度和退火温度的不同，又可分为 3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬等几种，其代号依次为 Y1、Y2、Y3、Y4
4	热作状态	R	表示材料为热挤压状态。热轧和热挤压是在高温下进行的，因此在加工过程中不会发生加工硬化。这种状态的材料，其特性与软状态相似，但尺寸允许偏差和表面精度要求比软状态低

表 1.8 化学元素对铝及其合金性能的影响

类 型	化学元素的影响
纯铝	① 杂质元素：所有杂质元素均降低铝的导电性 ② 铁（Fe）、硅（Si）：铁与硅如并存于铝中，使铝的塑性、耐蚀性降低 ③ 铜（Cu）：使铝的耐蚀性降低 ④ 锌（Zn）：降低铝的耐蚀性
变形铝 合金	① 铜（Cu）、镁（Mg）：铜能明显提高铝合金的强度和硬度，镁除能提高强度和硬度外，主要提高铝合金的耐蚀性。铜和镁共同作用，通过淬火时效作用，能强化铝合金性能 ② 锌（Zn）：能提高铝合金的时效强化效率，改善切削加工性能和热塑性，但使其疲劳强度和抗晶间腐蚀能力都降低 ③ 锰（Mn）：主要能提高铝合金的强度 ④ 钛（Ti）、硼（B）：可细化铝合金的晶粒，提高其强度 ⑤ 硅（Si）：能提高铝合金的热塑性，并增强其热处理强化效果 ⑥ 铁（Fe）、镍（Ni）：在锻铝中能提高淬火时效后的强度

类 型	化学元素的影响
铸造铝合金	① 硅 (Si): 能提高铸造铝合金的流动性、强度和耐蚀性, 减少收缩率和裂纹 ② 铜 (Cu)、镁 (Mg): 能通过淬火时效来提高铝合金的强度、硬度。铜还能提高其流动性, 镁却反之, 不过镁能提高其耐蚀性 ③ 锌 (Zn): 能提高铸造铝合金的铸造性和强度, 但降低其耐蚀性 ④ 镍 (Ni): 能提高铸造铝合金的热强性

表 1.9 化学元素对铜及其合金性能的影响

类 型	化学元素的影响
纯铜	① 杂质元素: 所有杂质元素都会降低纯铜的导电性, 其中以磷 (P)、砷 (As) 影响最大 ② 铁 (Fe)、镍 (Ni)、锰 (Mn): 均能降低铜的抗磁性 ③ 铋 (Bi): 使铜产生热脆和冷脆, 但含 Bi 0.7%~1.0% 的铜合金用于真空开关, 可防止黏结并延长使用寿命 ④ 铅 (Pb): 可使铜发生热脆, 但能改善铜的切削性和耐磨性 ⑤ 硫 (S): 使铜的冷加工困难 ⑥ 砷 (As)、锡 (Sn): 能提高铜的耐蚀性
黄铜	① 锌 (Zn): 能改善黄铜的力学性能, 当 Zn 含量在 32% 以内, 撞击时不发生火花。随着 Zn 含量的提高, 黄铜的塑性增加; Zn 含量不超过 47% 时, 黄铜的抗拉强度随 Zn 含量的增加而提高 ② 铝 (Al): 能提高黄铜的强度、硬度和耐蚀性, 但 Al 含量超过 2% 时, 黄铜的塑性急剧下降 ③ 锡 (Sn): 少量锡能提高黄铜的强度和硬度, 但含量太高时, 反而会降低黄铜的塑性。锡能提高黄铜在海水或海洋大气中的抗蚀作用 ④ 铅 (Pb): 能改变黄铜的切削加工性和减摩性, 但使强度、硬度及伸长率下降 ⑤ 锰 (Mn): 能提高黄铜的强度和硬度, 特别是高温性能。锰还能提高黄铜对海水、氯化物和过热蒸汽的耐蚀性 ⑥ 铁 (Fe): 通常与锰、锡、铅、铝等配合, 能提高黄铜的耐蚀性和力学性能 ⑦ 硅 (Si): 可以提高黄铜的强度、硬度和铸造性能, 但 Si 含量过高, 会使黄铜的塑性降低
青铜	① 锡 (Sn): 当 Sn 含量不超过 8% 时, 青铜的塑性和强度随 Sn 含量的增加而提高。锡还能提高青铜的抗蚀性, 特别是在高压过热蒸汽中的抗蚀性 ② 锌 (Zn): 能提高青铜的铸造性 ③ 铅 (Pb): 能改善青铜的减摩性、导热性、抗疲劳性和切削加工性 ④ 磷 (P): 能提高青铜的耐磨性、弹性和硬度 ⑤ 铝 (Al): 能提高青铜的强度、硬度、耐蚀性、流动性和耐寒性, 铝青铜呈无磁性, 并在撞击时不发生火花 ⑥ 硅 (Si): 能提高青铜的力学性能和耐蚀性 ⑦ 铍 (Be): 能提高青铜的强度、硬度、弹性、耐蚀性、疲劳强度、导电性、导热性和耐寒性, 并能使其呈无磁性
白铜	① 镍 (Ni): 当 Ni 含量小于 60% 时, 随着 Ni 含量的增加, 其强度、硬度增加, 但塑性降低 ② 锌 (Zn): 能提高白铜的力学性能及抗腐蚀性 ③ 锰 (Mn): 能增加白铜的电阻 ④ 铁 (Fe): 能提高白铜的力学性能, 并增加抗海水侵蚀的能力 ⑤ 铝 (Al): 除能提高白铜的力学性能外, 还能增加其耐蚀性、耐寒性和弹性

1.2 有色金属的焊接特点

1.2.1 有色金属焊接的难易程度

有色金属焊接有自己的特点, 有色金属焊接比常规钢铁材料的焊接复杂得多, 这给焊接工作带来很大的困难。有色金属焊接的难易程度见表 1.10。

表 1.10 有色金属焊接难易程度一览

有色金属及其合金		焊条电弧焊	埋弧焊	CO ₂ 气体保护焊	惰性气体保护焊	激光焊	电子束焊	气焊	气压焊	点焊缝焊	闪光对焊	摩擦焊	钎焊
轻金属	纯铝	B	D	D	A	A	A	B	C	A	A	A	B
	非热处理铝合金	B	D	D	A	A	A	B	C	A	A	A	B
	热处理铝合金	B	D	D	B	A	A	B	C	A	A	A	C
	纯镁	D	D	D	A	B	B	D	C	A	A	B	B
	镁合金	D	D	D	A	B	B	C	C	A	A	B	C
	纯钛	D	D	D	A	A	A	D	D	A	D	C	C
	钛合金（α相）	D	D	D	A	A	A	D	D	A	D	C	D
铜合金	钛合金（其他相）	D	D	D	B	A	A	D	D	B	D	C	D
	纯铜	B	C	B	A	D	B	B	C	C	C	D	B
	黄铜	B	D	B	A	C	B	B	C	C	C	B	B
	磷青铜	B	C	C	A	C	B	B	C	C	C	B	C
	铝青铜	B	D	D	A	C	B	B	C	C	C	B	C
高镍合金	镍青铜	B	D	C	A	C	B	B	C	C	C	B	B
	高镍合金	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	D	B
铅、铋		D	D	D	B	C	B	B	D	B	D	D	C

注：A—通常采用，B—有时采用，C—很少采用，D—不采用。

异种有色金属焊缝中形成的各种脆性的金属间化合物，易产生裂纹或影响焊缝的性能，这是在异种有色金属焊接中应尽量避免的。常见异种有色金属的焊接方法和焊缝中的形成物见表 1.11。

表 1.11 常见异种有色金属的焊接方法和焊缝中的形成物

被焊金属	焊接方法		焊缝中的形成物	
	熔焊	压焊	固溶体	金属间化合物
Al+Cu	氩弧焊、埋弧焊	冷压焊、电阻焊 爆炸焊、扩散焊	Al 在 Cu 中的溶解度 9.8%以下	CuAl ₂
Al+Ti	氩弧焊、埋弧焊	扩散焊、摩擦焊	Al 在 α-Ti 中的溶解度到 6%以下	TiAl、TiAl ₃
Al+Mg	氩弧焊	扩散焊		—
Ti+Ta	电子束焊、氩弧焊	—	连续系列	—
Ti+Cu	电子束焊、氩弧焊	—	Cu 在 α-Ti 中溶解度到 2.1%，在 β-Ti 中溶解度到 17%以下	Ti ₂ Cu、TiCu Ti ₂ Cu ₃ TiCu ₂ 、TiCu ₃
Cu+Mo	电子束焊	扩散焊	—	—
Cu+Ta	电子束焊	扩散焊	—	—

1.2.2 常用有色金属焊接方法

(1) 钨极氩弧焊（TIG 焊）

1) 主要特点

钨极氩弧焊按所用电源类型分为直流 TIG 焊、交流 TIG 焊及脉冲 TIG 焊三种。手工 TIG 焊通常由焊接电源、控制系统、焊枪、水冷系统及供气系统等部分组成，如图 1.1 所示。交流 TIG 焊所需的引弧和稳弧装置，以及隔直装置等常和控制系统设置在一个控制箱内。

不同的有色金属进行钨极氩弧焊时要求不同的电流种类及极性。例如，铝、镁及其合金一般选用交流，其他有色金属焊接多采用直流正接。

① 直流钨极氩弧焊 电弧燃烧稳定，有正、负极之分。

a. 直流正接法 被焊工件与焊接电源的正极相连，钨极与焊接电源的负极相连。此时钨极烧损极少，同时由于阴极斑点集中，电弧比较稳定。工件受到质量很小的电子流撞击，不能除去金属表面的氧化膜。除铝、镁合金外，其他金属表面不存在高熔点的氧化膜问题，