

ALUMINUM ALLOY APPLICATION HANDBOOK

铝合金 应用手册

■ 林钢 林慧国 赵玉涛 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铝合金应用手册

林 钢 林慧国 赵玉涛 主编



机械工业出版社

本手册是以铝材应用为主导,力求使手册成为国内铝及铝合金材料应用方面比较系统的、实用性强的专业工具书。全书共 10 章,大体可分为四部分:(一)系统介绍铝材的分类、牌号标示、生产技术、加工技术、耐蚀性能、热处理与表面处理等基础理论知识。(二)为适应各行业的需要,系统介绍常用的变形铝及铝合金和铸造铝合金(共 86 个牌号)的各项性能与应用,以图表配合精练文字说明,并作新旧牌号对照。(三)按照我国现行的国家标准和行业标准,介绍各种铝材的品种规格和技术条件,供合理选用时参考。(四)为配合我国加入 WTO 后尽快与国际铝材市场接轨,介绍 ISO 国际标准和美、日、俄、德、法、英、意及欧洲标准的铝及铝合金材料,以及各国牌号近似对照,为国外铝合金材料的选用和进出口业务提供参考。

本手册可供铝材生产加工企业、铝材使用部门、科研设计院所的工程技术人员和有关院校师生参考,还可作为物资流通部门、外贸公司的业务人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铝合金应用手册/林钢,林慧国,赵玉涛主编. —北京:机械工业出版社, 2006.1
ISBN 7-111-17996-X

I. 铝... II. ①林...②林...③赵... III. 铝合金 - 手册 IV. TG146.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 144071 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张秀恩 王兴垣

责任编辑:王兴垣 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:王伟光 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·34.375 印张·3 插页·1412 千字

0 001—4 000 册

定价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

铝及铝合金的性能优良,用途十分广泛。世界铝产量从 1956 年开始超过铜,一直居有色金属之首位。据新华社转发英国 CRU(商品研究机构)的统计,2004 年全球原铝年产量已达 2978.7 万吨,其中我国同期原铝年产量为 656.0 万吨,居世界排名第一位(独联体居第二位,加拿大居第三位,超过美国)。我国 2005 年第三季度产原铝 192.3 万吨,同比增加 15.6%,远高于同期全球原铝产量同比增加 5.9% 的增长速度。在铝材消费方面,随着铝及铝合金用途越来越广,世界铝材的消费量增长率已大大超过钢材的消费量增长率。据英国 CRU 统计,2004 年全球铝的年总消费量为 3033.5 万吨,其中我国当年铝的消费量为 600.5 万吨,居世界排名第二位(美国居第一位,日本居第三位)。另据统计,我国在 20 世纪末(1994~2000 年),电解铝产量年均递增率为 13.4%,铝及铝合金进口量年均递增率为 32.8%,铝及铝合金出口量年均递增率为 11.2%。由此可见,铝工业及铝材市场已在我国的国民经济中成为一个重要角色,而且国内专业图书的出版也应当“与时俱进”,以适应并发挥我国在铝工业和铝材消费领域的大国地位。我们就是按照这个方向来编写这本手册的。

另一方面,从国内铝及铝合金的应用来看,尤其是近 20 多年来,铝材已广泛用于航空、航天、建筑、桥梁、汽车、铁道车辆、船舶、机械设备(如化工、纺织、造纸、印刷、煤矿机械、轻便工具等),活动房屋、民用五金及家庭用具等;铝材与铝箔用于易拉罐等包装容器及食品、药品、卷烟等包装所占比重也很大;还广泛用于电器设备和电子产品以及电缆等导电材料。而铝材用于建筑、汽车、包装已成为当今世界工业发达国家的三大用途。我国铝材市场一直很活跃。国内从事铝材生产、使用和营销的单位和个体者的队伍很庞大,尤其在改革开放后一大批铝材加工企业蓬勃发展,更促进了铝材市场的兴旺发达。可是相比之下,国内专门介绍铝及铝合金应用的专业书籍并不太多,与我国铝材市场的蓬勃发展和铝材的应用越来越广,形成很大的反差;在有的书籍中铝材只作为有色金属的一部分作简要介绍,或者仅介绍铝材应用的部分内容,很难满足专业读者和从业人员的需要。经过深入调研,了解有关读者的

需要和图书市场的情况后,我们着手组织编写这本手册。

本手册编写的方针是以铝材应用为主导,编写的宗旨是力求使这本手册成为目前国内铝及铝合金材料应用方面比较系统的、实用性强的专业工具书。全书大体可分四部分:

第一部分为基础理论知识,系统介绍铝材的分类、牌号标示、生产技术、加工技术、铝合金的耐蚀性能、热处理与表面处理等基础理论知识。因为材料的性能与质量除了依靠化学成分的保证外,还与生产及加工技术、热处理与表面处理等有密切关系(含第1~4章)。

第二部分是适应各行业的需要,介绍常用的变形铝及铝合金(58个牌号)和铸造铝合金(28个牌号)的各项性能与应用,以图表配合精练文字说明,并作新旧牌号对照(含第5~6章)。

第三部分是按照我国现行的或最新的国家标准和行业标准,介绍各种铝材的品种规格和技术条件,供合理选用时参考(含第7~9章)。

第四部分为配合我国加入WTO后尽快与国际铝材市场接轨,介绍国内外铝及铝合金材料,以及各国牌号对照,为国外铝合金材料的选用和进出口业务提供参考(含第10章)。

本手册由林钢(Dr. Garry Lin,加拿大NAIT——北阿尔伯达理工大学材料研究所所长)、林慧国(教授级高工)、赵玉涛(江苏大学材料学院院长,教授,博导)主编,由火树鹏(江苏大学金属材料教授)主审。全书由林慧国总策划,还得到江苏大学材料学院院长戴起勋教授的大力支持和指导。参加本书编写、汇编、外文翻译、审核校对等工作的人员还有李明、范广华、周伯敏、苏秀青、柯绮、毛英杰、郝启康、牟素霞同志等。对他们的大力支持和辛勤劳动表示衷心的感谢。

本手册从拟订编写计划、收集有关资料到编写成书,历时两年多,虽经多次修改补充,仍感某些不足,除了深感国内有关铝及铝合金材料的基础性能数据缺乏外,还感到编写速度赶不上国内外铝及铝合金材料信息资料日新月异的发展步伐,其间某些标准规格也在不断更新,而且有些更新标准是在本手册书稿大部分完成后发现的,虽经尽力补救,但手册的编写计划和进度不容许拖延过久,所以深感某些不足,而且由于编者水平有限,书中存在错误及遗漏之处,谨请读者批评指正。

编 者

2005年9月于北京

手册编写说明

1. 本手册内容的安排

(1) 手册中对我国铝及铝合金品种与性能的介绍

本手册共 10 章, 大体可分为四部分, 已在“前言”中作了简要介绍。其中我国的变形铝及铝合金、铸造铝合金与压铸铝合金的牌号与化学成分列于第 10 章; 常用铝及铝合金的各项性能数据与应用分别列于第 5~6 章; 铝材的品种规格, 如板材、带材、箔材、型材、棒材、线材、管材、锻件、铝锭及其他制品分别列于第 7~9 章。

(2) 手册中对我国铝及铝合金新旧牌号的介绍

对变形铝及铝合金牌号, 手册中按国家标准(GB/T 16474—1996)规定, 一律采用四位字符体系的表示方法。同时, 考虑到旧牌号使用历史较长及使用习惯需逐步过渡等因素, 则采用新旧牌号对照表示, 即凡是新旧牌号能相应对照的, 均将旧牌号加括号附于新牌号之后。虽然现行标准中(1996 年以前颁布的)仍有旧牌号的, 而本手册引用时, 也改用新旧牌号对照来表示。

对铸造铝合金和铝合金锭的牌号, 手册中按国家标准(GB/T 8063—1994)规定, 一律采用化学成分为基础的表示方法, 并保留原先的铝合金代号, 也采用加括号附于新牌号之后。

(3) 手册中对我国变形铝及铝合金新旧状态代号的介绍

变形铝及铝合金原先的状态代号, 是以汉语拼音为基础的, 而新的状态代号是采用拉丁字母, 以便于向国际通用的状态代号靠拢, 所以新的状态代号与旧状态代号有很大差别。手册中按国家标准(GB/T 16475—1996)规定, 采用了新的状态代号。由于编排上的限制, 书中未采用新旧状态代号对照, 只在第 1 章 1.4 节列出新旧状态代号的对应关系。手册中仅个别表格由于引用的现行标准(1996 年以前颁布的)仍用旧状态代号, 未加修改。

(4) 手册中对中外铝及铝合金材料的介绍

手册第 10 章中介绍了国际标准化组织(ISO)、欧洲标准(EN)和 8 个国家铝及铝合金材料, 其排列次序, 除 ISO 和 EN 标准外, 均按照英文国名为序, 依此为: 1—国际标准化组织(ISO), 2—中国, 3—法国, 4—德国, 5—欧洲标准, 6—意大利, 7—日本, 8—俄罗斯, 9—英国, 10—美国, 11—各国牌号近似对照。

(5) 手册中对国际注册铝及铝合金牌号的介绍

国际注册铝及铝合金委员会成立于 1954 年, 现有 25 个国家和团体参加, 中国于 1995 年以“中国有色金属工业总公司”的名义参加。该委员会的注册登记处设

在美国铝业协会(AA)内。截止到2003年底的统计,在国际注册铝及铝合金委员会注册的变形铝及铝合金共547个,其中常用的铝及铝合金有442个,非常用的有132个。这些牌号都已纳入AA标准文件中,AA标准已成为公认的国际性标准。

本手册在第10章10.10节中系统介绍了AA标准的变形铝及铝合金,包括国际注册的所有常用和非常用的铝及铝合金牌号与化学成分。对于一些未注册的铝及铝合金(例如日本标有“N”的创新品种),仍列在各国自己的铝及铝合金标准中。遗憾的是,中国作为铝业大国,可是国际注册的铝合金牌号却一个也没有。

(6) 手册中对美国各协会标准及其牌号的介绍

美国从事标准化工作的协会有数百个之多,与铝及铝合金有关的知名的标准化团体也有十多个。手册中除了系统介绍美国铝业协会AA标准的变形铝及铝合金、铸造铝合金、铝包覆产品以及铝中间合金外,还选择了美国材料与试验协会(ASTM)、美国机械工程师协会(ASME)、美国汽车工程师协会(SAE)、美国航空航天材料技术规范(AMS)、美国联邦标准(FED.STD.)和技术规范『BF』(QQ)、美国军用标准(MIL)等作介绍。因篇幅所限,只能将以上这些标准和技术规范中的铝及铝合金牌号与AA标准的铝及铝合金牌号进行对照,并附加相应的标准号,供查阅参考。

(7) 手册中对欧洲标准及欧洲诸国新旧牌号的介绍

手册第10章10.5节中系统介绍了铝及铝合金的欧洲标准(EN),同时第10章中介绍的英、德、法、意诸国,都是欧洲标准化委员会(CEN)的会员国。按照CEN规定,各会员国的标准必须等同采用欧洲标准(EN),因此,英、德、法、意等国自1995年以后所制定或修订的标准,都受欧洲标准中铝及铝合金标准的影响,一大批新标准和牌号已等同采用欧洲标准。但考虑到这些国家的一些老标准和旧牌号的使用历史较久,习惯影响很深,在很多场合下,新旧两种铝及铝合金牌号还并存使用,为此本手册中引用了部分老标准及其牌号,并在其本国的一节中对新旧牌号作了对照介绍。

2. 编写中对一些名词、术语与符号的处理

(1) 关于力学性能的 $\sigma_{R0.2}$ 和 $\sigma_{0.2}$ 符号的说明

近年的标准和书刊中常采用“ $\sigma_{R0.2}$ ”表示材料的“规定非比例伸长应力”,而国内早些年的技术标准和书刊大多采用“ $\sigma_{0.2}$ ”表示材料的“屈服强度”。这种希腊文符号是沿用前苏联的力学性能符号直至今日。在国际标准和德文书刊中这类力学性能以拉丁文“ R_p ”表示,而英美标准和书刊中则以“YS”表示。我国2002年颁布的《金属材料室温拉伸试验方法》国家标准(GB/T 228—2002)已等效采用国际标准,其所有符号改用拉丁字母。在本手册中仍采用希腊文符号,由于所引用的标准或书刊(包括中译本)大部分用 $\sigma_{0.2}$ 符号表示,有一部分用 $\sigma_{R0.2}$ 符号表示,本手册引用时未作改动,未承担符号的统一任务。并且考虑到希腊文符号在我国沿用至今已有半个世纪的历史,已成习惯,容许有个并用的过渡期,然后再作统一。

(2) 关于对断后伸长率 δ 的说明

断后伸长率 δ 是指拉伸试验的试样拉断后, 标距部分总伸长 ΔL 与原标距 L_0 之比的百分数(%), 长标距试样和短标距试样相对应的断后伸长率分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。手册中所引用的标准或文献资料也有称“伸长率”的, 编写时未作改动。在表中由于受表格的限制, 大多用“伸长率”表示。

(3) 关于对 S-N 曲线的注解

手册中引用 S-N 曲线来表示铝合金材料的疲劳性能。S-N 曲线即应力与疲劳寿命关系曲线。疲劳寿命 N , 是指在规定应力或应变作用下, 材料失效前所经受的循环次数。铝合金通常以循环次数 $N = 10^7$ (或 $N = 10^6$) 不发生断裂所对应的应变应力值定义为条件疲劳极限。通常采用升降法测定条件疲劳极限, 试验结果是根据若干次前后出现相反结果的试样进行配对, 然后获得几组算术平均值(试验方法请参阅国家标准 GB/T 4337—1984)。

由于金属材料的疲劳极限是一种对金属外在缺陷、内在缺陷、显微组织和环境条件都非常敏感的性能, 通过疲劳试验所测定的试验数据一般都很分散, 即 S-N 曲线通常是一个带。根据试验结果绘制的 S-N 曲线图, 是以最大应力 $\sigma_{\max}$ (或对数最大应力) 为纵坐标, 以对数疲劳寿命 N 为横坐标, 曲线图中的“·”表示升降法试验中的试样数据, 图中的“·→”及右侧的数字表示升降法试验中通过的试样数。其他试验条件如铝合金牌号、试样形状尺寸、表面质量、抗拉强度、试验速度、试验环境气氛等, 则在图注中说明。

(4) 关于对平面应变断裂韧度 K_{IC} 试样取向的注解

材料的断裂韧度与裂纹面取向和裂纹扩展方向有关。手册中引用的 K_{IC} 试样取向, 是根据下述规定注明裂纹面取向和裂纹扩展方向的: 一般采用两个拉丁字母来标记, 第一个字母表示裂纹平面的法线方向, 第二个字母表示预期的裂纹扩展方向。如果试样与两个参考轴成倾斜角度时, 则采用三个拉丁字母标记裂纹面取向和裂纹扩展方向。

对于矩形断面板材的试样取向标记有: T-L, T-S, L-T, L-S, S-L, S-T。其中 L——长度方向或主变形方向; T——宽度方向或最小变形方向; S——厚度方向或第三正交方向。例如, 试样取向标记为 T-L 时, 表示裂纹面的法线方向为 T, 预期的裂纹扩展方向为 L。

对于棒材与圆饼的试样取向标记有: C-L, C-R, R-C, R-L, L-C, L-R。其中 L——长度方向或主变形方向; R——沿径方向; C——圆周或切线方向。例如, 试样取向标记为 C-L 时, 表示裂纹面的法线方向为 C, 预期的裂纹扩展方向为 L。

对于试样与两个参考轴成倾斜角度时, 裂纹面取向和裂纹扩展方向的标记有: L-TS, TS-L, LT-S。其中 L、T、S 的含义同上。例如, 取向标记为 L-TS 的试样, 表示裂纹面的法线方向为 L, 预期的裂纹扩展方向在 T 和 S 方向之间; 又如, 试样取向标记为 TS-L 时, 表示裂纹面的法线方向为 T 和 S 方向之间的一个方向, 预期的

裂纹扩展方向为 L。

如果需要对 K_{IC} 试样取向作进一步了解, 请参阅国家标准 GB/T 4161—1984《金属材料平面应变断裂韧性 K_{IC} 试验方法》。

(5) 关于应力腐蚀断裂韧性 K_{ISCC} 试样取向的注解

手册中引用的应力腐蚀断裂韧性的试样主要是常用的 DCB 型——双悬臂弯曲试样。试样取向标记 L, T, S 中的两个(或三个)轴表示试样断裂方向, 其中第一个字母表示施加应力的方向, 第二个字母表示裂纹扩展的方向。在矩形断面的试样中: L——纵向(晶粒流动方向); T——长横向; S——短横向。例如, 试样取向标记为 L-S 时, 表示施加应力的方向为 L, 裂纹扩展的方向为 S。

如果需要对 K_{ISCC} 试样取向和试验方法作进一步了解, 请参阅国家标准 GB/T 12245.1~3—1990, 这是分别采用双悬臂弯曲(DCB)、悬臂弯曲(CANT)和楔形张开加载(WOL)预制裂纹试样对高强度合金进行应力腐蚀试验的方法。

(6) 关于对 $da/dN-\Delta K$ 曲线的说明

手册中引用 $da/dN-\Delta K$ 曲线来表示铝合金材料的疲劳裂纹扩展速率。曲线图中纵坐标 da/dN 即疲劳裂纹扩展速率, 它表示循环一次的疲劳裂纹扩展量; 横坐标 ΔK 即应力强度因子范围, 它表示最大与最小应力强度因子值之差。试样取向规定参照 K_{IC} 试样取向。

此次编入本手册的 $da/dN-\Delta K$ 曲线图, 大多是根据国家标准 GB/T 6398—1986 所规定的实验方法进行测定的。而该标准已由 GB/T 6398—2000《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》代替。新标准是等效采用美国 ASTM E647—1995a《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》, 但与该 ASTM 标准也有小的差异。新标准与旧标准相比, 在技术内容上作了若干增删和修改, 如增加了试样类型和几种测定方法; 删去和修订旧标准中几个附录等。在参考这些曲线图时请予以注意。

3. 查阅各国牌号对照时应注意的问题

1) 各国间的铝及铝合金牌号对照关系, 主要根据其化学成分来确定。即使同一种铝材牌号, 由于化学成分上下限的差异, 或由于内部组织不同, 工艺及尺寸因素等影响, 均使铝材的性能出现差别。因此牌号对照只能反映彼此近似关系, 尤其在工程上选择某种铝材的代用材料时, 牌号对照只能作为参考, 还需对材料性能进行测试后再选用。

2) 牌号对照, 大部分以我国的铝材牌号作为基准牌号。如果国外某些通用的牌号, 而我国现行标准中没有相对应的牌号时, 则大多以 AA 标准的牌号作为基准牌号。

3) 在牌号对照表中, 某些牌号前面加“~”符号的, 表示其化学成分的大部分元素含量彼此相近, 但有个别元素的含量偏高或偏低(或含有其他微量元素), 以示区别。

4) 铸造铝合金牌号的对照关系, 仅适用于壁厚均匀且形状简单的铸件。由于铸件壁厚变化所造成力学性能的差异比较明显, 对于壁厚不均匀或有型芯的铸件, 只能作为近似参考, 铸件设计应根据关键部位实测值进行考虑。

目 录

前言

手册编写说明

第1章 铝及铝合金的分类

和牌号标示 1

1.1 概述 1

1.2 分类 3

1.3 我国铝及铝合金产品牌号 表示方法 9

1.3.1 牌号的标准术语 和表示方法总则 9

1.3.2 冶炼产品和铸造产品牌号 表示方法 11

1.3.3 加工产品牌号表示方法 12

1.4 我国变形铝及铝合金状态代号 表示方法 15

1.4.1 基础状态代号 15

1.4.2 细分状态代号 16

1.4.3 状态代号的变化与新旧状态 代号的对应关系 20

1.5 变形铝及铝合金国际产品牌号 和状态代号表示方法简介 21

1.5.1 变形铝及铝合金的国际四位 数字体系牌号简介 21

1.5.2 国际标准和国外的铝及铝合金 状态代号简介 22

参考文献 26

第2章 铝及铝合金的生产技术

和热处理 28

2.1 原铝及再生铝的生产 28

2.1.1 电解铝生产 28

2.1.2 精铝生产 36

2.1.3 再生铝及铝合金生产 38

2.2 铝合金的铸造 46

2.2.1 铸造铝合金系列及其 选用原则 46

2.2.2 传统铸造方法 50

2.2.3 新兴铸造方法 53

2.3 铝及铝合金的压力加工 58

2.3.1 铝材压力加工方法的 分类 58

2.3.2 挤压 61

2.3.3 轧制 67

2.3.4 锻造 79

2.3.5 拉拔和其他塑性成形方法 86

2.3.6 塑性成形加工时铝材组织 与性能的变化 86

2.4 铝合金的热处理 89

2.4.1 变形铝合金的热处理 90

2.4.2 铸造铝合金的热处理 95

2.4.3 铝合金的热处理设备、 材料和质量管埋 101

参考文献 105

第3章 铝及铝合金材料的

加工技术 107

3.1 铝合金的机械加工 107

3.1.1 合理的切削条件和 刀具寿命 107

3.1.2 工件的表面粗糙度和 切屑特性 109

3.1.3 切削加工应用实例 110

3.1.4 切削加工工艺参数 113

3.2 铝及铝合金焊接和连接 118

3.2.1 铝及铝合金的焊接 118

3.2.2 铝及铝合金的钎焊	133	5.1.2 1035 (L4), 8A06 (L6)	224
3.2.3 铝及铝合金的粘接和 机械连接	143	5.1.3 1100 (L5-1)	230
3.3 铝材冲压成形	147	5.1.4 1200 (L5)	239
3.3.1 铝材成形特性	148	5.2 防锈铝合金	244
3.3.2 铝合金板带材的成形类型	152	5.2.1 3A21 (LF21)	244
参考文献	162	5.2.2 3003	251
第4章 铝及铝合金的耐蚀性 和表面处理	163	5.2.3 5A02 (LF2)	257
4.1 铝及铝合金的腐蚀性能概述	163	5.2.4 5A03 (LF3)	265
4.1.1 氧化膜和合金元素对 铝耐蚀性的影响	163	5.2.5 5A05 (LF5)	270
4.1.2 铝及铝合金的腐蚀类型	166	5.2.6 5B05 (LF10)	275
4.1.3 铝及铝合金在各种介质中的 耐蚀性	168	5.2.7 5A06 (LF6)	278
4.2 变形铝合金和铸造铝合金的 耐蚀性特点	173	5.2.8 5052	283
4.2.1 变形铝合金的耐蚀性特点	173	5.2.9 5056 (LF5-1)	290
4.2.2 铸造铝合金的耐蚀性特点	176	5.2.10 5083 (LF4)	293
4.3 铝及铝合金表面氧化处理	177	5.2.11 7A33 (LB733)	297
4.3.1 概述	177	5.3 硬铝合金	301
4.3.2 化学氧化法	178	5.3.1 2A01 (LY1), 2A04 (LY4)	301
4.3.3 阳极氧化法	180	5.3.2 2A02 (LY2)	304
4.4 铝及铝合金表面着色	196	5.3.3 2A06 (LY6)	309
4.4.1 阳极氧化膜着色和染色	196	5.3.4 2A10 (LY10)	314
4.4.2 铝及铝合金表面直接着色	205	5.3.5 2A11 (LY11)	317
4.4.3 铝合金木纹着色	206	5.3.6 2A12 (LY12)	324
4.5 铝及铝合金表面钝化处理	208	5.3.7 2B11 (LY8), 2B12 (LY9)	340
4.5.1 钝化的意义及机理简介	208	5.3.8 2A16 (LY16)	342
4.5.2 表面钝化处理办法	208	5.3.9 2B16 (LY16-1)	350
4.5.3 表面处理的发展动向	213	5.3.10 2A17 (LY17)	354
参考文献	214	5.3.11 2017, 2017A	360
第5章 常用变形铝及铝合金的 性能与应用	216	5.3.12 2024	364
5.1 工业纯铝	216	5.4 超硬铝合金	377
5.1.1 1050A (L3), 1060 (L2)	216	5.4.1 7A04 (LC4)	377
		5.4.2 7A05 (705), 7005	389
		5.4.3 7A09 (LC9)	393
		5.4.4 7075	404
		5.5 锻铝合金	416
		5.5.1 2A14 (LD10)	416
		5.5.2 2A50 (LD5)	423

5.5.3	2B50 (LD6)	428
5.5.4	2A70 (LD7)	432
5.5.5	2014	439
5.5.6	2214	443
5.5.7	2618A	449
5.5.8	4A11 (LD11), 4032	455
5.5.9	6A02 (LD2)	458
5.5.10	6061 (LD30)	465
5.5.11	6063 (LD31), 6063A	472
5.6	特殊性能与用途铝合金	477
5.6.1	4A01 (LT1), 4043	477
5.6.2	4A13 (LT13)	479
5.6.3	1A50 (LB2)	480
5.6.4	7A01 (LB1)	482
5.6.5	2124	484
5.6.6	7050	491
5.6.7	7475	501
参考文献		510

第 6 章 常用铸造铝合金的

性能与应用

6.1	铝-硅系和铝-硅-镁系铸造 铝合金	513
6.1.1	ZAlSi7Mg (ZL101)	513
6.1.2	ZAlSi7MgA (ZL101A)	522
6.1.3	ZAlSi12 (ZL102)	529
6.1.4	ZAlSi9Mg (ZL104)	533
6.1.5	ZAlSi7Mg1A (ZL114A)	539
6.1.6	ZAlSi8MgBe (ZL116)	545
6.1.7	Al-Si5, Al-Si5Fe (ISO)	549
6.2	铝-硅-铜系铸造铝合金	552
6.2.1	ZAlSi5Cu1Mg (ZL105)	552
6.2.2	ZAlSi5Cu1MgA (ZL105A)	558
6.2.3	ZAlSi7Cu4 (ZL107)	563
6.2.4	ZAlSi12Cu2Mg1 (ZL108), ZAlSi12Cu1Mg1Ni1 (ZL109)	566
6.2.5	ZAlSi9Cu2Mg (ZL111)	568

6.2.6	YZAlSi9Cu4 (YL112)	572
6.2.7	YZAlSi10Mg (YL104)	574
6.3	铝-铜系铸造铝合金	577
6.3.1	ZAlCu5Mn (ZL201)	577
6.3.2	ZAlCu5MnA (ZL201A)	582
6.3.3	ZAlCu4 (ZL203)	586
6.3.4	ZAlCu5MnCdA (ZL204A)	589
6.3.5	ZAlCu5MnCdVA (ZL205A)	593
6.3.6	ZAlCu8RE2Mn1 (ZL206)	600
6.3.7	ZAlRE5Cu3Si2 (ZL207)	603
6.3.8	ZAlCuNi2CoZr (ZL208)	607
6.3.9	Al-Cu4Ni2Mg2 (ISO)	612
6.4	铝-镁系和铝-锌系 铸造铝合金	615
6.4.1	ZAlMg10 (ZL301)	615
6.4.2	ZAlMg5Si (ZL303)	618
6.4.3	ZAlZn11Si7 (ZL401)	622
6.4.4	ZAlZn6Mg (ZL402)	625
参考文献		628

第 7 章 铝及铝合金板材、 带材与箔材

7.1	铝及铝合金板材	630
7.1.1	铝及铝合金轧制板材 (GB/T 3880—1997)	630
7.1.2	铝及铝合金花纹板 (GB/T 3618—1989)	645
7.1.3	铝及铝合金压型板 (GB/T 6891—1997)	650
7.1.4	铝及铝合金波纹板 (GB/T 4438—1984)	654
7.1.5	钎接用铝合金板 (YS/T 242—2000)	655
7.1.6	可热处理强化的铝合金板 (YS/T 212—1994)	657
7.1.7	不可热处理强化的铝合金 板 (YS/T 213—1994)	661
7.1.8	可热处理强化的铝合金大规格板	

(YS/T 214—1994)·····	663	(GB/T 3198—2003)·····	708
7.1.9 不可热处理强化的铝合金大规格板(YS/T 215—1994)·····	667	7.3.2 铝合金箔	(GB/T 3614—1999)····· 715
7.1.10 表盘及装饰用纯铝板(YS/T 242—2000)·····	669	7.3.3 精制铝箔	(GB/T 10570—1989)····· 717
7.1.11 印刷用 PS 版铝基板(YS/T 421—2000)·····	671	7.3.4 药品包装用铝箔	(GB/T 12255—1990)····· 718
7.1.12 铝幕墙板——Ⅰ. 板基(YS/T 429.1—2000)·····	672	7.3.5 电解电容器用铝箔	(GB/T 3615—1999)····· 719
7.1.13 铝幕墙板——Ⅱ. 氟碳喷漆铝单板(YS/T 429.2—2000)·····	674	7.3.6 电力电容器用铝箔	(GB/T 3616—1999)····· 720
7.1.14 铝及铝合金板、带材的尺寸及允许偏差(GB/T 3194—1998)·····	675	7.3.7 空调器散热片用铝箔——Ⅰ. 素铝箔	(YS/T 95.1—2001)····· 722
7.1.15 铝及铝合金板材的理论重量(GB/T 3194—1998,附录 A)·····	682	7.3.8 空调器散热片用铝箔——Ⅱ. 亲水铝箔	(YS/T 95.2—2001)····· 723
7.2 铝及铝合金带材·····	684	7.3.9 电缆用铝箔	(YS/T 430—2000)····· 724
7.2.1 铝及铝合金热轧带材(GB/T 16501—1996)·····	684	7.3.10 钎焊式热交换器用铝合金复合箔	(YS/T 446—2002)····· 725
7.2.2 铝及铝合金冷轧带材(GB/T 8544—1997)·····	685	第 8 章 铝及铝合金型材、棒材与线材 ·····	729
7.2.3 铝及铝合金铸轧带材(YS/T 90—2002)·····	694	8.1 铝及铝合金型材·····	729
7.2.4 瓶盖用铝及铝合金板、带材(YS/T 91—1995)·····	695	8.1.1 工业用铝及铝合金热挤压型材(GB/T 6892—2000)·····	729
7.2.5 铝及铝合金彩色涂层板、带材(YS/T 431—2000)·····	696	8.1.2 铝合金建筑型材——Ⅰ. 基材(GB 5237.1—2004)·····	733
7.2.6 易拉罐罐体用铝合金带材(YS/T 435—2000)·····	702	8.1.3 铝合金建筑型材——Ⅱ. 阳极氧化着色型材(GB 5237.2—2004)·····	739
7.2.7 铝塑复合板用铝带(YS/T 432—2000)·····	704	8.1.4 铝合金建筑型材——Ⅲ. 电泳涂漆型材(GB 5237.3—2004)·····	741
7.2.8 铝塑复合管用铝及铝合金带材(YS/T 434—2000)·····	704	8.1.5 铝合金建筑型材——Ⅳ. 粉末喷涂型材(GB 5237.4—2004)·····	742
7.2.9 双零铝箔用冷轧带材(YS/T 457—2003)·····	706	8.1.6 铝合金建筑型材——Ⅴ.	
7.3 铝及铝合金箔材·····	708		
7.3.1 铝及铝合金箔			

氟碳漆喷涂型材 (GB 5237.5—2004)	744	铸锭与其他制品	796
8.1.7 铝合金建筑型材——Ⅵ. 隔热 型材(GB 5237.6—2004) ...	745	9.1 铝及铝合金管材	796
8.1.8 有色电泳涂漆铝合金建筑型材 (YS/T 459—2003)	747	9.1.1 铝及铝合金热挤 压管——Ⅰ. 无缝圆管 (GB/T 4437.1—2000)	796
8.1.9 轨道车辆结构用 铝合金挤压型材 (GB/T 19374—2003)	749	9.1.2 铝及铝合金热 挤压管——Ⅱ. 有缝管 (GB/T 4437.2—2003)	798
8.1.10 船用焊接铝合金型材 尺寸和断面特性 (YS/T 86—1994)	751	9.1.3 旋压无缝铝筒 (GB/T 8645—1988)	801
8.1.11 铝及铝合金挤 压型材尺寸允许偏差 (GB/T 14846—1993)	768	9.1.4 铝及铝合金拉(轧)制无 缝管(GB/T 6893—2000) ...	802
8.2 铝及铝合金棒材	774	9.1.5 铝及铝合金焊接管 (GB/T 10571—1989)	804
8.2.1 铝及铝合金挤压棒材 (GB/T 3191—1998)	774	9.1.6 凿岩机用铝合金管材 (YS/T 97—1997)	808
8.2.2 电工用圆铝杆 (GB/T 3954—2001)	779	9.1.7 铝及铝合金管外形 尺寸及允许偏差 (GB/T 4436—1995)	810
8.2.3 铝及铝合金挤压扁棒 (YS/T 439—2001)	781	9.1.8 铝及铝合金管材的 理论重量	818
8.2.4 铝及铝合金棒材的 理论重量	785	9.2 铝及铝合金模锻件与 网制品	820
8.3 铝及铝合金线材和丝材	787	9.2.1 纺织经编机盘片用 铝合金线轴(模锻件) (YS/T 243—2001)	820
8.3.1 铆钉用铝及铝合金线材 (GB/T 3196—2001)	787	9.2.2 铝及铝合金模锻件的尺寸 偏差和加工余量 (GB/T 8545—1987)	822
8.3.2 焊条用铝及铝合金线材 (GB/T 3197—2001)	789	9.2.3 铝合金花格网 (YS/T 92—1995)	830
8.3.3 导电用铝线 (GB/T 3195—1997)	790	9.3 铝及铝合金锭	832
8.3.4 电工圆铝线 (GB/T 3955—1983)	791	9.3.1 铸造铝合金锭 (GB/T 8733—2000)	832
8.3.5 铝钛合金线 (GB/T 3129—1982)	793	9.3.2 铸造铝硅合金锭 (GB/T 8734—2000)	832
8.3.6 半导体键合铝-1%硅细丝 (GB/T 8646—1998)	794	9.3.3 重熔用铝锭 (GB/T 1196—2002)	836
第9章 铝及铝合金管材、			

9.3.4 重熔用精铝锭 (GB/T 8644—2000)	837
9.3.5 重熔用电工铝锭 (GB/T 12768—1991)	839
9.3.6 铝中间合金锭 (YS/T 282—2000)	839
9.3.7 炼钢脱氧和部分铁合金用 铝锭(YS/T 75—1994)	841
9.3.8 高纯铝(锭) (YS/T 275—2000)	841
9.3.9 重熔用铝稀土合金锭 (YS/T 309—1998)	842
9.3.10 LD30, LD31 铝 合金挤压用圆铸锭 (YS/T 67—1993)	842
9.4 粉末材料	843
9.4.1 工业铝粉 (GB/T 2082—1989)	843
9.4.2 涂料铝粉 (GB/T 2083—1989)	844
9.4.3 发气铝粉 (GB/T 2084—1989)	845
9.4.4 易燃铝粉 (GB/T 2085—1989)	846
9.4.5 易燃细铝粉 (GB/T 2086—1989)	846
9.4.6 铝镁合金粉 (GB/T 5150—1985)	847
9.4.7 电焊条用铝镁合金粉 (YS/T 98—1997)	848
9.4.8 水性铝膏 (GB/T 17171—1997)	848
9.5 焊接材料	849
9.5.1 铝及铝合金焊条 (GB/T 3669—2001)	849
9.5.2 铝及铝合金焊丝 (GB/T 10858—1989)	850
9.5.3 铝及铝合金焊丝	

产品质量分等

(JB/T 56098—1999) 852

9.5.4 铝基钎料

(GB/T 13815—1992) 854

第 10 章 中外铝及铝合金材料

和牌号对照 857

10.1 国际标准化组织(ISO) 857

10.1.1 ISO 国际标准铝及铝合金牌号
表示方法 857

10.1.2 ISO 国际标准铸
造铝合金和铝锭 858

10.1.3 ISO 国际标准变形铝
及铝合金 860

10.2 中国 866

10.2.1 中国 GB 标准铝及铝合金牌号
表示方法的简要说明 866

10.2.2 中国 GB 标准铸造铝合金 ... 867

10.2.3 中国 GB 标准变形铝
及铝合金 867

10.3 法国 880

10.3.1 法国 NF 标准铝及铝合金
牌号表示方法 880

10.3.2 法国 NF 标准铸造铝合金 ... 882

10.3.3 法国 NF 标准变形铝及铝合金
和其他铝合金 884

10.4 德国 887

10.4.1 德国 DIN 标准铝及铝合金
牌号表示方法 888

10.4.2 德国 DIN 标准及其他
标准铸造铝合金 891

10.4.3 德国 DIN 标准变形铝
及铝合金 895

10.4.4 德国 DIN 标准铝中间合金
和其他铝合金 899

10.5 欧洲标准(EN) 903

10.5.1 欧洲标准(EN)铝及铝合金
牌号表示方法 903

10.5.2 欧洲标准(EN) 铸造铝合金	905	10.8.4 俄罗斯 ГОСТ 标准铝锭 和其他铝合金	962
10.5.3 欧洲标准(EN) 变形铝及铝合金	909	10.9 英国	974
10.5.4 欧洲标准(EN)铝中间合金 和其他铝合金	919	10.9.1 英国 BS 标准铝及铝合金 牌号表示方法	974
10.6 意大利	928	10.9.2 英国 BS 标准和 DTD 规格铸造铝合金	976
10.6.1 意大利 UNI 标准铝及铝合金 牌号表示方法	929	10.9.3 英国 BS 标准和 DTD 规格变形铝 及铝合金和其他铝合金	976
10.6.2 意大利 UNI 标准铸造铝合金 和变形铝及铝合金	930	10.10 美国	984
10.7 日本	937	10.10.1 美国 AA 标准和 UNS 系统铝 及铝合金牌号表示方法	984
10.7.1 日本 JIS 标准铝及铝合金 牌号表示方法	937	10.10.2 美国 AA 标准和其他标准 铸造铝合金与铝锭	987
10.7.2 日本 JIS 标准铸 造铝合金	939	10.10.3 美国 AA 标准变形铝 及铝合金	1001
10.7.3 日本 JIS 标准变形铝 及铝合金	939	10.10.4 美国 AA 标准铝中间合金 和其他铝合金	1034
10.7.4 日本 JIS 标准铝锭 和其他铝合金	939	10.11 各国铝及铝合金 牌号近似对照	1054
10.8 俄罗斯	959	10.11.1 各国变形铝及铝合金 牌号近似对照	1054
10.8.1 俄罗斯 ГОСТ 标准铝及铝合金 牌号表示方法	960	10.11.2 各国铝锭和铸造铝合金 牌号近似对照	1054
10.8.2 俄罗斯 ГОСТ 标准 铸造铝合金	962	附录 手册中引用的 中外标准一览表	1073
10.8.3 俄罗斯 ГОСТ 标准变形铝 及铝合金	962		

第 1 章 铝及铝合金的分类和牌号标示

1.1 概述

铝及铝合金是当前用途十分广泛的、最经济实用的材料之一。世界铝产量从 1956 年开始超过铜产量一直居有色金属之首。当前铝的产量和用量(按吨计算)仅次于钢铁,成为人类应用的第二大金属;而且铝的资源十分丰富,据初步计算,铝的矿藏储量约占地壳构成物质的 8% 以上^[1]。

铝是元素周期表中第三周期ⅢA 族元素,原子序数 13,原子量 26.98154,外层电子构型为 $3s^23p^1$,原子半径 0.143nm,离子半径 0.086nm。金属铝为银白色。铝的基本物理性质见表 1-1。

表 1-1 铝的基本物理性质

物 理 性 质	状 态	数 值
密度/(g/cm ³)	20℃, 固态 99.97% 铝	2.6996
	1000℃, 液态 99.97% 铝	2.289
熔点/℃	99.6% 铝	658.7
	99.996% 铝	660.24
沸点/℃	99.99% 铝	2520 ^①
平均比热容/[J/(kg·K)]	0~100℃, 99.99% 铝	917 ^①
熔化热/(kJ/mol)	99.99% 铝	10.47 ^①
汽化热/(kJ/mol)	99.99% 铝	291.4 (估算值) ^①
体积收缩率(%)	液体转固体时	6.6
平均线膨胀系数/(10 ⁻⁶ /℃)	20~100℃时	24.5
热导率/[W/(m·K)]	0~100℃时, 99.99% 铝	238 ^①
电导率/% IACS	20℃时, 99.60% 铝	62
电阻率/nΩ·m	20℃时, 99.99% 铝	26.7 ^①

① 引自中国大百科全书 矿冶卷 P444 1984。

铝的重量轻和耐腐蚀,是其性能的两大突出特点。纯铝的密度约为 2.7g/cm³,仅为铁、铜密度的 1/3。无论是固体铝或熔融铝,其密度均随着纯度的提高而降低;同等纯度的熔融铝的密度,则随温度的提高而降低。铝对自然界的水(含海水)、大气中的各种元素,以及油料与各种化学物品,都有良好的耐蚀性。这是由于