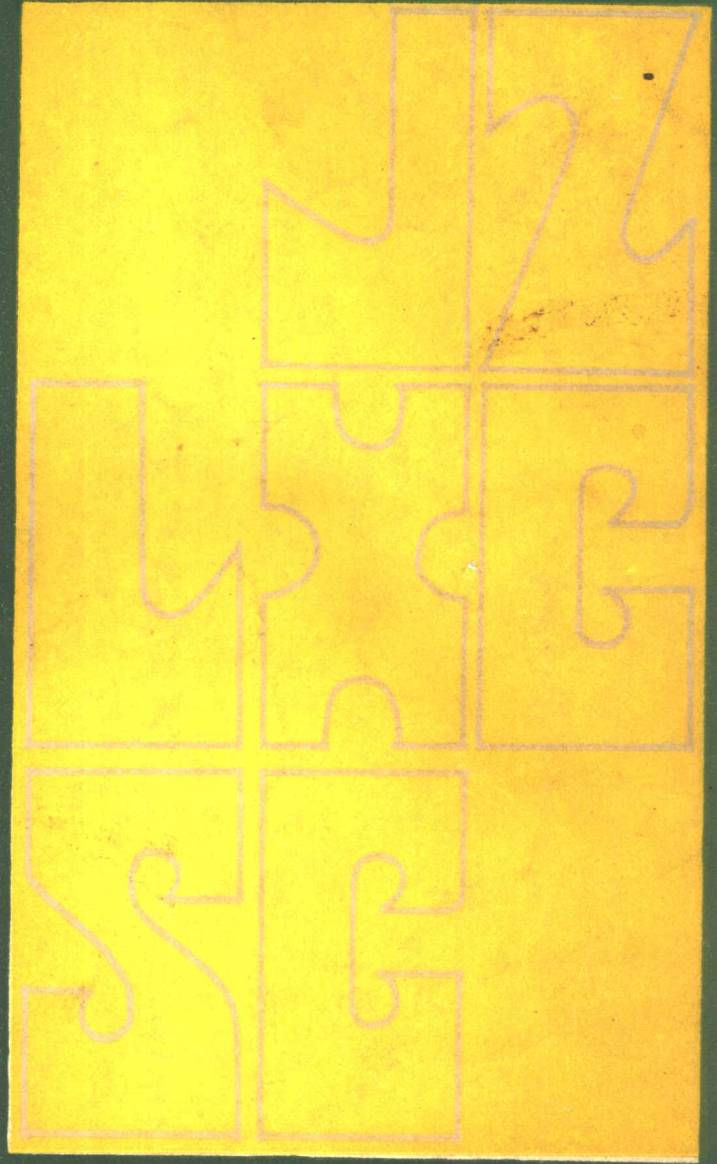


主编：许其亮
主审：马怀宪
编写：史文华
马宏声
陈自军 等



上册

建筑铝型材 生产

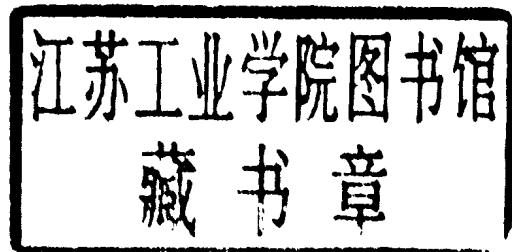
盟

西安冶金建筑学院

建筑铝型材生产

上册

主编 许其亮 主审 马怀宪



西安冶金建筑学院

前 言

近年来，建筑铝型材的应用日益广泛，其产量已占铝加工材的相当大比例。大批专业性的铝型材加工企业，正不断地涌现。优质、高产、低消耗和对新设备、新技术、新工艺的消化吸收、开发等，已成为本专业人员当务之急。但国内在这一技术领域的专著十分匮乏，尤其以建筑铝型材生产系统编写的著作更难觅先例。为此，我们组织编写了本书。书中有针对性地对建筑铝型材生产的全过程进行了阐述和探讨，除写入有一定应用价值的基础理论知识之外，还尽量选列各主要生产工序的实用技术数据，并对国内外的先进技术作重点的介绍，以期对从事这一专业生产的各层次人员有较大的裨益。本书也可作为大、专院校有关专业师生和研究设计部门工程技术人员参考。

全书分上、下册。上册由第一、二、三篇组成。第一篇建筑用铝合金及其热处理由西安冶金建筑学院史文华副教授编写，第二篇熔炼与铸锭由东北工学院马宏声副教授和孝云祯老师编写，第三篇由西安冶金建筑学院马怀宪副教授编写。下册由第四、五篇组成。第四篇挤压模具由西安冶金建筑学院陈自军老师编写，第五篇铝合金氧化与着色由西安冶金建筑学院许其亮副教授编写。全书由许其亮担任主编，马怀宪担任主审工作。

本书在编写和出版过程中，承西安冶金建筑学院郎锡君、吴琼老师，东北轻合金加工厂王祝堂同志，西南铝加工厂于静兰同志，西北铝加工厂孙兴信、张宏辉同志等的协助和支持，在此一并致谢！

限于水平、时间和出版条件，本书疏漏谬错之处在所难免，选材也未尽适宜，欢迎读者提出宝贵的批评意见。

编 者

一九八九年七月于西安

目 录

第一篇 建筑用铝和铝合金及其热处理

第一章 概述	1
第一节 铝合金在建筑业上的应用	2
第二节 建筑铝型材用的铝合金系	4
第三节 各种铝合金型材的生产工艺流程	5
第二章 铝及铝的合金化理论	7
第一节 变形铝合金的分类及代号	8
第二节 纯铝	9
第三节 铝的合金化理论	16
第三章 铝合金的热处理	22
第一节 概述	22
第二节 铸锭的组织均匀化	25
第三节 铝合金的退火	34
第四节 淬火和时效	47
第五节 铝合金的回归处理	75
第四章 铝—镁—硅系及铝—镁—硅—铜系合金	77
第一节 合金的一般特性	77
第二节 铝—镁—硅（—铜）系合金的组织 and 性能	79
第三节 铝—镁—硅（—铜）系合金的冶金特点	83
第四节 铝—镁—硅（—铜）系合金的固溶及脱溶处理	85
第五章 耐蚀防锈铝合金	91
第一节 铝—锰系合金	91
第二节 铝—镁系合金	95
第六章 高强铝合金	103
第一节 铝—铜—镁—锰系合金	103
第二节 铝—锌—镁—铜系合金	109
第三节 铝—锌—镁系合金	116
附表1 部分铝及铝合金加工产品化学成分与相应国外牌号对照	118
附表2 中国部分变形铝及铝合金热处理状态及代号	120
参考文献	121

第二篇 熔炼与铸锭

第一章 熔炼和铸锭的主要任务和要求	1 2 3
第二章 铝合金熔炼的基本原理	1 2 4
第一节 熔炼过程中热的转移(能量的传递)	1 2 4
第二节 合金元素的溶解与蒸发(物质的传递)	1 2 6
第三节 金属与炉气的作用	1 2 8
第四节 铝熔体与炉衬的作用	1 3 2
第五节 熔炼过程熔体的保护	1 3 4
第三章 铝合金中的气体	1 3 5
第一节 气体在铝中的存在形式及来源	1 3 5
第二节 铝熔体的吸气过程	1 3 7
第三节 气体的溶解度及影响因素	1 3 9
第四节 气眼、气孔的形成	1 4 3
第五节 气体的测量方法	1 4 8
第四章 铝合金中的非金属夹杂	1 5 1
第一节 夹杂的种类及形态	1 5 1
第二节 非金属夹杂物的检查方法	1 5 3
第五章 铝合金熔体净化	1 5 4
第一节 熔体净化目的和要求	1 5 4
第二节 熔体净化原理	1 5 4
第三节 炉内处理(Batch处理)	1 5 8
第四节 炉外连续处理(In-Line处理)	1 6 4
第六章 铝合金熔炼工艺	1 6 8
第一节 合金炉料组成及配比	1 6 8
第二节 熔体的化学成分控制	1 7 2
第三节 熔炼工艺及操作要点	1 7 9
第七章 铝合金熔炼设备	1 8 4
第一节 铝合金熔炼炉的基本要求	1 8 4
第二节 铝合金熔炼炉的种类及用途	1 8 4
第三节 几种常用炉型的结构及主要技术参数	1 8 6
第八章 铝合金铸锭形成理论基础	1 9 4
第一节 液态金属的凝固过程	1 9 4

第二节	纯金属的凝固	195
第三节	单相合金的凝固	200
第四节	熔体流动对凝固过程的影响	213
第九章	铝合金铸锭组织及其控制	217
第一节	铸锭典型的宏观组织	217
第二节	铸态组织对铸锭性能的影响	220
第三节	晶粒粗大	221
第四节	羽毛状晶	228
第五节	浮游晶	225
第六节	枞树组织	228
第七节	铝合金中粗大的金属间化合物	229
第八节	铸锭组织的控制途径	230
第九节	细化处理	231
第十章	铸锭成型方法及设备	238
第一节	半连续铸锭	238
第二节	水平连续铸锭	244
第三节	半连续铸锭的新技术	247
第十一章	铸锭缺陷	256
第一节	偏析	256
第二节	疏松	258
第三节	裂纹	260
第四节	冷隔	264
参考文献		265

第三篇 挤压原理与工艺

第一章	概述	267
第一节	挤压的基本方法	267
第二节	挤压法的优缺点	268
第三节	挤压生产的发展与现状	270
第二章	挤压时的金属流动	272
第一节	挤压的三个阶段	272
第二节	反向挤压时的金属流动	281

第三节	各种因素对金属流动的影响	282
第三章	挤压力	287
第一节	挤压力实测	287
第二节	影响挤压力的因素	289
第三节	确定挤压力的解析方法	292
第四节	挤压力公式中参数的确定	303
第五节	其他挤压力计算公式	314
第四章	挤压时的温度场	318
第一节	锭坯及工具中的温度	318
第二节	金属温度的调节	324
第五章	挤压制品的质量及其控制	328
第一节	挤压制品的尺寸与形状精度	328
第二节	挤压制品的表面质量	336
第三节	挤压制品的内部缺陷和皮下缺陷及组织、性能的不均一性	345
第六章	挤压工艺	360
第一节	金属的可挤压性	360
第二节	挤压的温度条件	368
第三节	挤压的速度条件	370
第四节	锭坯的选择	374
第五节	挤压时的润滑	376
第六节	挤压制品的热处理	378
第七节	建筑铝型材生产工艺	382
第七章	挤压设备	395
第一节	挤压机的类型及其结构	395
第二节	挤压机的主要部件及辅助机构	400
参考文献		408

第一篇 建筑用铝和铝合金及其热处理

史文华

第一章 概述

铝是属于工业用最年轻金属之一。在本世纪初才开始有一定规模的生产。早在1925年,已能用钾还原制得铝,但价格昂贵,生产困难,没有得到广泛的重视。1855年,巴黎展览会上展出了第一批铝棒,使很多人开始认识这种材料。1859年,法国记载其铝产量为1.7吨。但因生产技术没有新的突破,产量增长慢。直到1886年霍尔和赫罗特发明了从氧化铝还原铝的贝尔法出现之后,铝的生产成本才开始下降,在美国、瑞士和英国便开始建立起了电解还原厂。

由于铝有一系列优异特性,以及电力工业的发展,铝的发展之快是警人的,在1940年世界铝产量还不到100万吨,只经短短的三十年至1970年世界铝产量即超过了1000万吨,到1980年已超过了1650万吨,1985年总产量达到1693万吨。预计到1990年铝消费量将达到2500万吨。世界原铝产量的增长情况见表1-1-1。

表1-1-1 世界原铝产量

年代	1960	1970	1980	1985	1986*	1987*
产量(万吨)	361.76	805.5	1330.3	1693	1222.0	1284.1

注:带“*”号是西方34国家统计值,不包括东方集团国家。

世界铝产量和消费量最大的国家是美国和苏联。近几年,世界几个大国的铝产量及消费量见表1-1-2。

铝材的工业应用大约始于十九世纪末二十世纪初。1895年制成第一艘铝船,1901年铝薄板第一次用于制造汽车车身。于1803年铝材第一次用于飞机。第二次世界大战期间,铝材消费量急剧增加,1940年世界产量为90.7万吨,1944年增加到210万吨。此后军事用铝有所减少,但又发展了一些新的用铝产品,建筑业的用铝也应运而生,并且发展非常迅速。目前铝材已成为近代建筑业上的一种不可缺少的新兴建筑材料。铝材在建筑业上的用量已占铝用量的第二位,在工业发达国家中,铝材在建筑业上的消费量为26~30%,预计1900年,

建筑业上的用铝量可能达到700万吨以上。

表1-1-2 几个大国的铝产量和消费量 (单位:万吨)

年代	美国		日本		苏联		中国*	
	生产量	消费量	生产量	消费量	生产量	消费量	生产量	消费量
1980年	465.4		109.2		240.0		35.0	
1986年	303.8	431.7	13.9	180.5			55.0	93.0
1987年	334.6	454.1	3.9	196.0			58.0	100.0
1988年	394.1	460.2	3.6	192.3				

*: 数据来自《经济情报》(有色金属)1988.5.18.

第一节 铝合金在建筑业上的应用

铝合金半成品在现代建筑业中,得到了广泛的应用。如可制造房屋的盖、墙的围护包壳、天蓬吊顶、窗框、门框、门、檐槽、隔热层、防潮层、活动房屋等等。其中铝型材主要用于制造门、窗框,还用于公路、铁路桥梁的跨式结构,大型船舶通行江河的可分开式桥梁,立交桥和人行天桥,建筑施工脚手架等。

早在100多年前,铝及铝合金材料已被广泛应用于建筑业上。如1896年建加拿大蒙特利尔市人寿保险大厦时就装有铝制飞檐。1897年和1903年罗马两座文化设施采用铝屋顶,经历六、七十年代后观察,这些设施上的铝屋顶仍处于良好的工作状态。

建筑上使用铝材可大大减轻构件重量,虽然成本比钢结构高,但只要采取一定措施精心设计,成本可大幅度下降。如巴黎体育馆的铝制圆屋顶,直径为61米,采用空间多面体结构,其表面是铝板弯成的防护预制件做成的,用杆式支架承蒙盖,并利用管状支柱等组成刚性结构,保证了整个顶盖不变形,这种圆顶的铝结构重量只是钢结构的十九分之一。

建筑围护结构中线结构件有窗、门、隔墙、护墙及天花板的框架,所使用的是铝挤压型材,它的主要特点是具有各种凸缘、筋和加厚部分。挤出的型材尺寸与断面形状与现场使用的非常接近,可以满足设计要求和最大限度地减少冷加工量;且具有和其它建筑结构组装的可能性,同时不降低结构建筑艺术的表现力。

各种建筑物门面的面结构件有屋面板,天花板、各种类型的隔墙,防太阳装置等。主要采用铝薄板,一般为平板,为了提高平板的承载能力及摩擦力,也可采用波纹板及压痕板等。

建筑上用铝材往往与其它材料混合使用。如为解决密封性能，常以有机合成材料及橡胶之类作成密封圈接合使用；与木材塑料组合提高保温性能，如与钢材结合可大大提高构件的刚度。此外，为装饰，采光等目的与彩色玻璃组装成各种构件。在承重的框架结构中，经常采用钢制立柱与铝制梁的组合结构，这类结构克服了铝的弹性模量低的缺点。

以铝为承重结构者，与钢的承重结构相比，为数很小，因为铝比钢贵得多，但在一些特定条件下，还可以考虑铝结构。如在土质较疏松的区域建造高层建筑，往往采用铝材等轻型材料做承重结构件，这样可以大大减轻建筑物的自重，减少了建筑物对地基的压力，基础的负载可明显的降低，这种轻型结构还保持了建筑物的稳定性。在腐蚀气氛很浓的环境中及高地震区，也常用铝材做承重构件，增加了安全因子。还有在边远和交通十分困难的地区，运输建筑材料的经费占整个建筑设施成本的比例很大时，也应考虑以铝代钢及其它建筑材料。综上所述，以铝材作为承重结构要从安全性和技术经济的合理性综合考虑。

铝作为房屋承重构件的，主要是做桁架、框架、起拱、屋顶等。如伦敦处于海洋性气候，再加上工业污染的影响，钢结构因腐蚀而导致很快损坏，故其63.3米的大跨度铁路建筑就采用铝桁架。为保证铝桁架的抗压刚度，在选材的厚度及格栅的密度方面均进行加强。这方面苏联做了大量的工作，主要研究了铝桁架的挠度特性；设计中的一系列问题及预应力铝桁架的实验和应用等。

铝制拱形屋顶可用于多种形式和不同规格的轻型屋顶。如匈牙利提索河南部某城，建造一座跨度为32米，占地面积达128.4×3米的粉状硫酸盐仓库时，采用了格式承重铝拱形顶结构，其中心最高处为21.3米。此外，铝屋顶用得非常广泛，如苏联某些城市的室内游泳池就采用网格式，格内镶嵌透明塑料的圆屋顶结构，美国的温室和植物园也有不少用圆屋顶的铝的结构。

在起重设备上以铝代钢发展很快，其目的是：降低起重设备的重量及对动支承件的压力，减少电能消耗和机械功，缩短起重设备的机动性和延长使用寿命。如塔式起重机由于臂的自重减轻，可显著增加起重荷载和臂的伸距，扩大起重范围，尤其是建筑工地上的起重设备，起吊频繁，这就更显示出因减轻自重而带来的经济效益。且设备自重降低，起重能力增高，设备成本不一定比钢制的高。

在桥梁结构中也有不少以铝代钢，这样可减轻自重和延长寿命，此工作早在本世纪的三十年代即已开始，现已扩大到人行桥，汽车桥即使铁路桥也有部分采用铝混凝土结构。如联邦德国的吕嫩，在1956年建成复杆主桁架桥，用铝—镁—硅系合金型材铆接成的跨度结构件，其重量只有钢结构的百分之三十。同年，加拿大在塞根河上所建的拱式桥，跨度为5×6.52米+88.5米+5×6.52米。桥的主跨用LY12合金制造，桥没有涂漆，共用铝187吨，是钢结构的百分之五十。1958年美国的德梅因用铝合金为主梁建成了焊接公路高架桥，用铝结构与混凝土一起组成通行部分。

用铝和铝合金型材作架线杆和塔架的例子也很多。如美国、加拿大和苏联均用得较多，就美国凯撒铝公司在1961年至1963年间，在线路上就已架设了

1500个铝制架线塔，苏联在70年代于高加索建成输送380千伏的铝架线塔线路。铝塔与钢塔相比有结构重量轻，运输费用低，甚至可用直升飞机直接整体吊运，提高效率、简化安装，这对于在交通不便及边远地区使用的优越性更显著。

因铝的耐蚀性好，无低温脆性，对含硫的石油，液态氧、氮、高浓度硝酸、液态甲烷和浓醋酸等贮存器也有用铝制造的，又因铝无毒，还可用来造粮仓，水池等建筑物。

属于建筑面结构材料用铝也很多，一般多用0.7~1.0毫米的平铝板或波纹铝板，在此不作详细介绍。

表1-1-3列出世界一些国家，在七十年代初到八十年代初的十年间，铝在建筑业上的消费量，可见其增长速度之迅速。其中美国因出现成本较低的涂料钢板和塑料，使得建筑铝材的消费量增长较慢，但其消费铝材的绝对量仍居世界首位。

表1-1-3 世界一些国家铝在建筑业的消费量(单位：千吨)

国家名称	1970年	1980年	每年平均增长率，%
美国	1006.4	1183.9	1.6
日本	297.9	731.2	9.4
西德	112.2	191.4	5.5
法国	33.4	67.5	7.3
英国	35.0	63.0	5.8
意大利	53.0	164.0	12.0
西班牙	18.3	65.0	13.5

我国在建筑业上应用铝材较晚，在六十年代后期才开始使用铝合金波纹板。如1968年投产的西北铝加工厂挤压车间3万平方米的厂房屋顶盖，就是用铝波纹板制成的。1980年以后随着对外开放，对内搞活经济方针的贯彻和执行，我国大城市的高层建筑、旅游胜地、高级宾馆的门、窗、商店柜台、铝窗帘、室外装饰、铝卷闸门、活动售货亭等，大量使用铝材，尤其铝合金型材的生产更是突飞猛进。据统计，1978年我国铝型材生产量为0.47万吨，1983年为1.5万吨，1985年为5.2万吨，1986年约6.5万吨。1978至1985年间的年平均增长率达41%，显而易见，增长速度之快是国内外铝加工史上前所未有的。

第二节 建筑铝型材用的铝合金系

建筑用铝型材，要求合金材料具有高的工艺性能，连接性能（焊接、铆接和栓接）。和好的抗腐蚀性能，此外，对装饰性铝结构材料，还要求具有良好的抛光性、

(化学或电化学抛光)阳极氧化着色和涂漆性能。对承重铝材料,还要求有足够的强度和韧性等。因此,所用的铝合金比较广泛,差不多涉及所有已知的各个铝合金系。目前,使用最多的是铝-镁-硅系,除此之外,还有铝-镁系;铝-锰系;铝-铜-镁-锰系;铝-镁-硅-铜系;铝-锌-镁-铜系和铝-锌-镁系等。常见合金的牌号、状态及使用的情况见表1-1-4。

表1-1-4 建筑用铝合金牌号、状态及用途

合金牌号	状态	强度	耐腐蚀性	建筑结构类型
L4, L6	M	低	高	围护设施; 卷帘门; 窗; 装饰设施
LF21, LF2	M M	中	高	围护设施; 水池、塔的内贴面; 屋面板
LF5 LF6	M M	高	高	半承重结构或承重结构
LD2	CZ	中	高	半承重结构
LD2	CS	高	中	半承重结构或承重结构
LD10	CS	高	中	承重结构
LD30 LD31	CS CS	中	高	作线结构, 如门、窗框及门扇、窗扇
LC4 LC10	CS CZ	高	中	承重结构, 如屋顶拱形结构、架线杆和塔架等
LY11	CZ	中	中	半承重结构
LY12	CZ	高	中	承重结构, 如桥梁、大跨度屋顶结构

第三节 各种铝合金型材的生产工艺流程

建筑铝型材的生产工艺流程、随合金和用途的不同,可分为三种基本的生产流程:

1. 热处理不强化合金

这一类型的合金有L4、LF21、LF2、LF5、LF6等。它们通过挤压后再进行必要的退火处理,其主要工艺流程如下:

熔铸→加热→挤压→矫直→切定尺→退火→表面处理→包装→
入库。

2. 淬火冷却敏感性较低的热处理强化合金

这一类型的合金主要有铝-镁-硅系合金，具有代表性的是建筑型材常用的LD₃₁合金，它们经常是利用其淬火敏感性、在挤压机上用空气或喷雾冷却实现淬火的过程，其主要工艺流程如下：

熔铸→加热→挤压→淬火→矫直→切定尺→人工时效→表面处
理→包装→入库。

3. 一般的热处理强化合金

除淬火敏感性低的铝-镁-硅系外，其余热处理强化型合金都属这一类，它们不能在挤压机上淬火，而必须在挤压后再装入专门的淬火炉中加热淬火。如Ly₁₁、Ly₁₂、LC₄、LC₁₀等合金。其主要工艺流程如下

熔铸→加热→挤压→切断→淬火→矫直→切定尺→时效→表
面处理→包装→入库。

第二章 铝及铝的合金化理论

铝属于有色金属，其比重为2.7左右，只有铁的34.3%；铜的30.0%。而铝合金的比重则根据所加入元素不同，其比重在2.6至2.85之间。纯铝的强度并不高，退火状态的工业纯铝，其强度极限在80兆帕左右，冷作硬化后提高到150兆帕。但铝经合金化之后，其强度极限可大幅度提高，如铝-锌-镁-铜系的LC6合金热处理后，强度极限可达706兆帕。由于铝合金的质轻而强度高，故其比强度在所有的金属和合金中，几乎名列前茅，它与强度最高之一的弹簧钢（1862兆帕）相比，其比强度仍胜一筹，而合金结构钢的比强度仅为超高强铝合金的6.0~7.0%。因此，很多要求重量轻而强度高的结构件，已逐渐用铝合金代替结构钢，大有以铝代钢之势。

铝的导电、导热性仅次于银、铜、金，其电阻系数及导热系数见表1-2-1，其中银、金均为贵金属，不可能在一般工业上广泛的使用，与铜、铁相比，其比重不到它们的三分之一，因此，如以同样数量的输电线路相比较，铝的输电能力远远超过铜和钢，所以在输电工业方面也早已提出以铝代铜。至于日用炊事器皿方面，铜早已被铝所代替。

表 1-2-1

几种金属的导电导热性能

物理性能 \ 金属	银	金	铜	铝	铁
电阻系数, 10^{-6} 欧姆·厘米	1.50	2.065	1.67~1.68	2.655	9.70
导热系数, 卡/厘米·秒·℃	1.00	0.710	0.94	0.530	0.18
比重, 2.0℃时	10.49	19.320	8.96	2.698	7.87

铝在室温很容易形成一层致密的氧化膜 (Al_2O_3)，厚度为 5×10^{-6} 至 10×10^{-6} 毫米， Al_2O_3 的比重为 2.82~3.92，远远大于纯铝，这就说明三氧化二铝薄膜比基体铝致密。随着存放铝的环境温度提高，氧化膜厚度也增加，到熔点温度时，氧化膜厚度可达 200×10^{-6} 毫米，比室温增厚 20 至 40 倍。铝氧化膜还有“自疗”作用，保证存放使用过程氧化膜的连续性。铝在海水、浓硝酸、硝酸盐，汽油及各种有机物中有足够高的耐蚀性。如：当硝酸浓度达 80% 时，铝的耐蚀性高于铬镍不锈钢。

铝是面心立方晶系的金属，塑性很好，铝及铝合金可通过冷热压力加工生产各种形状复杂的半成品。

铝及其合金可进行阳极氧化着色，得到各种色泽的表面，增加了建筑物的装饰性，同时又提高了耐腐蚀性，此外还可进行各种涂饰，得到即美观又耐蚀的外表。由于以上特性，促使它在建筑业上很快被广泛使用。

铝对光的反射率高，如光亮铝箔对白色光的反射率达91%。又如1965年初发射的大型绿色女神(ECHO) I号人造卫星，外壳是用涂塑铝箔包覆，外表呈绿色，内表面是黑色，这样卫星内部温度即使在运行中直接受太阳辐照，也能保持稳定。

铝及其合金在空气中易形成氧化膜，所以一般焊接都应在保护气氛下进行。

铝及其合金在切削时易粘刀，切削后的表面光洁度较差。

由于铝及其合金具有很多优异的特性，而且在地壳中的蕴藏量很大，约占地壳重量的8.13%，是铁的蕴藏量的一倍多，它比其它有色金属蕴藏量的总和还要多。目前，铝的产量仅次于钢铁，而居所有有色金属之首。铝及铝合金除了在建筑上获得广泛应用之外，还大量用于包装和容器方面，在国外，这方面的用铝量已占铝材消费量的首位。此外，铝材还是一种节能材料，如交通运输装置大量采用铝材之后，可以明显减轻重量，相应可以节省能源的消耗，建筑门窗改用铝材之后，提高了密封和隔热性能，从而减少室内热量的损失率等。由此可见，铝及铝合金是一种应用十分广泛，而且很有发展前途的金属材料。

第一节 变形铝合金的分类及代号

一、分类

变形铝合金的分类方法很多，如按合金的特性分有防锈铝，硬铝，超硬铝、锻铝及特殊铝等等。按合金状态图及热处理特点分，可见图1-2-1。在

区间I的合金为不可热处理强化合金，如防锈铝，特殊铝等。处于区间II的合金为可热处理强化铝合金，如硬铝，超硬铝，锻铝及部分特殊铝等。如按合金系可分为铝-锰系；铝-镁系；铝-铜-镁(-锰)系；铝-镁-硅(-铜)系；铝-锌-镁-铜系；铝-铜-镁系；铝-铜-镁-铁-镍系及铝-铜-锂系等。在建筑业上用得最多的是铝-镁-硅(-铜)系，其次是铝-镁系；铝-铜-镁(-锰)系、铝-锰系和铝-锌-镁-铜系等等。

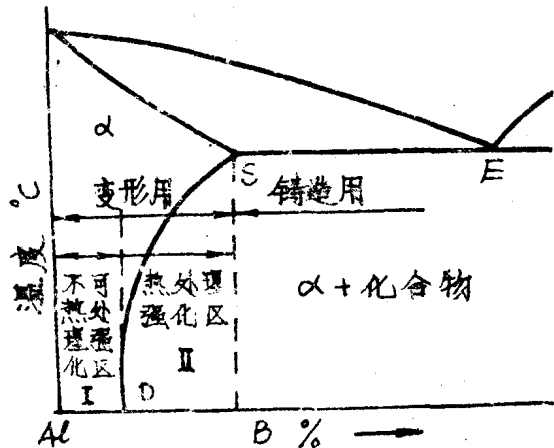


图1-2-1 铝合金按状态图分类

二、纯铝及其合金代号

铝及铝合金代号是按合金特性的拼音字母字头，再加序数字组成。如纯铝是用 $Lü$ 的字头 L 加序数字（纯度由高至低，序数字由小到大），如含铝量为 99.7% 的工业纯铝，其牌号为 L_1 。防锈铝合金包括二个系列合金，其代号是用 $Lü$ 和 $Féng$ 的字头 LF 再加序数字，如 LF_{21} 合金表示锰含量为 1.0~1.6% 的铝锰合金，而 LF_2 合金则表示含镁量为 2.0~2.8% 的铝镁合金。其它如锻铝、硬铝、超硬铝及特殊铝的牌号，均按此原则进行编排。部分合金牌号与成分以及几个主要国家的铝合金牌号对照见附表 1。附表 2 是我国部分变形铝及铝合金热处理状态及代号。

第二节 纯铝

纯铝根据纯度不同可分三类，共十三个牌号，其中高纯铝有 Lo_4 (99.997% Al)， Lo_3 (99.99% Al)， Lo_2 (99.96% Al) 及 Lo_1 (99.93% Al)，工业高纯铝有 Lo (99.9% Al)， Lo_0 (99.85% Al)，工业纯铝有 L_1 (99.7% Al)...， L_7 (98.0% Al) 等。由于纯度不同，它们的理化性能也相差很大。当铝的纯度低时，耐腐蚀性明显下降，如在室温下将不同纯度的铝投于 6% KOH 溶液中，在其它条件相同的情况下，腐蚀量相差很大，见表 1-2-2。不同铝的晶格常数、熔点、密度，电阻系数及对光的反射率均有差别，分别见表 1-2-3，1-2-4，1-2-5，1-2-6，1-2-7。

表 1-2-2 铝的耐蚀情况

铝纯度 \ 试验内容	重量损失, (克/米 ² ·小时)	腐蚀深度, (毫米/年)
99.9	8.2	26.7
99.5	14.83	48.0
99.0	24.58	52.7

表 1-2-3 高纯铝的晶格常数

铝的纯度, %	99.9998	99.9945	99.99
晶格常数, 埃	4.04958±0.000025	4.04947±0.00004	4.0491

注：试验温度为 25℃。

表 1-2-4 不同温度铝的熔点

铝纯度, %	99.2	99.5	99.6	99.97	99.996
熔点, °C	657	658	658.7	659.8	660.24

表 1-2-5 不同纯度铝的密度

铝纯度, %	99.25	99.4	99.75	99.971	99.996
密度 千克/升	2.727	2.706	2.703	2.699	2.6989

注: 退火状态铝, 试验温度 20 °C。

表 1-2-6 不同纯度铝的电阻系数

铝纯度, %	试验温度, °C	电阻系数, 10^{-3} 欧姆·毫米/米
99.500	0	25.3
99.950	0	24.5
99.971	20	26.69
99.996	20	26.548

表 1-2-7 不同纯度铝对白色光的反射率

铝的纯度, %	99.99	99.9	99.8	99.7	99.6	99.5
对白色光的反射率, %	98	91	90	89	85	75

从以上数据可见, 铝的纯度对它的物理、化学性能有明显的影晌, 这主要是其中的杂质首先是铁和硅, 其次是铜、镁、锌、锰等元素作用的结果。杂质在铝中存在的形式归纳起来分为三种类型, 一类是与铝形成固溶体, 第二类是呈化合物形式存在, 第三类是以游离状态存在。杂质元素在铝中存在的形式还与元素的含量及共存的其它元素性质有关, 一般当含量少时, 形成固溶体(也有个别元素例外, 如铅、铋等), 含量超过固溶量后, 则形成化合物, 而化合物的形式基本多属于金属化合物类型。

一 杂质对铝的组织性能影响

铝中主要杂质是铁和硅。现分别叙述如下: