

轻金属材料  
加工手册 上册

QINGJINSHU  
CAILIAO  
JIAGONG  
SHOUCE

冶金工业出版社

# 轻金属材料加工手册

上册

《轻金属材料加工手册》编写组 编

冶金工业出版社

**轻金属材料加工手册**

**上册**

《轻金属材料加工手册》编写组 编

（限国内发行）

•

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

787×1092 1/16 印张 36 字数 862 千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

印数00,001~22,000册

统一书号：15062·3426 定价4.80元

## 出版说明

根据我国社会主义建设的需要和有色金属材料加工战线广大职工的迫切愿望，我们组织有关单位，在系统总结近三十年来有色金属材料及其加工技术经验的基础上编写了一套有色金属材料加工手册陆续出版。

这套书共分四种，即《重有色金属材料加工手册》、《轻金属材料加工手册》、《贵金属加工手册》和《稀有金属材料加工手册》。洛阳铜加工厂、东北轻合金加工厂、冶金工业部贵金属研究所和宝鸡有色金属加工厂分别为上述四种《手册》编写组的组长单位。各《手册》均是在组长单位党委领导下，由参加编写单位和执笔的同志，依据总的编写原则，结合各专业具体情况共同负责编写的。

《轻金属材料加工手册》共九篇，分上、下两册。本书为上册，侧重合金材料，包括铝及铝合金、镁及镁合金、轻金属材料的热处理和轻金属材料试验检验方法四篇及附录等。下册侧重轻合金材料的压力加工方法，包括熔炼铸造，板、带、箔材生产，型、棒、线材生产，管材生产和锻压生产五篇及有关附录。全书系统介绍了轻合金材料的成分、组织、性能、用途、试验检验方法及熔炼铸造、压力加工和热处理工艺等方面的资料、数据和图表；简要论述了轻合金加工原理，工艺因素，力能计算，工具设计以及主要生产设备的性能和技术用途等；对新材料、新工艺也有相应介绍。此外，还选编了铝、镁合金相图；各国铝、镁合金牌号对照表；美国和苏联的铝合金热处理制度等有关资料作为附录，以供参考。

《轻金属材料加工手册》是一部轻金属材料的综合性工具书。主要供从事轻金属材料生产和使用部门的技术人员、工人和干部使用，也可供有关专业的科研、设计人员以及有关院校师生参考。

本《手册》编写组主要负责人有：王锰、卢治森、刘启文、张敏钧、李西铭。参加编写的单位和主要执笔人有：东北轻合金加工厂李西铭、阎绪利、韩秉诚、王孝全、姚庆华、刘万成、许其亮、李绍善、史文华、周家荣、杨普、苏德全、严永成，西南铝加工厂李永和、张树勋，洛阳有色冶金设计院王世修，西北铝加工厂张顺泰、侯振庆，洛阳铜加工厂陈信德、常福勋、彭治平，东北工学院刘魁山，中南矿冶学院田菜璋。此外，东北轻合金加工厂的二〇一车间、革新队、探伤站及其研究所的部分同志也参加了有关章节的编写工作。

本书在编写过程中，得到了全国许多单位和有关同志的大力支持和帮助，提供了宝贵的意见和资料、数据等，特此致谢。

由于我们经验不足，水平有限，书中难免有错误之处，请广大读者批评指正。

## 目 录

## 第一篇 铝及铝合金

第一章 铝 .....	6	合金 .....	38
第一节 铝的牌号及其杂质 .....	7	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	38
一、铝的牌号 .....	7	一、相 图 .....	38
二、少量添加元素及杂质对铝的组织性和性能的影响 .....	7	二、合金元素的作用 .....	38
第二节 铝的性能、品种和用途 .....	13	三、少量添加元素及杂质的影响 .....	44
一、机械性能 .....	13	四、合金的相组成 .....	45
二、物理性能 .....	14	第二节 合金的性能、品种和性能 .....	45
三、耐蚀性能 .....	16	一、机械性能 .....	45
四、工艺性能 .....	17	二、物理性能 .....	48
五、品种和用途 .....	17	三、耐蚀性能 .....	48
第二章 铝-锰系合金 .....	17	四、工艺性能 .....	49
第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	17	五、品种和用途 .....	49
一、相 图 .....	17	第五章 铝-铜-镁系合金 .....	50
二、合金元素的作用 .....	19	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	50
三、杂质的影响 .....	19	一、相 图 .....	50
四、合金的相组成 .....	21	二、合金元素的作用 .....	50
五、LF21合金退火材料粗大晶粒的消除 .....	21	三、少量添加元素及杂质的影响 .....	54
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	24	四、合金的相组成 .....	55
一、机械性能 .....	24	第二节 合金的性能、品种和用途 .....	57
二、物理性能 .....	24	一、机械性能 .....	57
三、耐蚀性能 .....	25	二、物理性能 .....	73
四、工艺性能 .....	26	三、耐蚀性能 .....	73
五、品种和用途 .....	26	四、工艺性能 .....	75
第三章 铝-镁系合金 .....	26	五、品种和用途 .....	77
第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	26	第六章 铝-铜-镁-铁-镍系合金 .....	77
一、相 图 .....	26	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	77
二、合金元素的作用 .....	27	一、相 图 .....	77
三、杂质的影响 .....	29	二、合金元素的作用 .....	79
四、合金的相组成 .....	30	三、合金的相组成 .....	82
五、铝-镁-锂系合金 .....	30	第二节 合金的性能、品种和用途 .....	82
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	31	一、机械性能 .....	82
一、机械性能 .....	31	二、物理性能 .....	86
二、物理性能 .....	35	三、耐蚀性能 .....	87
三、耐蚀性能 .....	36	四、工艺性能 .....	87
四、工艺性能 .....	36	五、品种和用途 .....	87
五、品种和用途 .....	38	第七章 铝-铜-锰系合金 .....	88
第四章 铝-镁-硅和铝-铜-镁-硅系		第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	88
		一、相 图 .....	88
		二、合金元素的作用 .....	88

三、少量添加元素和杂质的影响 .....	88	一、机械性能 .....	107
四、合金的相组成 .....	91	二、物理性能 .....	107
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	91	三、耐蚀性能 .....	108
一、机械性能 .....	91	四、工艺性能 .....	108
二、物理性能 .....	94	五、品种和用途 .....	108
三、耐蚀性能 .....	94	第十章 铝-锌-镁-铜系合金 .....	108
四、工艺性能 .....	94	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	109
五、品种和用途 .....	95	一、相 图 .....	109
第八章 铝-铜-锂系合金 .....	95	二、合金元素的作用 .....	111
第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	96	三、少量添加元素及杂质的影响 .....	116
一、相 图 .....	96	四、合金的相组成 .....	117
二、合金元素的作用及杂质的影响 .....	97	第二节 合金的性能、品种和用途 .....	118
三、合金的相组成 .....	99	一、机械性能 .....	118
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	99	二、物理性能 .....	121
一、机械性能 .....	99	三、耐蚀性能 .....	122
二、物理性能 .....	100	四、工艺性能 .....	123
三、耐蚀性能 .....	100	五、品种和用途 .....	124
四、工艺性能 .....	100	第十一章 铝及铝合金材料的标准机械	
五、品种和用途 .....	101	性能 .....	124
第九章 铝-锌-镁系合金 .....	101	一、板材及箔材的标准机械性能 .....	124
第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	101	二、管材的标准机械性能 .....	129
一、相 图 .....	101	三、棒材的标准机械性能 .....	131
二、合金元素的作用 .....	103	四、型材的标准机械性能 .....	132
三、少量添加元素及杂质的影响 .....	105	五、线材的标准机械性能 .....	134
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	107	六、锻件及模锻件的标准机械性能 .....	135

## 第二篇 镁 及 镁 合 金

第一章 镁 .....	142	三、耐蚀性能 .....	161
第一节 镁的牌号及其杂质 .....	142	四、工艺性能 .....	161
一、镁的牌号 .....	142	五、品种和用途 .....	162
二、杂质对镁的组织 and 性能的影响 .....	142	第三章 镁-铝-锌系合金 .....	162
第二节 镁的性能和用途 .....	144	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	162
一、机械性能 .....	144	一、相 图 .....	162
二、物理性能 .....	145	二、合金元素的作用 .....	164
三、耐蚀性能 .....	151	三、合金的热处理 .....	165
四、工艺性能 .....	152	第二节 合金的性能、品种和用途 .....	166
五、镁的用途 .....	153	一、机械性能 .....	166
第二章 镁-锰系合金 .....	153	二、物理性能 .....	170
第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	153	三、耐蚀性能 .....	171
一、相 图 .....	153	四、工艺性能 .....	171
二、合金元素的作用 .....	155	五、品种和用途 .....	171
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	157	第四章 镁-锌-锆系合金 .....	172
一、机械性能 .....	157	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	172
二、物理性能 .....	160	一、相 图 .....	172

二、合金元素的作用 .....	174	三、耐蚀性能 .....	190
三、合金的热处理 .....	175	四、工艺性能 .....	190
四、MB15合金的粗晶环和光亮环 .....	176	五、品种和用途 .....	190
第二节 合金的性能、品种和用途 .....	177	第三节 镁-钽系合金 .....	190
一、机械性能 .....	177	一、合金的组织及合金元素的作用 .....	191
二、物理性能 .....	178	二、合金的性能和用途 .....	191
三、耐蚀性能 .....	179	第六章 镁-锂系合金 .....	193
四、工艺性能 .....	179	第一节 合金的组织及合金元素的作用 .....	193
五、品种和用途 .....	179	一、相 图 .....	193
第五章 镁-稀土系和镁-钽系合金 .....	179	二、合金元素的作用 .....	194
第一节 镁-稀土系合金的组织及合金元素的作用 .....	180	三、添加元素对合金耐蚀性能的影响 .....	196
一、相 图 .....	180	四、杂质的影响 .....	196
二、合金元素的作用 .....	182	第二节 合金的性能、品种和用途 .....	197
第二节 镁-稀土系合金的性能、品种和用途 .....	187	一、机械性能 .....	197
一、机械性能 .....	187	二、物理性能 .....	198
二、物理性能 .....	189	三、耐蚀性能 .....	198
		四、工艺性能 .....	198
		五、品种和用途 .....	199

### 第三篇 轻金属材料热处理

第一章 退 火 .....	200	一、水 .....	227
第一节 铸锭的均匀化退火 .....	200	二、聚乙醇水溶液 .....	228
一、铸锭均匀化退火的目的 .....	200	三、淬火槽 .....	228
二、均匀化退火过程 .....	200	第六节 阶段淬火 .....	228
三、均匀化退火制度 .....	201	第三章 时 效 .....	229
四、铸锭均匀化退火时的注意事项 .....	203	第一节 铝合金的时效硬化过程 .....	229
第二节 回复、再结晶退火 .....	203	一、硬化区的形成 .....	230
一、回 复 .....	204	二、时效过程的几个阶段 .....	231
二、再结晶 .....	204	第二节 过饱和固溶体的分解过程及析出相的形成序列 .....	233
三、晶粒长大 .....	208	一、二元系合金 .....	233
四、铝、镁及其合金退火软化曲线 .....	209	二、三元系合金 .....	233
五、铝、镁及其合金材料退火工艺制度 .....	213	第三节 时效方法及其选择 .....	234
第二章 淬 火 .....	218	一、自然时效和人工时效 .....	234
第一节 淬火加热温度 .....	218	二、分级时效 .....	234
一、淬火加热温度的选择 .....	218	三、形变热处理 .....	235
二、过烧温度及其影响因素 .....	218	第四节 时效温度及时间对机械性能的影响 .....	235
三、淬火加热温度及其对机械性能的影响 .....	220	一、时效温度及时间对材料性能的影响 .....	235
四、淬火加热时的注意事项 .....	223	二、时效硬化曲线 .....	236
第二节 淬火加热保温时间 .....	224	第五节 铝、镁合金的时效制度 .....	239
一、保温时间的选择 .....	224	第六节 回 归 .....	240
二、淬火保温时间及其对机械性能的影响 .....	224	第四章 制品在热处理中所产生的主要缺陷及废品 .....	240
第三节 淬火转移时间 .....	226		
第四节 淬火时的冷却速度 .....	227		
第五节 淬火时的冷却介质及淬火槽 .....	227		

一、机械性能不合格 .....	240	一、对热处理炉的要求 .....	243
二、过烧 .....	241	二、铝、镁合金热处理炉的分类 .....	243
三、气泡 .....	241	三、低温电阻炉的传热方式 .....	245
四、淬火裂纹 .....	242	四、铝、镁合金热处理炉的特点 .....	246
五、铜扩散 .....	242	五、低温电阻炉用结构材料 .....	246
六、片层状组织 .....	242	第二节 常用热处理炉的结构特点及技 术性能 .....	250
七、粗大晶粒 .....	242	一、间歇作业式电阻炉 .....	250
第五章 铝、镁合金常用热处理炉 .....	243	二、连续式作业空气循环电阻炉 .....	264
第一节 概 述 .....	243		

#### 第四篇 轻金属材料的试验与检验

第一章 力学性能试验 .....	267	一、试验原理 .....	301
第一节 拉力试验 .....	267	二、试验用试样 .....	302
一、试验原理 .....	267	三、试验设备 .....	303
二、试验用试样 .....	270	四、试验及结果处理 .....	303
三、试验设备及试验条件 .....	275	第七节 高温性能试验 .....	303
四、试验及结果处理 .....	277	一、高温蠕变试验 .....	303
第二节 镁合金压缩屈服强度的测定 .....	286	（一）试验原理 .....	303
第三节 硬度试验 .....	287	（二）试验用试样 .....	304
一、布氏硬度试验 .....	287	（三）试验设备 .....	305
（一）试验原理 .....	287	（四）试验及结果处理 .....	306
（二）试验设备 .....	288	二、高温持久试验（持久极限试验） .....	308
（三）试验用试样 .....	288	（一）试验原理 .....	308
（四）试验及结果处理 .....	290	（二）试验用试样 .....	308
二、洛氏硬度试验 .....	291	（三）试验设备 .....	309
（一）试验原理 .....	291	（四）试验及结果处理 .....	309
（二）试验设备 .....	292	三、高温瞬时拉力试验 .....	309
（三）试验用试样 .....	293	（一）试验原理 .....	309
（四）试验及结果处理 .....	294	（二）试验用试样 .....	310
三、维氏硬度试验 .....	295	（三）试验设备 .....	311
（一）试验原理 .....	295	（四）试验及结果处理 .....	311
（二）试验设备 .....	295	第八节 工艺性能试验 .....	311
（三）试验用试样 .....	296	一、杯突试验 .....	311
（四）试验及结果处理 .....	297	（一）试验原理 .....	311
第四节 剪切试验 .....	297	（二）试验用试样 .....	311
一、试验原理 .....	297	（三）试验设备 .....	311
二、试验用试样 .....	297	（四）试验及结果处理 .....	312
三、试验设备 .....	297	二、冲杯试验 .....	312
四、试验及结果处理 .....	298	（一）试验原理 .....	312
第五节 冲击试验 .....	298	（二）试验用试样 .....	312
一、试验原理 .....	298	（三）试验设备 .....	313
二、试验用试样 .....	298	（四）试验及结果处理 .....	313
三、试验设备 .....	300	三、线材铆接试验 .....	313
四、试验及结果处理 .....	300	（一）试验原理 .....	313
第六节 疲劳试验 .....	300	（二）试验用试样 .....	313



(三) 试验设备及结果评定 .....	314	一、基本原理 .....	342
四、线材反复弯曲试验 .....	315	二、检验设备 .....	342
(一) 试验原理 .....	315	三、检验方法及应用举例 .....	343
(二) 试验用试样 .....	315	(一) 参考标样制作 .....	343
(三) 试验设备 .....	315	(二) 仪器参数的选择 .....	344
(四) 试验及结果处理 .....	315	(三) 缺陷的记录轨迹 .....	344
五、管材扩口试验 .....	316	第三章 组织检验 .....	345
(一) 试验原理 .....	316	第一节 铝、镁及其合金的宏观检验 .....	345
(二) 试验用试样 .....	316	一、宏观侵蚀试验 .....	345
(三) 试验设备 .....	316	(一) 试验用试样 .....	345
(四) 试验及结果处理 .....	316	(二) 试片的侵蚀 .....	346
六、管材压扁试验 .....	317	(三) 常见组织及缺陷的检验 .....	350
(一) 试验原理 .....	317	二、断口检验 .....	365
(二) 试验用试样 .....	317	(一) 试验用试样 .....	365
(三) 试验及结果处理 .....	317	(二) 金相显微镜研究断口 .....	366
七、管材的压缩试验 .....	317	(三) 电子显微镜研究断口 .....	366
(一) 试验原理 .....	317	(四) 常见的断口缺陷 .....	368
(二) 试验用试样 .....	318	第二节 铝、镁及其合金的显微组织检验 .....	370
(三) 试验及结果处理 .....	318	一、试验用试样 .....	370
第九节 断裂韧性简介 .....	318	(一) 试样的切取 .....	370
一、断裂韧性指标 .....	318	(二) 试样的镶嵌 .....	371
二、 $K_{IC}$ 值的测定方法 .....	320	(三) 试样的磨制 .....	372
(一) 试验用试样 .....	320	(四) 试样的抛光 .....	373
(二) 试验设备 .....	320	二、显微组织的显示方法 .....	378
(三) 试验及 $K_{IC}$ 值之确定 .....	320	(一) 化学侵蚀法 .....	379
三、试验结果举例 .....	322	(二) 电解侵蚀法 .....	384
第二章 物理性能试验及无损检验 .....	323	(三) 阳极化处理 .....	384
第一节 电阻系数的测定 .....	323	(四) 复制膜法 .....	388
一、测试原理 .....	324	三、显微组织的检验及测定 .....	389
二、电阻的测量 .....	325	(一) 过烧组织的鉴定 .....	389
三、测量误差分析 .....	326	(二) 包铝层及包覆层的测定 .....	391
第二节 线膨胀系数的测定 .....	326	(三) 铜扩散的测定 .....	391
一、测试原理 .....	328	(四) 晶粒度的测定 .....	392
二、线膨胀系数的测定 .....	329	(五) 再结晶温度的测定 .....	393
第三节 超声波探伤 .....	329	(六) 合金中相的鉴定 .....	394
一、基本原理 .....	330	第四章 X-射线结构分析及其应用 .....	401
二、脉冲反射法探伤 .....	330	第一节 概 述 .....	401
三、缺陷的判定 .....	336	一、基本概念 .....	401
(一) 纵波定位法(平探头定位法) .....	336	二、X-射线的衍射 .....	403
(二) 纵波定量法 .....	337	三、X-射线衍射方法的应用 .....	404
(三) 横波定位法(斜探头定位法) .....	338	第二节 再结晶的测定 .....	404
(四) 用表面波与板波对缺陷定位 .....	339	一、掠射法的基本原理 .....	404
(五) 缺陷性质的判定 .....	339	二、掠射法再结晶的测定和底片分析 .....	405
(六) 假讯号的判断 .....	341	第三节 晶格常数的精确测定 .....	407
(七) 剖伤验证 .....	341	一、晶格常数的测定方法 .....	407
第四节 涡流探伤 .....	342		

(一) 德拜-谢乐法(粉末法) .....	408	(二) 试验条件 .....	428
(二) 聚焦法 .....	408	(三) 试验及结果评定 .....	429
(三) 背反射法 .....	409	三、应力腐蚀和腐蚀疲劳试验 .....	430
二、几种测定方法的比较 .....	410	(一) 定性应力腐蚀 .....	430
第四节 物相分析 .....	410	(二) 定量应力腐蚀 .....	433
一、基本原理 .....	411	(三) 腐蚀疲劳试验 .....	434
二、物相分析方法 .....	411	四、潮湿与盐雾腐蚀试验 .....	435
第五节 金属织构的测定 .....	413	(一) 试验设备 .....	435
一、轴对称织构的测定 .....	413	(二) 试验条件 .....	435
二、轧制织构的测定 .....	415	(三) 试验结果处理 .....	435
第六节 内应力的测定 .....	415	五、析氢腐蚀试验 .....	436
一、第一类内应力的测定 .....	415	(一) 试验设备 .....	436
二、第二类内应力的测定 .....	417	(二) 试验用试样 .....	436
三、第三类内应力的测定 .....	417	(三) 试验条件 .....	437
第七节 晶体取向的测定 .....	418	(四) 试验结果处理 .....	437
一、透射劳厄法测定晶体取向 .....	418	六、电化学研究方法 .....	437
二、应用举例 .....	419	(一) 电极电位测定 .....	438
第五章 轻金属材料的腐蚀与保护 .....	419	(二) 极化曲线测定 .....	438
第一节 概 述 .....	419	第四节 轻合金的防护方法 .....	439
一、金属的腐蚀及其分类 .....	419	一、试验用试样 .....	439
二、轻金属材料的耐蚀性能 .....	421	(一) 机械方法处理 .....	439
(一) 铝及铝合金的耐蚀性能 .....	421	(二) 化学除油 .....	439
(二) 镁及镁合金的耐蚀性能 .....	422	(三) 化学和电化学抛光 .....	439
三、腐蚀试验与防护的目的 .....	422	二、化学氧化 .....	440
第二节 室外腐蚀试验 .....	422	三、阳极氧化 .....	442
一、大气腐蚀试验 .....	422	四、有机涂层 .....	447
(一) 大气试验站的选择 .....	422	五、电镀层 .....	448
(二) 试验条件 .....	423	六、其它防护方法 .....	450
(三) 试验结果处理 .....	423	(一) 阳极保护法 .....	450
二、土壤腐蚀试验 .....	423	(二) 缓蚀物质保护法 .....	450
(一) 土壤腐蚀的特性及其影响因素 .....	423	(三) 防锈油包装 .....	450
(二) 试验条件 .....	423	第六章 化学成分分析 .....	451
(三) 试验结果处理 .....	423	第一节 铝合金的化学分析方法 .....	454
三、自然水中腐蚀试验 .....	424	一、铜的测定 .....	454
(一) 试验地点的选择 .....	424	(一) 碘量容量法 .....	454
(二) 试验条件 .....	424	(二) 铜试剂比色法 .....	454
(三) 试验结果处理 .....	424	二、镁的测定 .....	455
第三节 室内腐蚀试验 .....	424	(一) 酸溶络合滴定法 .....	455
一、重量损失和机械性能损失试验 .....	424	(二) 碱溶络合滴定法 .....	456
(一) 试验用试样 .....	424	三、锰的测定 .....	456
(二) 试验条件 .....	426	(一) 亚砷酸钠-亚硝酸钠容量法 .....	456
(三) 试验设备 .....	426	(二) 过碘酸钾比色法 .....	457
(四) 试验及结果处理 .....	427	四、铁的测定 .....	458
二、晶间腐蚀试验 .....	428	重铬酸钾容量法 .....	458
(一) 试验用试样 .....	428	五、硅的测定 .....	458
		硅钼黄比色法 .....	458

六、镍的测定 ..... 459  
 (一) 酸溶络合滴定法 ..... 459  
 (二) 碱溶络合滴定法 ..... 460  
 七、铬的测定 ..... 461  
 高硫酸铵氧化容量法 ..... 461  
 八、锌的测定 ..... 461  
 (一) 极谱法 ..... 461  
 (二) 原子吸收光谱法 ..... 462  
 九、钛的测定 ..... 463  
 过氧化氢比色法 ..... 463  
 十、铅的测定 ..... 463  
 络合滴定法 ..... 463  
**第二节 镁合金的化学分析方法** ..... 464  
 一、铝的测定 ..... 464  
 络合滴定法 ..... 464  
 二、锌的测定 ..... 465  
 络合滴定法 ..... 465  
 三、锰的测定 ..... 466

过碘酸钾比色法 ..... 466  
 四、锆的测定 ..... 466  
 络合滴定法 ..... 466  
 五、铈(稀土元素总量)的测定 ..... 467  
 偶氮胂Ⅲ比色法 ..... 467  
 六、铁的测定 ..... 468  
 邻菲罗啉比色法 ..... 468  
 七、硅的测定 ..... 468  
 硅钼蓝比色法 ..... 468  
 八、铜的测定 ..... 469  
 新亚铜试剂比色法 ..... 469  
 九、镍的测定 ..... 470  
 $\alpha$ -联咪喃甲酰二肼比色法 ..... 470  
**第三节 光谱分析** ..... 470  
 一、铝合金的发射光谱分析 ..... 471  
 (一) 摄谱法光谱分析 ..... 471  
 (二) 光电法 ..... 476  
 二、镁合金的光谱分析 ..... 479

**附 录**

附录一 元素周期表 ..... 481  
 附录二 元素的物理性能 ..... 483  
 附录三 轻合金相图选编 ..... 486  
 一、铝合金二元相图 ..... 486  
 二、铝合金三元相图 ..... 506  
 三、铝合金四元相图 ..... 519  
 四、镁合金二元相图 ..... 525  
 五、镁合金三元相图 ..... 534  
 附录四 各国变形铝及铝合金牌号对照表 ..... 544  
 附录五 美国变形铝合金化学成分 ..... 546  
 附录六 美国变形铝合金包覆产品的组成成分 ..... 548  
 附录七 常用铝合金焊丝的牌号和成分 ..... 549  
 附录八 美国变形铝合金的典型特性和应用 ..... 550  
 附录九 美国变形铝合金的典型热处理

制度 ..... 553  
 附录十 美国变形铝合金的典型退火制度 ..... 558  
 附录十一 苏联变形铝合金的典型热处理制度 ..... 559  
 附录十二 苏联变形铝合金的退火制度 ..... 560  
 附录十三 各国变形镁合金牌号对照表 ..... 561  
 附录十四 美国变形镁合金的化学成分 ..... 561  
 附录十五 摄氏—华氏温度换算表 ..... 562  
 附录十六 压痕直径与布氏硬度对照表 ..... 563  
 附录十七 压痕对角线与维氏硬度对照表 ..... 565

# 第一篇 铝及铝合金

铝在地壳中的蕴藏量很大，约占地壳重量的8.13%，是铁蕴藏量的一倍多。它比其它有色金属蕴藏量的总和还要多，是地壳中分布最广的金属元素。我国铝的资源很丰富。

铝具有比重小，导热、导电性能高，耐蚀性好，塑性好，色泽美观，无低温脆性，易于加工成型等优点。由于纯铝的强度较低，一般不做结构材料使用。在铝中加入其它元素制成的铝合金，可大大提高其机械性能。某些铝合金的比强度，可与合金钢相媲美，而其比刚度则超过了钢。因此，铝及铝合金在交通运输、化工、机械、电力、电子、仪表、建筑、农业及轻工业等部门中得到了广泛的应用。在航空、航天及许多国防工业部门中，铝及铝合金更是必不可少的材料。

铝的生产历史虽然只有一百多年，但其发展速度却很快。目前，世界上的铝产量仅次于钢铁，跃居于有色金属的首位。

按生产方法的不同，铝合金可分为铸造铝合金和变形铝合金两大类。

变形铝合金按照性能和用途不同，可分为：铝（L）、防锈铝（LF）、硬铝（LY）、超硬铝（LC）、锻铝（LD）、特殊铝（LT）等。

按照热处理特点不同，变形铝合金可分为不可热处理强化的铝合金及可热处理强化的铝合金两大类。

按照所含主要合金元素的不同，又可分为下列合金系。

铝及不可热处理强化的铝合金：

铝；

铝-锰系；

铝-镁系。

可热处理强化的铝合金：

铝-镁-硅系和铝-镁-硅-铜系；

铝-铜-镁系；

铝-铜-镁-铁-镍系；

铝-铜-锰系；

铝-铜-锂系；

铝-锌-镁系；

铝-锌-镁-铜系。

我国变形铝合金的牌号及化学成分见表1-0-1，各种合金材料的供应状态代号见表1-0-2。

铝及铝合金可以加工成管、棒、型、线、板、带、箔材及锻件等多种材料和半成品。常用铝及铝合金的材料品种见表1-0-3。

表 1-0-1 铝及铝合金的

序号	组别	合金牌号	代号	主要				
				铜	镁	锰	铁	
1	工业纯铝	一号工业纯铝	L1	—	—	—	—	
2		二号工业纯铝	L2	—	—	—	—	
3		三号工业纯铝	L3	—	—	—	—	
4		四号工业纯铝	L4	—	—	—	—	
5		五号工业纯铝	L5	—	—	—	—	
6		六号工业纯铝	L6	—	—	—	—	
7	防锈铝合金	一号防锈铝	LF1	—	0.8~1.3	0.9~1.4	—	
8		二号防锈铝	LF2	—	2.0~2.8	或铬 0.15~0.4	—	
9		三号防锈铝	LF3	—	3.2~3.8	0.3~0.6	—	
10		五号防锈铝	LF5	—	4.0~5.5	0.3~0.6	—	
11		六号防锈铝	LF6	—	5.8~6.8	0.5~0.8	—	
12		七号防锈铝	LF7	—	6.0~7.5	0.3~0.6	—	
13		十号防锈铝	LF10	—	4.7~5.7	0.2~0.6	—	
14		十一号防锈铝	LF11	—	4.8~5.5	0.3~0.6	—	
15		二十一号防锈铝	LF21	—	—	1.0~1.6	—	
16		硬铝	一号硬铝	LY1	2.2~3.0	0.2~0.5	—	—
17			二号硬铝	LY2	2.6~3.2	2.0~2.4	0.45~0.7	—
18	三号硬铝		LY3	2.6~3.5	0.3~0.7	0.3~0.7	—	
19	四号硬铝		LY4	3.2~3.7	2.1~2.6	0.5~0.8	—	
20	六号硬铝		LY6	3.8~4.3	1.7~2.3	0.5~1.0	—	
21	七号硬铝		LY7	3.3~4.7	0.4~0.9	0.4~0.9	—	
22	八号硬铝		LY8	3.8~4.5	0.4~0.8	0.4~0.8	—	
23	九号硬铝		LY9	3.8~4.5	1.2~1.6	0.3~0.7	—	
24	十号硬铝		LY10	3.9~4.5	0.15~0.30	0.3~0.5	—	
25	十一号硬铝		LY11	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	
26	十二号硬铝		LY12	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	
27	十三号硬铝		LY13	4.0~5.0	0.3~0.5	—	—	
28	十六号硬铝		LY16	6.0~7.0	—	0.4~0.8	—	
29	十七号硬铝		LY17	6.0~7.0	0.25~0.45	0.4~0.8	—	
30	锻铝		一号锻铝	LD1	—	0.4~0.8	—	—
31			二号锻铝	LD2	0.2~0.6	0.45~0.9	或铬 0.15~0.35	—
32			五号锻铝	LD5	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8	—
33		六号锻铝	LD6	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8	—	
34		七号锻铝	LD7	1.9~2.5	1.4~1.8	—	1.0~1.5	
35		八号锻铝	LD8	1.9~2.5	1.4~1.8	—	1.1~1.6	
36		九号锻铝	LD9	3.5~4.5	0.4~0.8	—	0.5~1.0	
37		十号锻铝	LD10	3.9~4.8	0.4~0.8	0.4~1.0	—	
38		超硬铝	三号超硬铝	LC3	1.8~2.4	1.2~1.6	—	—
39			四号超硬铝	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	—
40	五号超硬铝		LC5	0.3~1.0	1.2~2.0	0.3~0.8	—	
41	特殊铝	六号超硬铝	LC6	2.2~2.8	2.5~3.2	0.2~0.5	—	
42		九号超硬铝	LC9	1.2~2.0	2.0~3.0	—	—	
43		一号特殊铝	LT1	—	—	—	—	



序号	组别	合金牌号	代号	杂质						
				铁	硅	铁+硅	铁+镍	铜	镁	
1	工业纯铝	一号工业纯铝	L1	0.16	0.16	0.26	—	0.01	—	
2		二号工业纯铝	L2	0.25	0.20	0.36	—	0.01	—	
3		三号工业纯铝	L3	0.30	0.30	0.45	—	0.015	—	
4		四号工业纯铝	L4	0.30	0.35	0.60	—	0.05	—	
5		五号工业纯铝	L5	0.50	0.50	0.90	—	0.02	—	
6		六号工业纯铝	L6	0.50	0.55	1.0	—	0.1	0.1	
7	防锈铝合金	一号防锈铝	LF1	0.7	0.7	—	—	0.1	—	
8		二号防锈铝	LF2	0.4	0.4	0.6	—	0.1	—	
9		三号防锈铝	LF3	0.5	—	—	—	0.05	—	
10		五号防锈铝	LF5	0.5	0.5	—	—	0.05	—	
11		六号防锈铝	LF6	0.4	0.4	—	—	0.1	—	
12		七号防锈铝	LF7	0.5	0.5	—	—	0.05	—	
13		十号防锈铝	LF10	0.4	0.4	0.6	—	0.2	—	
14		十一号防锈铝	LF11	0.5	0.5	—	—	0.05	—	
15		二十一号防锈铝	LF21	0.7	0.6	—	—	0.2	0.05	
16		硬铝	一号硬铝	LY1	0.5	0.5	—	—	—	—
17			二号硬铝	LY2	0.3	0.3	—	—	—	—
18	三号硬铝		LY3	0.5	0.5	—	—	—	—	
19	四号硬铝		LY4	0.3	0.3	—	—	—	—	
20	六号硬铝		LY6	0.5	0.5	—	—	—	—	
21	七号硬铝		LY7	0.8	0.8	—	—	—	—	
22	八号硬铝		LY8	0.5	0.5	—	—	—	—	
23	九号硬铝		LY9	0.5	0.5	—	—	—	—	
24	十号硬铝		LY10	0.2	0.25	—	—	—	—	
25	十一号硬铝		LY11	0.7	0.7	—	0.7	—	—	
26	十二号硬铝		LY12	0.5	0.5	—	0.5	—	—	
27	十三号硬铝	LY13	0.6	0.7	—	—	—	—		
28	十六号硬铝	LY16	0.3	0.3	—	—	—	0.05		
29	十七号硬铝	LY17	0.3	0.3	—	—	—	—		
30	锻铝	一号锻铝	LD1	0.4	—	—	—	0.1	—	
31		二号锻铝	LD2	0.5	—	—	—	—	—	
32		五号锻铝	LD5	0.7	—	—	0.7	—	—	
33		六号锻铝	LD6	0.7	—	—	0.7	—	—	
34		七号锻铝	LD7	—	0.35	—	—	—	—	
35		八号锻铝	LD8	—	—	—	—	—	—	
36		九号锻铝	LD9	—	—	—	—	—	—	
37		十号锻铝	LD10	0.7	—	—	—	—	—	
38		超硬铝	三号超硬铝	LC3	0.2	0.2	—	—	—	—
39			四号超硬铝	LC4	0.5	0.5	—	—	—	—
40	五号超硬铝		LC5	0.6	0.4	—	—	—	—	
41	六号超硬铝		LC6	0.5	0.3	—	—	—	—	
42	九号超硬铝		LC9	0.5	0.5	—	—	—	—	
43	特殊铝	一号特殊铝	LT1	0.6	—	—	—	—		

注：(1) 制造铆钉用的 LF21 合金不应含有锌。

(2) 制造焊条用的 LF2 合金其铁和硅含量各不大于 0.5%。

(3) 除含钛的合金及 LC4 合金外，在所有合金中均允许含有超过“其它杂质”总量、不多于 0.15% 的钛。

续表 1-0-1

不 大 于, %

锰	锌	镍	铬	锌+锡	钛	铜+锌	钙	铅	其他杂质	杂质总合
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.50
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0
0.1	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.8
—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.85
—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—
—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.1
—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.35
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.75
0.2	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.4
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.1
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.8
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
—	—	—	—	0.15	—	—	—	—	—	1.75
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.65
—	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1	1.8
—	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1	1.5
—	0.6	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
—	0.1	—	—	—	—	—	—	0.2	0.1	1.05
—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—
0.2	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.8
—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.8
—	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1	1.1
—	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1	1.1
0.2	0.3	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.95
0.2	0.3	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.6
0.2	0.3	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.6
—	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1	1.2
0.1	—	—	0.05	—	—	—	—	—	0.1	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	1.1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—
0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—
—	—	—	—	0.1	—	—	—	—	0.1	0.9

(4) LF6 合金的铍含量, 按计算量加入。

(5) 在用作焊丝的 LY16 合金中, 允许杂质铍的含量不多于 0.05%。

(6) “其他杂质”亦包括列入表中, 但未规定容许含量范围的杂质。



表 1-0-2 材料的主要供应状态代号

供应状态	代号	供应状态	代号	供应状态	代号
热轧, 热挤	R	加厚包铝层	J	不包铝, 淬火及冷作硬化	BCY
退火	M	优质表面	O	淬火, 自然时效及冷作硬化	CZY
淬火及自然时效	CZ	冷作硬化	Y	$\frac{3}{4}$ 硬、 $\frac{1}{2}$ 硬、 $\frac{1}{3}$ 硬、 $\frac{1}{4}$ 硬	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$
淬火及人工时效	CS	不包铝, 热轧	BR		
不包铝	P	退火, 优质表面	MC		

表 1-0-3 铝及铝合金材料品种

组别	合金代号	材 料 品 种										组别	合金代号	材 料 品 种										
		厚板	薄板	厚壁管	薄壁管	棒材	线材	型材	锻件	模锻件	箔材			厚板	薄板	厚壁管	薄壁管	棒材	线材	型材	锻件	模锻件	箔材	
工业纯铝	L1	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	硬铝合金	LY12	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
	L2	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+		LY13	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	
	L3	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+		LY16	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	
	L4	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+		LY17	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	
	L5	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+		锻铝合金	LD1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
	L6	+	+	+	+	+	+	-	-	+	LD2			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
防锈铝合金	LF2	+	+	+	+	+	+	+	-	+	LD5	-		-	-	-	+	-	+	+	+	-		
	LF3	+	+	+	+	+	+	+	-	+	LD6	-		-	-	-	+	-	+	+	+	-		
	LF5	+	+	+	+	+	+	+	-	+	LD7	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-			
	LF6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	LD8	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-			
	LF7	+	+	-	-	+	+	+	+	+	LD9	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-			
	LF10	-	-	-	-	-	+	-	-	-	LD10	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-			
	LF11	+	+	+	+	+	+	-	+	-	超硬铝合金	LC3	-	-	-	-	+	-	+	-	-			
	LF12	+	+	+	-	+	-	+	-	-		LC4	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-		
	LF21	+	+	+	+	+	+	+	-	+		LC5	-	-	-	-	-	-	-	+	-			
	硬铝合金	LY1	-	-	-	-	+	-	-	-		-	LC6	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	
LY2		-	-	-	+	+	-	+	+	-	LC9	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-			
LY4		-	-	-	-	+	-	-	-	-	LC10	-	-	-	-	+	-	-	-	-				
LY6		+	+	-	-	+	+	-	-	-	特殊铝合金	LT1	-	-	-	-	+	-	-	-	-			
LY8		-	-	-	-	+	-	-	-	LT2		+	+	-	-	-	-	-	-	-				
LY9		-	-	-	-	+	-	-	-	LT3		+	+	-	-	-	-	-	-	-				
LY10	-	-	-	-	+	-	-	-	LT66	+		+	-	-	-	-	-	-	-					
LY11	+	+	+	+	+	+	+	+	+															

## 第一章 铝

铝的比重小, 导电性好, 导热性高, 对光的反射率高, 热中子吸收截面较小, 表面光泽美观。铝在大气中的耐蚀性能也较好。铝具有面心立方晶格, 无同素异形转变, 塑性高。可进行各种形式的压力加工。

纯铝不可热处理强化, 其机械强度较低。