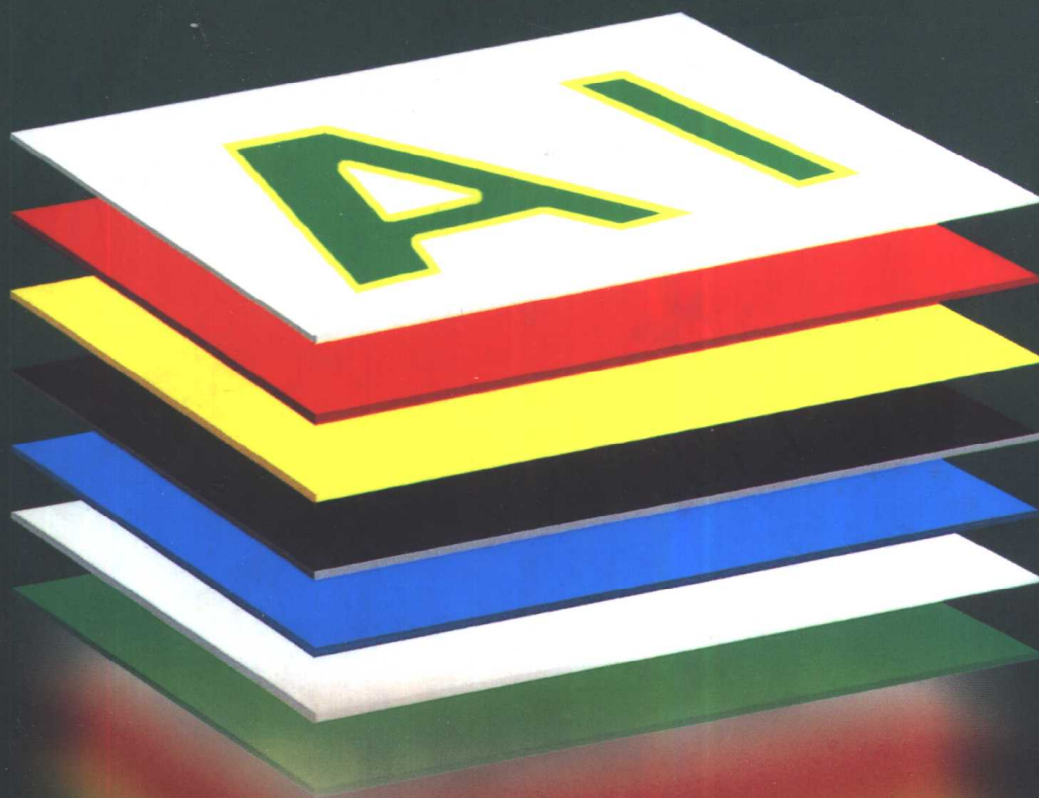


简明铝合金手册

JianMingLüHeJinShouCe

主编 张士林 任颂赞 主审 许珞萍



上海科学技术文献出版社

简明铝合金手册

主编	张士林	任颂赞	
主审	许珞萍		
编写	张士林	倪晓峰	严锦山
	吴小元	邓 键	徐孝勉
	任颂赞	姚申耕	

上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明铝合金手册/张士林,任颂赞主编.—上海:上海科学技术文献出版社,2000.12

ISBN 7-5439-1672-X

I. 简... II. ①张...②任... III. 铝合金-手册
IV. TG146.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 55746 号

责任编辑:忻静芬

封面设计:何永平

简明铝合金手册

主编 张士林 任颂赞

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

常熟人民印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 35 字数 895 000

2001年2月第1版 2001年2月第1次印刷

印数:1-3 100

ISBN 7-5439-1672-X/T·639

定价:78.00元

内 容 提 要

本手册从实用性出发,强调可操作性和科学性,分 10 章系统地介绍铝及铝合金的基础知识、常用数据、压力加工、铸造加工、连接、热处理、表面处理、性能检测等知识,可作为工程技术人员、高等院校师生的工具书。

前 言

在科学技术发展及市场需要的推动下,铝及铝合金的应用范围正在不断扩大。随着我国经济日渐融入全球化,铝及铝合金相关标准也必然要求与国际接轨。为适应这些变化,近几年来有关的国家标准、行业标准都作了相应修订,有的变动较大(如变形铝合金牌号)。除标准之外,在生产实践中还需要开展基础研究与大量工艺基础参数作为工艺支撑。许多前辈、许多科技工作者花了大量时间,做了大量工作,发表了许多著作、文献,有关铝合金的组织、性能、生产方式、工艺参量等资料浩如烟海。在实际工作中的一般工程技术人员要及时收集这类资料远非轻而易举之事。出于上述原因,我们编写了《简明铝合金手册》一书。编者着眼于实用性,强调可操作性、科学性。本书对铝及铝合金的基础知识、常用数据、压力加工、铸造加工、连接、热处理、表面处理、性能检测等内容作了较全面的介绍。

全书共十章。第一章、第二章由张士林编写;第三章由倪晓峰、严锦山编写;第四章由吴小元编写;第五章、第六章由邓键编写;第七章由张士林编写;第八章由徐孝勉编写;第九章由任颂赞、姚申耕编写;第十章由倪晓峰、严锦山、吴小元、邓键编写。

上海大学博士生导师许珞萍教授对全书进行了认真审阅并提出了指导性修改意见,对提高本书质量、充实内容起了很大作用。

书中的多数资料来自文献,来自已出版的各手册(见各章节附录参考文献),尤其选用了其中的一些图片、图表,对这些作者在此一并致谢。

本书编写过程中,力图做到:概念正确、简明、实用,但由于编者业务水平有限,工作经验不足,难免存在不少缺点、错误,热忱希望广大读者、同行惠予指出。

编 者

二〇〇〇年七月

目 录

1 铝及铝合金基础知识	1
1.1 工业纯铝	1
1.1.1 纯铝的一般特性	1
1.1.2 纯铝的性能	2
1.1.3 纯铝的牌号及化学成分	3
1.2 铝及铝合金的力学、热学、物理性能符号和含义	5
1.3 铝合金的分类及组织特点	7
1.3.1 铸造铝合金	8
1.3.2 变形铝合金	8
1.4 铝的合金化与强化方法	9
1.4.1 固溶强化	10
1.4.2 时效强化	10
1.4.3 过剩相强化	10
1.4.4 细化组织强化及变质处理	11
1.4.5 冷变形强化	11
1.5 铝中合金元素和杂质对性能的影响	11
1.5.1 铜元素	11
1.5.2 硅元素	12
1.5.3 镁元素	12
1.5.4 锰元素	13
1.5.5 锌元素	13
1.5.6 微量元素和杂质的影响	14
参考文献	16
2 铝合金的牌号与成分	17
2.1 变形铝合金的国内外编号方法	17
2.1.1 各国标准代号及学会与协会代号	17
2.1.2 变形铝合金编号方法及其状态代号	20
2.2 变形铝合金的化学成分	39
2.2.1 中国变形铝合金的化学成分	39
2.2.2 美国标准(ANSI)和 ISO 的变形铝合金化学成分	39
2.2.3 日本标准(JIS)变形铝及铝合金化学成分	39
2.2.4 俄罗斯(前苏联)变形铝及铝合金化学成分	39
2.2.5 德国(原联邦德国)变形铝及铝合金化学成分	39
2.2.6 意大利标准(UNI)中的变形铝合金牌号与化学成分	39

2.3 铸造铝合金的编号方法与化学成分	71
2.3.1 中国铸造铝合金	71
2.3.2 美国及 ISO 铸造铝及铝合金	71
2.3.3 日本铸造铝合金	83
2.3.4 德国铸造铝合金	83
2.3.5 各国铸造铝合金牌号对照	84
参考文献	87
3 铝合金铸造	88
3.1 概述	88
3.1.1 铝合金铸造工艺性能	88
3.1.2 铸造铝合金变质精炼与晶粒细化处理	94
3.2 铝合金砂型铸造	98
3.2.1 铸造铝合金砂型铸件结构设计	98
3.2.2 砂型铝铸件加工余量及工艺补正量	104
3.2.3 浇冒口设计	106
3.2.4 铸铝合金用型砂、芯砂及涂料	114
3.2.5 造型和合型工艺	119
3.2.6 浇注工艺	123
3.2.7 铸件清理与铸件缺陷	124
3.3 铝合金金属型铸造	125
3.3.1 铝合金金属型铸造简介	125
3.3.2 金属型铸造特点	125
3.3.3 金属型铸造的主要设计数据	125
3.3.4 金属型铸造工艺	138
3.3.5 铝合金金属型铸造铸件常见缺陷及预防措施	140
3.4 铝合金压力铸造	142
3.4.1 压力铸造的原理和工艺过程	142
3.4.2 压力铸造特点	142
3.4.3 压力铸造设备与选择	143
3.4.4 压铸模	144
3.4.5 压铸工艺	144
3.4.6 压铸件缺陷及防止办法	146
3.5 铝合金低压铸造	147
3.5.1 低压铸造的原理和特点	147
3.5.2 低压铸造铸型工艺设计	148
3.5.3 铸造工艺	149
3.5.4 低压铸造铸件缺陷及其防止办法	150
3.6 铝合金熔模铸造	151
3.6.1 铝合金熔模铸造过程特点	151

3.6.2 铝合金熔模铸造的模料及制模工艺	153
3.6.3 铸型材料及工艺	156
3.6.4 脱蜡及型壳焙烧	157
3.6.5 脱壳	158
3.6.6 铝合金熔模铸造常见缺陷及防止方法	158
参考文献	162
4 铝合金锻造	163
4.1 锻造的热力学参数	163
4.1.1 锻造温度范围	163
4.1.2 变形速度	164
4.1.3 变形程度	166
4.2 设备吨位选择	167
4.2.1 自由锻锤和自由锻压力机吨位计算	167
4.2.2 模锻锤和模锻压力机吨位计算	169
4.2.3 切边与冲孔压力机吨位计算	170
4.3 自由锻造	171
4.3.1 自由锻造基本工序	171
4.3.2 自由锻件图设计	177
4.3.3 自由锻造工艺规程的编制	178
4.4 模锻件与锻模设计	180
4.4.1 模锻件设计	180
4.4.2 锻模设计	206
4.5 切边模与冲孔模设计	220
4.5.1 切边模设计	220
4.5.2 冲孔模设计	226
4.5.3 冲孔模与切边模中的各种卸料装置	227
4.6 模锻工艺	228
4.6.1 备料	228
4.6.2 铝合金加热规范	229
4.6.3 锻模预热	230
4.6.4 锻模润滑	230
4.6.5 锻件的冷却与切边	230
4.6.6 锻件清理	231
4.7 锻件的质量控制	232
参考文献	233
5 铝合金的熔铸与挤压	234
5.1 铝合金的熔炼与铸锭	234
5.1.1 铝及铝合金的熔炼特点	234
5.1.2 铝及铝合金熔体净化处理	235

5.1.3 铝合金熔炼炉	242
5.1.4 熔炼工艺	246
5.1.5 铸锭的结晶和组织	246
5.1.6 铸锭方法	253
5.1.7 直接水冷半连续铸锭	259
5.2 铝材热挤压	271
5.2.1 挤压方法	271
5.2.2 挤压时金属的变形及挤压力计算	273
5.2.3 挤压制品的组织 and 性能	278
5.2.4 挤压工艺	280
5.2.5 挤压机	287
5.3 铝合金冷挤压	289
5.3.1 冷挤压力计算	289
5.3.2 冷挤压毛坯的准备	292
5.3.3 坯料的润滑处理	293
5.3.4 冷挤压制品的力学性能	293
5.3.5 冷挤压设备	294
参考文献	295
6 铝合金连接	296
6.1 铝及铝合金的焊接特性	296
6.1.1 铝及铝合金的焊接特点	296
6.1.2 铝及铝合金的焊接性	297
6.2 铝及铝合金焊接方法的选择	298
6.3 惰性气体保护电弧焊	300
6.3.1 焊接材料	300
6.3.2 接头设计与坡口加工	305
6.3.3 焊前准备	305
6.3.4 钨极惰性气体保护电弧焊(TIG 焊)	308
6.3.5 熔化极惰性气体保护电弧焊(MIG 焊)	310
6.4 气焊	313
6.4.1 填充焊丝及气焊熔剂	313
6.4.2 气焊接头设计	314
6.4.3 气焊工艺要点	314
6.5 电阻焊	315
6.5.1 焊接性	315
6.5.2 电阻焊接头设计	316
6.5.3 焊前的工件清理	316
6.5.4 点焊工艺要点	316
6.5.5 缝焊工艺要点	317

6.6 钎焊	318
6.6.1 钎焊性	318
6.6.2 钎焊接头设计及工件表面准备	319
6.6.3 钎料及钎剂	319
6.6.4 硬钎焊工艺要点	322
6.6.5 软钎焊工艺要点	323
6.7 铆接	324
6.7.1 铆接特点	324
6.7.2 铆钉种类	324
6.7.3 铆接接头设计	329
6.7.4 铆接工艺要点	331
6.8 粘接	332
6.8.1 胶粘剂	332
6.8.2 粘接接头设计	332
6.8.3 表面处理	333
6.8.4 粘接工艺要点	335
参考文献	335
7 铝合金热处理与性能	336
7.1 铝合金热处理原理	336
7.1.1 铝合金热处理特点	336
7.1.2 铝合金时效理论	336
7.1.3 影响时效的因素	338
7.1.4 铝合金的回归现象	339
7.1.5 固溶热处理与淬冷	339
7.2 变形铝合金的热处理	339
7.2.1 变形铝合金的退火	339
7.2.2 变形铝合金的淬火(铝合金固溶热处理)	344
7.2.3 变形铝合金的时效	345
7.3 铸造铝合金的热处理	349
7.3.1 铸造铝合金热处理的特点	349
7.3.2 铝合金铸件的退火	349
7.3.3 铸造铝合金的热处理工艺规范	350
7.4 变形铝合金常见的缺陷及消除方法	356
7.5 铝合金的性能	358
7.5.1 铝合金的物理性能	358
7.5.2 铝合金的力学性能	358
7.6 铝合金的主要特性和用途举例	387
参考文献	396
8 铝及铝合金的表面处理	397

8.1 表面调整及净化	397
8.1.1 除油	397
8.1.2 化学和电化学抛光	401
8.1.3 浸蚀	402
8.2 转化膜	404
8.2.1 化学氧化膜	404
8.2.2 磷酸盐处理(磷化膜)	407
8.2.3 铬酸盐处理(钝化膜)	408
8.2.4 阳极氧化	410
8.2.5 硫酸阳极氧化	413
8.2.6 草酸阳极氧化	417
8.2.7 铬酸阳极氧化	419
8.2.8 硬质阳极氧化	421
8.2.9 瓷质阳极氧化	423
8.3 铝氧化膜的着色与封闭处理	426
8.3.1 自然发色法	426
8.3.2 电解着色法	428
8.3.3 吸附染色法	431
8.3.4 封闭处理	436
8.4 氧化常见的故障、缺陷、原因及措施	438
8.4.1 硫酸阳极氧化故障原因及处理方法	438
8.4.2 草酸阳极氧化故障原因及处理方法	439
8.4.3 铬酸阳极氧化故障原因及处理方法	440
8.4.4 硫酸硬质阳极氧化故障原因及处理方法	440
8.4.5 电解着色缺陷及消除措施	441
8.4.6 吸附染色的故障及处理方法	441
8.4.7 不合格氧化膜的退除和返修	442
8.5 铝表面电镀	443
8.5.1 用途与难点	443
8.5.2 镀前预处理	444
8.6 涂装	452
8.6.1 静电喷粉	452
8.6.2 电泳涂漆	453
8.6.3 自动沉积(自泳)涂漆	455
参考文献	455
9 铝合金材料的理化检测	456
9.1 化学元素分析	456
9.1.1 原子吸收光谱分析	456
9.1.2 光电直读光谱分析	460

9.1.3 常规化学元素分析	463
9.2 铝合金的力学性能测试	468
9.2.1 铝合金的拉伸试验	468
9.2.2 铝合金的硬度试验	476
9.3 铝合金材料的低倍组织检验	487
9.3.1 低倍检验试样的制备	487
9.3.2 宏观晶粒度测定	488
9.3.3 常见铝合金低倍组织缺陷	490
9.4 铝合金的金相组织分析	496
9.4.1 铝合金金相试样的取样及制样	496
9.4.2 铝合金中的金相组织	499
9.4.3 铝合金工艺质量的金相检测	512
9.4.4 铝合金常见显微缺陷	522
参考文献	527
10 铝合金加工的应用实例	528
10.1 铸造铝合金应用实例	528
10.2 铝合金锻件应用实例	533
10.3 铝合金连接件应用实例	536
10.3.1 焊接件的应用实例	536
10.3.2 粘接件的应用实例	544

铝及铝合金基础知识

所有的有色金属及其合金与钢铁材料组成了国民经济所必须的全部金属材料。

铝及其合金是有色金属中用途较广的轻金属之一。它具有密度小、重量轻、比强度高、导电与导热性好且具有较好耐蚀性。随着近代机械制造工业如航空、航海、汽车工业的发展;石油化工、电信和原子能及空间技术等新型工业的崛起,铝合金的使用量在日益增加,因而在国民经济中占有重要的地位。

为了减轻结构重量,提高运载能力和速度,在航空、航海、高速列车等交通运输工业中大量采用密度小、强度高的铝合金制作构件,如飞机机身、机翼的蒙皮等。随着汽车速度的提高,设法改进其设计,减轻自重,故发动机的壳体、活塞、工作缸与主缸、轮毂等采用铝合金制造。摩托车与自行车行业也大量采用铝合金,如摩托车的减震器、上连板、起动杆、缸头,自行车的曲柄、链轮、轮毂等。铝合金在其他行业如印刷机械、电力与电器设备、离心机与铁路机具等都获得了极其广泛应用。

1.1 工业纯铝

1.1.1 纯铝的一般特性

铝是元素周期表中第三周期主族元素,具有面心立方点阵,无同素异构转变。

铝的密度为 2.72 g/cm^3 , 约为铁的 $1/3$, 故铝基合金的密度亦都比较小, 一般在 $2.5 \sim 2.88 \text{ g/cm}^3$ 之间; 但比强度高, 可与合金钢相比。

铝的熔点与其纯度有关, 并随铝的纯度的提高而升高, 当纯度为 99.996% 时, 熔点为 660.24°C 。

铝具有优良的导电性、导热性, 其导电性仅次于银和铜, 居第三位, 约为纯铜导电率的 62% , 为节约铜的用量, 目前在电器工业中大量用铝代替铜制作导线; 在电机制造业中, 用铝制作转子的导条, 甚至定子的绕组, 也可做电器、电子设备的散热片。

铝在大气中具有优良的抗蚀性。因为铝和氧的亲合力很大, 在室温中即能与空气中的氧化合, 表面生成一层薄而致密并与基体金属牢固结合的氧化膜, 阻止氧向金属内部扩散而起到保护作用。铝的这一特性给铝及其合金的生产工艺带来方便, 即在熔炼与铸造、锻造与热处理过程中, 无需采用特殊的防氧化措施。但在碱和盐的水溶液中, 铝的氧化膜很快被破坏, 抗蚀性不好。此外, 铝的氧化膜在热的稀硝酸、稀硫酸中也极易溶解。

铝及其合金也易进行阳极氧化处理, 表面形成一层坚固的、各种色彩的、美观的保护膜, 可起到装饰与保护作用。

大部分铝合金可热处理强化, 提高其强度和硬度等力学性能, 可满足不同用途的需要。

1.1.2 纯铝的性能

纯铝的性能包括物理性能和力学性能。

1.1.2.1 物理性能

物理性能如表 1-1 所示。物理性能包括原子序数、原子量、晶体结构、热学性能、电学性能及膨胀系数等。

表 1-1 纯铝的物理性能

性 能	高纯铝(99.996%)	工业纯铝(99.5%)
原子序数	13	—
原子量	26.981 5	—
晶格常数(20℃), $\times 10^{-10}\text{m}$	4.049 4	4.04
密度(20℃), kg/m^3	2 698	2 710
(700℃), kg/m^3	—	2 373
熔点,℃	660.24	约 650
沸点,℃	2 060	—
熔解热, $\text{J}/\text{kg} \times 10^5$	3.961	3.894
燃烧热, $\text{J}/\text{kg} \times 10^7$	3.094	3.108
凝固体积收缩率, %	—	6.6
比热容(100℃), $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	934.92	964.74
热导率(25℃), $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	235.2	222.6(O 状态)
线膨胀系数(20~100℃), $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$	24.58	23.5
(100~300℃), $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$	25.45	25.6
弹性模量, MPa	—	70 000
切变模量, MPa	—	2 625
音速, m/s	—	约 4 900
内摩擦, 1 kHz	—	约 $\times 10^{-3}$
电导率, S/m	64.94	59(O 状态)
	—	57(H 状态)
电阻率, $\mu\Omega \cdot \text{m}$ (20℃)	0.026 7(O 状态)	0.029 22(O 状态)
(20℃)	—	0.030 2(H 状态)
电阻温度系数, $\text{n}\Omega \cdot \text{m}/\text{K}$	0.1	0.1
体积磁化率, $\times 10^{-7}$	6.27	6.26
磁导率, H/m	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
反射率($\lambda = 2\,500 \times 10^{-10}\text{m}$), %	—	87
($\lambda = 5\,000 \times 10^{-10}\text{m}$), %	—	90
($\lambda = 20\,000 \times 10^{-10}\text{m}$), %	—	97
折射率(白光)	—	0.78~1.48
吸收率(白光)	—	2.85~3.92
辐射能(25℃, 大气中)	—	0.035~0.06

1.1.2.2 力学性能

工业纯铝的力学性能除与纯度有关外,还与材料的加工状态有关,不同状态的工业纯铝的力学性能如表 1-2 所示。由于铝的塑性很好,富有延展性,便于各种冷、热压力加工。它可以制成厚度为 0.000 638 mm 的铝箔和冷拔成极细的丝。纯铝的热加工温度为 400 ~ 500℃,冷加工时的中间退火温度为 350 ~ 500℃。

表 1-2 工业纯铝的力学性能

力 学 性 能	铸 态	压 力 加 工	
		退 火	未 退 火
抗拉强度 σ_b , MPa	90 ~ 120	80 ~ 110	150 ~ 250
弹性极限 σ_e , MPa	—	30 ~ 40	—
屈服极限 σ_s , MPa	—	50 ~ 80	120 ~ 240
延伸率 δ , %	11 ~ 25	32 ~ 40	4 ~ 8
断面收缩率 ψ , %	—	70 ~ 90	50 ~ 60
布氏硬度, HBS 10/500	24 ~ 32	15 ~ 25	40 ~ 55
冲击韧度 α_k , J/cm ²	340	—	—
抗剪强度 σ_τ , MPa	42	60	100
弯曲疲劳强度 σ_{bb} , MPa	—	50	40

1.1.3 纯铝的牌号及化学成分

变形纯铝的牌号及化学成分按 GB/T3190 - 1996 规定(基本与国际接轨),牌号命名的基本原则是:国际四位数字体系牌号可直接引用;未命名为国际四位数字体系牌号的变形纯铝,采用四位字符牌号(试验纯铝在四位字符牌号前 X)。四位字符牌号的第一、第三、第四位为阿拉伯数字,第二位为英文大写字母“A”。纯铝编号系统的第一位为“1”,例如 1XXX 或 1AXX;最后两位数字表示纯铝的纯度。新旧牌号的纯铝及化学成分如表 1-3。

表 1-3 纯铝的牌号与化学成分

序号	牌 号	化 学 成 分, %											原 牌 号		
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	其 他			
												单 个		合 计	
1	1A99	0.003	0.003	0.005	—	—	—	—	—	—	—	0.002	—	99.99	LG5
2	1A97	0.015	0.015	0.005	—	—	—	—	—	—	—	0.005	—	99.97	LG4
3	1A95	0.030	0.030	0.010	—	—	—	—	—	—	—	0.005	—	99.95	—
4	1A93	0.040	0.040	0.010	—	—	—	—	—	—	—	0.007	—	99.93	LG3
5	1A90	0.060	0.060	0.010	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	99.90	LG2
6	1A85	0.08	0.10	0.01	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	99.85	LG1
7	1A80	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	—	—	0.03	Ca:0.03; V:0.05	0.03	0.02	—	99.80	—
8	1A80A	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	—	—	0.06	Ca:0.03	0.02	0.02	—	99.80	—
9	1070	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	—	—	0.04	V:0.05	0.03	0.03	—	99.70	—
10	1070A	0.20	0.25	0.03	0.03	0.03	—	—	0.07	—	0.03	0.03	—	99.70	L1
11	1370	0.10	0.25	0.02	0.01	0.02	0.01	—	0.04	Ca:0.03; V + Ti:0.02 B:0.02	—	0.02	0.10	99.70	—
12	1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	—	—	0.05	V:0.05	0.03	0.03	—	99.60	L2
13	1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	—	—	0.05	V:0.05	0.03	0.03	—	99.50	—
14	1050A	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	—	—	0.07	—	0.05	0.03	—	99.50	L3
15	1A50	0.30	0.30	0.01	0.05	0.05	—	—	0.03	Fe + Si:0.45	—	0.03	—	99.50	LB2
16	1350	0.10	0.40	0.05	0.01	—	0.01	—	0.05	Ca:0.03; B:0.05 V + Ti:0.02	—	0.03	0.10	99.50	—
17	1145	Si + Fe:0.55		0.05	0.05	0.05	—	—	0.05	V:0.05	0.03	0.03	—	99.45	—
18	1035	0.35	0.6	0.10	0.05	0.05	—	—	0.10	V:0.05	0.03	0.03	—	99.35	L4
19	1A30	0.10 ~ 0.20	0.15 ~ 0.30	0.05	0.01	0.01	—	0.01	0.02	—	0.02	0.03	—	99.30	L4-1
20	1100	Si + Fe:0.95		0.05 ~ 0.20	0.05	—	—	—	0.10	(1)	—	0.05	0.15	99.00	L5-1
21	1200	Si + Fe:1.00		0.05	0.05	—	—	—	0.10	—	0.05	0.05	0.15	99.00	L5
22	1235	Si + Fe:0.65		0.05	0.05	0.05	—	—	0.10	V:0.05	0.06	0.03	—	99.35	—

注: (1) 用于焊条和焊丝、焊带时, 钒含量不大于 0.0008%。

表 1-4 列出了常用的一些力学、热学及物理的符号及含义,并列出了某些单位的换算公式及对应的数值。表 1-5 为铝及铝合金的膨胀与收缩率计算式。表中 L_0 为 0℃时

表 1-4 铝及铝合金的性能符号及含义

名 称	符 号	单 位	含 义	备 注
比例极限	σ_p	MPa	材料在拉伸过程中,应力与应变保持正比关系的最大应力。这个阶段的最大极限负荷 P_p 除以试棒的原始横截面积,即为比例极限	$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.806 65 \text{ MPa}$ $1 \text{ MPa} = 0.101 97 \text{ kgf/mm}^2$ 英制: PSI: lb/in^2 $\text{KPSI} = 1 000 \text{ PSI}$ $= 6.896 \text{ MPa}$
弹性极限	σ_e	MPa	材料在受载过程中,未产生塑性变形的最大应力	
拉 伸 弹性模量	E	GPa	试样承受拉伸载荷时,在弹性范围内,应力与应变成正比例关系时,这个比例系数为拉伸弹性模量	$1 \text{ kgf/mm}^2 = 0.009 806 7 \text{ GPa}$ $1 \text{ GPa} = 101.971 62 \text{ kgf/mm}^2$
剪 切 弹性模量	G	GPa	金属在弹性范围内进行扭转试验时,外力和变形成比例地增长,即应力与应变成正比例关系时,这个比例系数称为剪切弹性模量	
屈服强度 (条件屈服强度)	$\sigma_{0.2}$	MPa	在拉伸过程中,一般规定标距长度部分塑性变形量达到的原标距长度的规定数值时之负荷除以原始横截面积所得的应力,称为屈服强度或条件屈服强度。一般规定数值为拉伸试样原标距长度的 0.2%,即用 $\sigma_{0.2}$ 表示	
压缩屈服 强度(条件 屈服强度)	$\sigma_{-0.2}$	MPa	试样在压缩过程中,标距部分残余压缩达到原标距长度规定数值时的负荷除以原始横截面积所得的应力称为压缩屈服强度或条件压缩屈服强度。一般规定数值为压缩试样原标距长度的 0.2%,由于受力方向与拉伸相反,故压缩屈服强度常用 $\sigma_{-0.2}$ 表示	
抗剪强度	τ	MPa	试样剪切时,在剪断面上所承受的最大负荷除以原始横截面积所得的应力,称为抗剪强度。表示材料在剪切力作用下抵抗破坏的最大能力	
抗拉强度	σ_b	MPa	在单向均匀拉伸载荷作用下,断裂时材料的最大负荷除以原始横截面积所得的应力	
疲劳极限	σ_{-1}	MPa	材料在重复交变应力作用下,承受过无限次循环而不产生断裂的最大应力值	