铝合金纹理蚀刻技术

杨　丁　编著

化学工业出版社

·北京·

本书是一本关于铝合金纹理蚀刻的著作，是作者多年来的工作总结。全书的编写本着深入浅出、通俗易懂、简单实用的原则，不仅详细探讨了化学纹理蚀刻的原理和方法，而且对纹理蚀刻在实际应用中所涉及的其他技术，如铝合金材料技术、氧化技术、丝印技术及作业管理等，也以较大篇幅进行了介绍和讨论。

本书使用范围较广，对于铝氧化厂的技术人员和作业管理人员具有相当的实用价值；也可作为相关专业师生教材使用；对于与铝合金加工和使用有关的五金厂、电子厂的相关人员也具有较高的参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

铝合金纹理蚀刻技术/杨丁编著. —北京：化学工业出版社，2006.12
ISBN 978-7-5025-9320-9

Ⅰ.铝… Ⅱ.杨… Ⅲ.铝合金-化学蚀刻 Ⅳ.TG146.2

中国版本图书馆 CIP **数据核字**（2006）**第** 161334 **号**

责任编辑：成荣霞　梁　虹　　**文字编辑：**刘莉珺
责任校对：陈　静　　**装帧设计：**张　辉

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　　装：化学工业出版社印刷厂
720mm×1000mm　1/16　**印张** 15¼　**字数** 303 **千字**　　2007 **年** 4 **月北京第** 1 **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：38.00 **元**
版权所有　违者必究
京化广临字 2007—04 **号**

前　言

铝合金纹理化学蚀刻是一种新的表面粗糙化处理技术，不同于平时所见的化学打砂。本书所介绍的纹理蚀刻技术，通过对蚀刻介质的调整及采用不同的工艺方法，可以做到对铝合金表面进行由细到粗、由哑到光的纹理蚀刻效果选择，使这一技术具有极为广泛的实用价值。本书所介绍的纹理蚀刻技术的最大特点主要表现在以下几个方面。

（1）新颖　铝合金纹理蚀刻技术是一种全新的铝合金表面粗糙化处理技术，改变了传统的铝合金表面物理粗糙化处理技术（即机械喷砂工艺和机械拉丝工艺），消除了由物理粗糙化加工工艺带来的噪声和粉尘污染，且不受工件大小及形状的限制。纹理蚀刻技术对于铝合金表面粗糙化加工工艺是一种革命性的更新。为未来产品追求更高质量打下了坚实的基础。

（2）精饰　通过纹理蚀刻技术处理的铝合金表面是一种“砂”和铝合金晶纹的结合体，赋予铝合金表面以“砂”和“纹”的双重效果，其高雅色调使产品更显高档、豪华、典雅。

（3）快捷　纹理蚀刻技术能同时对整挂工件进行粗糙化处理，便于和后工序衔接，尤其适用于铝合金纹理蚀刻-氧化全自动生产线的建立。标准单挂处理时间为3～8min，流水处理时间为3～4min。

（4）低价　纹理蚀刻技术能以低成本的价格进行高质量的铝合金表面粗糙化装饰处理，批量处理每平方米有效面积成本约为2元。

铝合金纹理蚀刻技术既可用于功能性用途加工，也可用于装饰用途加工。

（1）功能性用途　经纹理蚀刻后的铝合金表面由于具有较高的粗糙度，可明显提高其涂层和基体金属的结合力，可用作需要进行涂装/粘接加工的铝合金部件的预处理。如车用铝合金部件、室内装饰用铝合金幕墙、机电、家电、通讯等。对于涂装工艺来说，该项技术不失为一种优良的新型前处理工艺。散热器部件经纹理蚀刻后可大大提高散热器的真实表面积，提高散热效率。如用于飞行器外壳处理，其均匀的粗糙效果将明显提高其真实表面积，增大对一些波的吸收截面。这种蚀刻技术用于复印机、传真机、激光打印机的铝合金硒鼓，经蚀刻后的纹理均匀性和一致性都非常好，其效果优于喷砂工艺（主要是日本采用）和涂黑胶工艺（主要是美国采用），成为同类加工工艺中的第三种加工方法，用于同类机型中的中高档产品。

（2）装饰性用途　经纹理蚀刻处理后的铝合金表面，纹理粗细均匀、色调柔和、色泽美观、目视舒适，具有时尚流行的Cyber-Flashing铝合金表面状态，格调

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

高雅，凸显数码时代金属装饰效果。适合于机电、家电、通讯、高档汽车外壳及建筑用铝合金部件等。在竞争日益激烈的消费品市场中，提升产品外观装饰质量必可显著提升产品的市场品位。

本书的编写本着通俗易懂、实用的原则，不仅详细探讨了化学纹理蚀刻的原理和方法，而且对纹理蚀刻在实际应用中所涉及的其他技术，如铝合金材料技术、氧化技术、丝印技术及作业管理等，也以较大篇幅进行了介绍和讨论。所以本书具有较为广泛的使用范围，对于铝氧化厂的技术人员和作业管理人员具有相当的实用价值；也可作为相关专业师生教材使用；对于与铝合金加工和使用有关的五金厂、电子厂的相关人员也具有较高的参考价值。

全书分六章。第一章介绍铝合金的基本特点、铝合金的分类性能和主要用途。第二章介绍铝合金的化学腐蚀特点。着重介绍了对纹理蚀刻有重要影响的点蚀，并对点蚀产生的原理及过程做了详细的介绍。同时也介绍了常用铝合金的腐蚀行为。第三章介绍在各种环境中，纹理蚀刻的化学原理及蚀刻条件对纹理蚀刻的影响。熟悉本章就可根据产品的需要，设计出能最大限度满足蚀刻要求的配方。第四章介绍纹理蚀刻后的防护与装饰处理。由于这方面的技术已有较多资料介绍，所以本章以实用至上的原则对相关内容进行有针对性的介绍和讨论。第五章介绍几种目前常用的铝合金纹理蚀刻加工方法。对每一种常用加工方法都逐一进行了详细介绍，对每种方法在生产过程中遇到的异常情况及处理方法也一一进行了讨论。第六章针对某些氧化厂在生产、工程、质量上存在的管理缺陷，借鉴成功厂家的管理经验，把目前认为复杂的管理理论用最简单的条例和明晰的图表反映出来。对管理的实际操作会有很大的帮助。特别是其中的几个管理程序图，把纹理蚀刻-氧化的全过程通过图解的方式直观地表现出来，使其更便于操作。

本书所介绍的铝合金化学纹理蚀刻技术的前期研究工作，早在 1990 年就已开始。其技术前身“铝及铝合金化学砂面处理工艺研究”在 1992 年获得航天科学技术进步奖。在以后的工作中经过不断的实验研究，技术上取得了新的突破，并于 2000 年申请了“铝合金表面化学纹理直接蚀刻的方法”技术专利，2005 年获得中国发明专利授权。

在 1990 年研究工作展开伊始，曾得到航天部七一零五厂高级工程师于文魁老师的悉心指导和帮助，两年后我和于文魁老师共同完成了“铝及铝合金化学砂面处理工艺研究”项目，获得了航天科学技术进步奖。1997 年，我再次和于文魁老师，以及同属航天部七一零五厂的高级工程师吕香伦老师一起制定了“铝合金化学砂面处理工艺规范”及“铝合金化学砂面处理技术条件”两份航天工业标准。在此对两位老师给予我的帮助和支持致以最诚挚的感谢！

本书的完成，除了本人在本专业领域进行了较多的实验研究外，同时也参考了大量国内外有关学者的著述，吸收了铝合金腐蚀及化学/电化学加工领域的研究成果，并在此基础之上对铝合金的纹理蚀刻原理进行了深入研究，使其从一些基本配

方上升到了具有一定理论基础的专业技术，并能在本书所建构的基本理论之上，在一定范围内进行多种纹理蚀刻配方的设计。也为有志于发展这一技术的科技人员提供了一个可资借鉴的平台，使其在熟悉本书的情况下能做到举一反三，这也是出版本书的主要目的。

化学工业出版社相关编辑为本书提出了很多宝贵意见使本书得以顺利出版，在此表示最诚挚的感谢！

作者

2006.11

目　　录

第一章　绪论 …… 1
第一节　铝的概况 …… 1
一、铝的发现 …… 1
二、铝的生产 …… 1
三、铝的性质 …… 2
四、铝的主要特点 …… 3
五、铝的用途 …… 4
第二节　铝合金及分类 …… 5
一、变形铝合金的分类及主要性能 …… 6
二、铸造铝合金的分类及主要性能 …… 9
第二章　铝合金化学腐蚀的基本原理 …… 11
第一节　铝合金腐蚀特点 …… 11
第二节　铝合金腐蚀的基本类型 …… 15
一、点蚀 …… 16
二、点蚀半径和点蚀深度对表面纹理状态的影响 …… 22
三、晶间腐蚀 …… 23
第三节　分类铝合金的腐蚀行为 …… 24
一、纯铝的腐蚀行为 …… 25
二、合金铝的腐蚀行为 …… 25
第三章　铝合金纹理蚀刻原理与方法 …… 29
第一节　清洁处理 …… 29
一、溶剂清洁 …… 29
二、化学清洁 …… 29
三、电化学清洁 …… 33
第二节　酸性环境中的纹理蚀刻 …… 34
一、酸性氟化物纹理蚀刻纹理形成机理 …… 34
二、酸性氟化物纹理蚀刻方法 …… 36
三、溶液成分及操作条件对纹理蚀刻的影响 …… 37
四、常见故障原因及排除方法 …… 42
第三节　碱性环境中的纹理蚀刻 …… 42
一、碱性纹理蚀刻纹理形成机理 …… 43

二、碱性纹理蚀刻方法 …… 46
三、溶液成分及蚀刻条件对纹理的影响 …… 49
四、提高纹理粗糙度方法 …… 52
五、常见故障原因及排除方法 …… 55
第四节　酸-碱二步法纹理蚀刻 …… 56
一、酸-碱二步法纹理蚀刻纹理形成机理 …… 56
二、酸-碱二步法纹理蚀刻方法 …… 59
三、酸性纹理预蚀刻溶液成分及蚀刻条件对纹理的影响 …… 61
四、碱性纹理粗糙形成蚀刻溶液成分及蚀刻条件对纹理的影响 …… 64
五、纹理化学抛光 …… 65
六、常见故障原因及排除方法 …… 67
第五节　铝离子回收及三废处理简介 …… 69
一、铝离子回收 …… 69
二、纹理蚀刻污水及废气处理 …… 70
第六节　纹理蚀刻生产线设计简介 …… 72
一、加工工艺流程 …… 72
二、生产线设计 …… 74
第四章　铝合金防护与装饰 …… 78
第一节　化学氧化 …… 78
一、弱碱性化学氧化 …… 79
二、弱酸性化学氧化 …… 83
第二节　硫酸阳极氧化 …… 86
一、阳极氧化膜的生长过程 …… 86
二、阳极氧化膜层的性质 …… 88
三、硫酸阳极氧化电解液组成及配制方法 …… 89
四、影响氧化膜层质量的因素及操作注意事项 …… 90
五、硫酸电解液维护及常见故障处理 …… 96
第三节　铬酸阳极氧化 …… 99
一、铬酸阳极氧化的特点 …… 99
二、铬酸阳极氧化操作方法 …… 100
三、铬酸电解液维护及常见故障处理 …… 101
四、硫酸氧化法和铬酸氧化法比较 …… 102
第四节　草酸阳极氧化 …… 103
一、草酸阳极氧化的特点 …… 103
二、草酸阳极氧化操作方法 …… 104
三、草酸阳极氧化电解液维护及常见故障处理 …… 105
第五节　硬质阳极氧化 …… 106
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

一、硬质阳极氧化的特点 …… 106
二、硬质阳极氧化工艺要求 …… 107
三、硫酸硬质阳极氧化工艺方法 …… 107
四、混酸硬质阳极氧化 …… 109
五、硫酸硬质阳极氧化法和混酸硬质阳极氧化法比较 …… 110
第六节 氧化膜层着色方法 …… 110
一、吸附染色法 …… 111
二、电解着色法 …… 116
三、封闭处理 …… 120
四、不合格氧化膜的退除 …… 121
第七节 图文蚀刻与丝网印刷工艺 …… 122
一、胶片制备 …… 122
二、网版制备 …… 124
三、丝印方法 …… 127
四、丝印中常见问题与处理方法 …… 130
第八节 小型氧化线设计 …… 133
一、厂房位置选择 …… 133
二、设计步骤 …… 133
第五章 铝合金纹理蚀刻与阳极氧化加工实例 …… 138
第一节 浮雕图文蚀刻工艺方法 …… 138
一、工艺流程及工艺过程详解 …… 138
二、蚀刻液调配及常见故障处理方法 …… 144
第二节 丝状纹理图文蚀刻工艺方法 …… 146
一、工艺流程及工艺过程详解 …… 146
二、蚀刻液调配及常见故障处理方法 …… 151
第三节 碱性纹理蚀刻工艺方法 …… 153
一、工艺流程及工艺过程详解 …… 153
二、蚀刻液调配及常见故障处理方法 …… 158
第四节 酸性纹理蚀刻工艺规范 …… 159
一、工艺流程及工艺过程详解 …… 160
二、蚀刻液调配及常见故障处理方法 …… 164
第五节 酸-碱二步法纹理蚀刻工艺规范 …… 165
一、工艺流程及工艺过程详解 …… 165
二、蚀刻液调配及常见故障处理方法 …… 171
第六章 纹理蚀刻氧化作业管理 …… 174
第一节 生产管理职责 …… 174
一、生产部门基本管理职责 …… 174

二、生产各工序管理职责详解 …… 177
第二节 工艺工程管理职责 …… 183
一、工艺工程基本管理职责 …… 183
二、样板制作 …… 184
第三节 品质管理职责 …… 189
一、品质管理基本职责 …… 190
二、基本术语及抽样检查方法 …… 195
三、质量观念 …… 199
附录一 国产铝合金的分类 …… 203
附录二 美国铝协会对铝合金的分类 …… 210
附录三 国内外常用铝合金材料牌号对照 …… 219
附录四 国产变形铝合金化学成分 …… 225
参考文献 …… 234

第一章　绪　　论

第一节　铝的概况

一、铝的发现

铝是地壳中含量最丰富的金属元素之一，其蕴藏量在金属中居第二位，在自然界中主要存在于铝硅酸盐矿石中，如正长石（$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$）、白云母（$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$）、铝矾土（$Al_2O_3 \cdot 2H_2O$）、高岭土等矿石中。

远在史前时代，人们就已经使用含铝的矿物质黏土来制作陶器。到了18世纪初，有人利用氧化铝作原料、用碱金属作还原剂想要把铝从某氧化物中还原成单质金属，但并未取得成功。直到19世纪20年代才由丹麦人H. C. Oeisted将Cl_2通入红热的Al_2O_3和木炭的混合物中，制备了$AlCl_3$，再用钾汞齐将铝还原出来，第一次制备出了低纯度的铝的金属粉末。后来F. Wohler用钾代替汞合金还原$AlCl_3$得到了较纯的金属铝粉末，并取得了许多铝的物理和化学性质的资料。

到了19世纪50年代，法国化学家Henri Sainte-Dlaier Deville，改进了前人的制备方法，用钠还原$AlCl_3$，使铝的产率和纯度都有较大提高。之后，铝的生产才进入商业化，只不过在当时铝的价格如今天的黄金一样昂贵。

同年，Deville和德国的R. Bunsun提出了利用铝矿石，以电解方法来大量制取金属铝，并在各自的实验室获得成功后，铝的生产才受到了新的刺激和推动，从而开始了进入技术革命的新时代。

1886年Charles Martin Hall在美国俄亥俄州、Paul-Louis Heroa在法国各自独立地将溶解在熔融冰晶石中的氧化铝（Al_2O_3）电解还原技术开发成功，并获得专利。从此铝的生产进入工业化时代，电解还原法仍是今天工业化提取铝的唯一方法。

二、铝的生产

铝的生产有两个步骤：①从矿石中提取高纯度的Al_2O_3并脱水；②将Al_2O_3熔解在熔融的冰晶石电解质中进行电解。

通常是用拜耳法或烧结法处理铝土矿以制取无水Al_2O_3。拜耳法更为常用，该方法首先将矿石粉碎，然后在一定温度和加压下用NaOH溶液溶解，溶解后生成易溶的$Na[Al(OH)_4]$，不溶的残渣（也称红泥渣）用倾泻法或过滤法除掉。

$$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \xlongequal{} 2Na[Al(OH)_4]$$

再向滤液中通入 CO_2 促使铝酸盐水解。

$$2Na[Al(OH)_4]+CO_2 \xlongequal{} 2Al(OH)_3\downarrow+Na_2CO_3+H_2O$$

将 $Al(OH)_3$ 过滤分离，干燥后煅烧便得到了符合电解需要的纯净 α-Al_2O_3。

$$2Al(OH)_3 \xlongequal{\text{煅烧}} Al_2O_3+3H_2O$$

将 Al_2O_3 熔于由冰晶石等熔剂所组成的熔盐中，通以直流电进行电解。

$$2Al_2O_3 \xlongequal{\text{电解}} 4Al+3O_2\uparrow$$

电解的铝用虹吸法将熔融态铝从电解池中注入大坩埚中，然后倒入模具成型得到铸锭。这种电解铝的平均纯度为 99.8%，用 Hoopes 电解精制，铝的纯度可达 99.99%。

拜耳法工艺流程如图 1-1 所示。

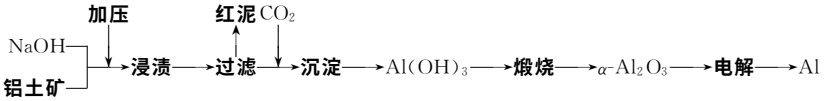

图 1-1 拜耳法工艺流程

通过电解法冶炼的铝，主要杂质成分有 Fe 和 Si、Zn、Ga、Ti、V 等，也通常作为微量杂质元素存在。关于铝的纯度标准，国际上通行的做法是以确定的成分及其数值来作为基本标准，来确定其最低纯度。在美国，常规做法是将 Fe 与 Si 的相对含量作为更重要的标准来考虑。未合金化的金属级别，可由其纯度来定义，如铝含量为 99.70%的铝。或者由美国铝协会制定的方法来定义，该法规定以 P×××级别为标准。在后一种情况下，字母 P 后的数字表明 Si 与 Fe 各自所占的最大百分之零点几数值。

全世界铝产量以美国最大，以 1988 年的统计：美国铝产量占世界铝产量的 22.8%，而欧洲占 21.7%。其余 55.5%的铝产自亚洲（6.6%）、加拿大（8.9%）、拉丁美洲（8.8%）、大洋洲（7.8%）、非洲（3.1%）和其他地区（21.3%）。

三、铝的性质

铝是银白色而具有光泽的金属，质轻，密度在 20℃时为 2.6989g/cm^3。没有毒性和磁性，撞击时不产生火花。延展性好，其延性在金属中居第六位，展性居第二位。纯铝很软，莫氏硬度只有 2.9，但它能与 Cu、Mg、Mn、Si、Zn 等多种元素形成强度高而质量轻的铝基合金。

铝具有高的电导率、高的热导率和高的反射率。铝对可见光和紫外光的反射率在普通金属中是最高的。铝可以用作近似黑体的物质，在红外区，铝的反射性仅次于金和银。在室温下，纯铝的电导率是国际韧炼铜标准（IACS）的 62%（体积），20℃时约为 2.8m·Ω/ cm^3。这表明铝的单位质量电导约为铜的两倍。铝的主要物理性质见表 1-1。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

表 1-1　铝的物理性质

铝在地壳中丰度/%(质量)	8.8	密度(20℃)/(g/cm³)	2.6989
/%(原子)	6.6	熔点时密度(液体)/(g/cm³)	2.37
在海水中的丰度/(g/t)	0.16～0.19	硬度/莫氏硬度	2.75
相对原子质量	26.98154	电阻率/(μΩ·cm)	2.62(0℃)、2.6548(20℃)
沸点/℃	2467	反射率/%	85～90
熔点/℃	660.37	标准电极电位 $Al^{3+}+3e\longrightarrow Al$	−1.66
热导率/[W/(m·K)]	234.46	抗拉强度/(kg/mm)	1.27(20℃)退火状态

铝在空气中有高的稳定性，即使在无任何保护的情况下亦具有较强的抗蚀能力。这是由于铝的活泼性较高，铝暴露于大气中其表面会立即自然地生成一层薄而透明且坚韧的氧化膜层。这一天然的氧化膜层达到一定厚度就会自动停止生长，其厚度由环境和暴露时间而定，在干燥空气中和室温下约为 50×10^{-10}m，最厚亦可达 100×10^{-10}m。

铝是两性金属，在碱性环境中会很快被腐蚀，在浓硝酸和浓硫酸中会被钝化，而不被进一步腐蚀，对大多数有机酸亦显惰性。因此铝容器可以用来贮藏浓硝酸、浓硫酸、有机酸和许多其他化学试剂。但卤素离子对铝有极强的侵蚀力，因此铝容器不能用于含这类物质的贮藏、包装、运输等。

四、铝的主要特点

(1) **密度小**　铝合金的一个显著特点就是密度小，纯铝密度接近 2.7g/cm³，约为铁或铜的 1/3。铝合金根据合金成分不同，密度有一定变化，主要取决于添加元素的密度。在铝中添加 Mg、Li、Si 等合金元素，尤其是 Li 使合金密度减小。在铝中添加 Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Zn 等合金元素则使合金密度增大。轧制能提高合金密度，冷加工使合金密度降低、位错增加，但若经过退火则位错消失、密度增加。常见合金元素对密度的影响如图 1-2 所示 。

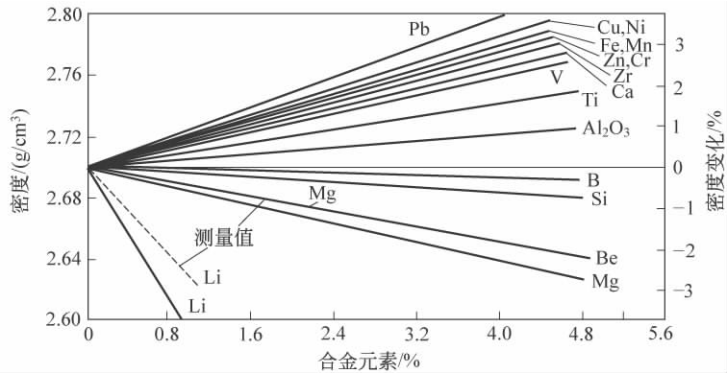

图 1-2　合金元素对铝密度的影响

(2) **可强化**　纯铝强度不高，但可通过冷加工或添加 Mg、Cu、Mn、Si、Li 等元素合金化，再通过热处理进一步强化，得到很高的强度。在工业上应用的铝合金都要掺入一些旨在改善铝合金强度的合金元素，常见添加元素主要有 Mg、Si、

Cu、Zn、Mn、Ni 等。这些元素能与铝形成固溶体，改变合金的性能。对于某些特定用途，可以在铝合金中添加少量其他元素，如 Cr、V、Pb 和 Bi 等。制作精细浇铸件常加入 Ti；在合金中掺入 Ag 可改善合金的延展性，并可取得光滑的外表。

（3）易加工性　铝可用任何一种铸造方法进行铸造加工。铝的塑性好，加工速度快，可以挤压成各种复杂断面的型材，并可进行车、铣、镗、刨等机械加工。对于冲压加工所需机床，铝合金的冲压力比其他金属小，模具使用寿命长。

（4）耐蚀性　铝合金表面极易生成一层致密牢固的氧化物保护膜，这层保护膜只有在卤素离子存在和碱性情况下才容易被破坏。因此铝有很好的耐大气腐蚀和耐水腐蚀能力。

（5）无低温脆性　铝在 0℃以下时，随着温度的降低，强度和塑性不仅不会降低，反而还会提高。

（6）导电、导热性好　铝的导电、导热性能仅次于银、铜和金。室温时，电工铝的等体积电导率可达 62％(IACS 是指国际韧炼铜标准)。若按单位质量导电能力计算，其导电能力为铜的 1 倍。但加入任何合金元素都会使铝的电导率下降。

（7）反射性强　铝的抛光表面对白光的反射率达 80％以上，铝纯度越高反射率越高。同时，铝对红外线、紫外线、电磁波、热辐射等都有良好的反射性能。

（8）无磁性　铝合金受冲击不产生火花，这对某些特殊用途十分可贵。可用作仪器仪表、电气设备的屏蔽材料，以及易燃易爆物的生产器材等。

（9）吸音性好　对室内装饰有利，也可配制成减震合金。这一特性用于高档铝合金音箱制作时，特别是经纹理蚀刻后，其内部真实面积大大提高，将更进一步提高音响综合性能。

（10）耐核辐射　铝对高能中子具有与其他金属相同程度的中子吸收截面。对低能范围内的中子，其吸收截面仅次于铍、镁、锆等金属。而铝耐核辐射的最大优点是对照射产生的感应放射能衰减快。

（11）美观　铝合金由于反射能力强，表面呈银白色光泽，经加工后可达到很高的光洁度和光亮度。如经特殊前处理、阳极氧化、染色或丝网印刷等加工方法处理，不仅具有高的抗蚀性能，而且还有美丽的外观。还可通过电镀、化学镀等加工手段进一步提高其装饰性、功能性用途。特别是现在，随着物质生活水平的提高，人们对居室装修也有了更高的要求。经纹理蚀刻后的铝材将更为凸显其美观，为室内装修业引入了一种新的高档材料，使居室更显高贵典雅。

五、铝的用途

铝合金以其优良的力学性能、电气性能、电化学性能和可加工性能，正被广泛用于建筑、交通、电力、化工、食品包装、机械制造和日用工业。民用建筑业用铝量最大，近年来室内装修方面铝合金的需求占有较大比例，并在不断增长中。

铝合金作为一种战略金属，在军事上广泛用于制造飞机、舰船、装甲、坦克部件、导弹弹体等，人造卫星等各种太空飞行器也都大量使用铝合金。

高纯铝具有优良的导电性、可塑性、反光性和抗蚀性，其中最具有价值的是抗蚀性能。铝的纯度越高，氧化膜层越牢固越致密，其抗蚀性能也越高。这些赋予高纯铝以特殊性能，广泛用于天线器件、天文望远镜的反射镜、电力输送等。

在以上领域，所使用的铝件有些是功能用途，有些是装饰用途，或兼而有之。单就对民用装饰用铝合金材料而言，随着社会经济的发展和人民物质生活水平的提高，人们今天所追求的已从过去的“有与没有”到今天的“好与不好”、“美与不美”。而目前铝合金表面装饰技术相对单一，这就需要去研究更多更好的装饰工艺技术，使铝合金材料的装饰效果更为丰富更加多样化，同时也为室内装饰提供更大的选择性。

第二节　铝合金及分类

铝合金按其产品类型可分为板材、棒材、线材和型材。

（1）板材类　板材是工业上用得最多的一种材料，板材按其厚度又分为厚板类和薄板类。

① 厚板类。按美国标准，厚板是指厚度大于 0.25in(6.3mm) 的产品。2×××和 7×××系列合金的厚板也有包铝形式。对于飞机等飞行器构件，最常用的合金是 2024、2124、2219、7075、7050、7150、7475、7178 等；对于航海应用、低温燃料箱组与压力容器，最常用的合金是 5083、5086、5456 等；对于一般应用，最常用的是 1050、1010、1100、3003、5052、6061、6063 等。

② 薄板类。按美国标准，薄板是指厚度为 0.006～0.249in(0.15～6.3mm) 的产品。其表面状态分为：工厂一般精整、一面光亮精整或两面光亮精整。对于 2×××和 7×××系列薄板也有包铝形式。除少数外，1×××、2×××、3×××、5×××、7×××系与 6061 等系列的大多数铝合金都能生产薄板，且具有范围很广的用途，从建筑小五金到运输设备，从家用小电器到飞机构件等。

（2）棒材与线材类　2011、6262 是专门设计供制作螺钉的产品；2117、6053 用于制铆接件与零配件；1350、6101、6201 广泛用作线材；2024-T4 是螺栓与螺丝的标准材料；5056 合金用作拉链；5056 包铝合金可制作防虫纱窗网等。

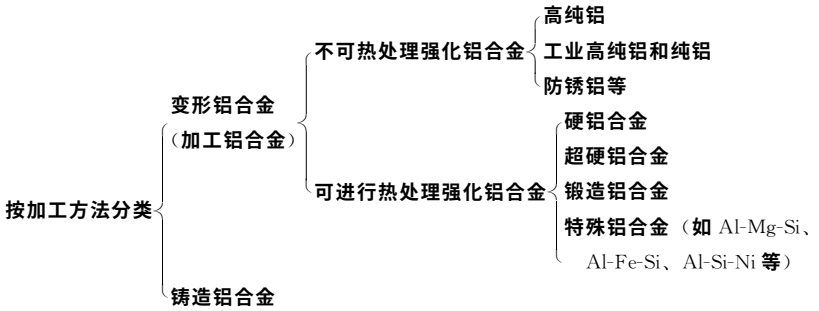

图 1-3　铝合金的分类

铝合金按其加工性能可分为变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金又分为可热处理强化变形铝合金和不可热处理强化变形铝合金（见图 1-3）。

一、变形铝合金的分类及主要性能

1. 美国铝协会分类

变形铝合金各国分类型号不尽相同，按美国铝协会标准，变形铝合金可分为以下系列。

（1）1×××系　该系列产品是纯铝系列。其特征是具有优良的抗腐蚀性能、高电导率、高热导率、低力学性能及优良的可加工性。通过应变硬化，可使强度获得中等程度增加。典型用途包括化工设备、反射器、热交换器、导电体、电容器、包装用箔片、建筑和装饰镶边等。

（2）2×××系　Cu 是该系合金的主要合金元素，合金中经常还有作为次要添加成分的 Mg。该系列中的合金抗蚀性能不是很好，而且在某些情况下还会受到晶间腐蚀。因此，呈薄板形式的这些合金通常要用一层高纯度的铝或 6××× 系的 Al-Mg-Si 合金予以包覆。

该系列中的合金特别适合于制作对于强度/质量比要求高的部件和结构件，常用来制造卡车与飞机轮子构件、卡车悬挂系统构件、飞机机身与蒙皮，及要求在高达 150℃（300 °F）的温度下仍需具有良好强度的结构部件。除 2219 合金外，这些合金都具有有限的可焊接性，但这个系列中多数合金具有优良的可机加工性能。

（3）3×××系　Mn 是该系合金的主要合金元素。该系合金一般不可用热处理方法进行强化处理，但有比 1××× 系合金高 20％以上的强度。由于只有有限含量的 Mn（1.5％左右）能有效地添加进铝中，因此 Mn 仅在很少数合金中用作主要元素。该系合金只有三种广泛应用的通用合金，即 3003、3004、3105。该系合金的机械强度比 1××× 系高，塑性好，焊接性能好，其抗蚀性能仅比高纯铝略低。故可用于饮料、罐头、炊事用具、热交换器、贮槽、遮蓬、家具、公路标志、屋顶、幕墙板等。

（4）4×××系　Si 是该系合金的主要合金元素，Si 能以较大量（12％）加到铝中。这个系列的合金一般不可热处理强化。该系合金可用作焊接铝用的焊丝和钎料。这类合金在阳极氧化时，表面呈深灰至炭黑色。4032 合金具有低的热膨胀系数和高的耐磨性，适合于生产锻造引擎活塞。

（5）5×××系　Mg 是该系合金的主要合金元素。当 Mg 用作主要合金元素或与 Mn 一起使用时，能形成具有中等强度或高强度的可加工硬化合金。这个系列的合金具有良好的焊接性能，并在海洋空气中具有良好的抗蚀性能。该系合金用途包括建筑材料、装饰和装饰镶边、罐头和罐头盖、家用电器、街灯标准件、船舶、低温燃料箱组、吊车部件及汽车结构件等。

（6）6×××系　该系合金含有 Si 与 Mg，属可热处理强化合金。该系合金具有中等强度，但不如多数的 2××× 和 7××× 合金强度高。该系合金具有良好的

成形性、可焊接性、可机加工性和抗蚀性。可用于建筑材料、自行车车架、运输设备、桥梁栏杆和焊接结构件等。

（7）7×××系　Zn 是该系合金的主要合金元素，添加量为 1%～8%。属具有中等强度至很高强度的可热处理强化合金。可用于制作飞机机体结构件、移动式设备及其他高应力部件。

2. 国产铝合金分类

国产变形铝合金分类如下。

（1）纯铝　这类铝材国产牌号为 L 及 LG 系列合金，对应美国铝协为 1××× 系列合金。可分为工业纯铝（L）和高纯铝（LG），纯度在 99.50%～99.79%的铝称为工业纯铝，纯度为 99.8%～99.99%的铝称为高纯铝。

纯度对铝的各种性能有显著影响。纯铝的主要杂质是 Fe 和 Si，含量增加时，虽能提高合金强度，但却降低了合金塑性、电导率和抗蚀性能。

纯铝具有高的可塑性、耐蚀性、导电性和导热性。但强度低、热处理不可强化、切削性能不好。可气焊但不易钎焊，易承受各种压力加工，如拉伸、弯曲等。

纯铝主要用于不承受载荷，但要求具有高的可塑性、良好的焊接性、高的耐蚀性或高的导电导热性的结构元件。如铝箔用于制作垫片及电容器，其他半成品用于制作电子管隔离罩、飞机通风系统零件等。在民用行业广泛用于各种低强度电器壳体的制作。

（2）防锈铝　防锈铝包括 Al-Mn、Al-Mn-Mg、Al-Mg、Al-Mg-Mn 系合金。它们的机械强度比纯铝高，但不可进行热处理强化。该系合金有高的抗蚀性能，故此得名。该系合金还具良好的焊接性能。

① Al-Mn、Al-Mn-Mg 系防锈铝。对应美国铝协会牌号为 3××× 系列合金。这类合金国产牌号只有 LF-21 一种（3003）。Mn 在铝中并无明显强化作用，也不能进行热处理强化，常采用冷加工方法来提高其力学性能。在退火状态下有高的塑性，但退火处理方法不当时，由于 Mn 在合金内极易产生偏析而使合金的晶粒不均匀。如退火时低 Mn 部分先再结晶，优先长大形成粗大晶粒，而高 Mn 部分后再结晶，晶粒较细。这种晶粒不均匀的材料在冲压时易使 Mn 偏析，造成橘皮状粗糙面，从而严重影响表面处理质量。在加工时常放宽 Fe 杂质的范围以减少晶粒细化；或采取快速退火来获得细晶粒组织板材。在半冷作硬化时塑性尚好，冷作硬化时塑性低，耐蚀性好，焊接性良好。

合金中 Si 杂质可降低 Fe 的晶粒细化作用，Cu 杂质影响合金抗蚀性能。

该系合金的可焊性能、切削加工性能、阳极氧化性能与工业纯铝相当。含 1% Mg 的合金在深冲后有加工软化现象，而其他合金则无此现象，适于制作变薄深拉的工件，如易拉罐等。

② Al-Mg、Al-Mg-Mn 系防锈铝。这类合金国产牌号是除 LF-21 以外的其他 LF 系列合金，对应美国铝协牌号为 5××× 系列合金。

该合金系的主要元素是 Mg。当 Mg 用作主要合金元素或与 Mn 一起使用时，能形成具有中等强度或高强度的可加工硬化合金。在该系合金中添加 Zr 与 Fe 可提高再结晶温度。Si 能改善流动性。Mn 或 Cr 能中和 Fe 对抗蚀性的不利影响。Zn 对合金的抗蚀性无影响，但能提高合金的铸造性能与强度。Ti 与 B 能细化合金晶粒。少量 Be 能防止熔铸和焊接时的氧化倾向。

由于该系合金有轻微的时效硬化和强烈的沿晶界沉淀倾向，只能在退火(300～360℃）或冷作硬化状态下使用。合金通过冷作硬化可使其强度明显提高，但塑性下降、抗蚀性能恶化，而随后采用加热的方法，无论是塑性或抗蚀性能都可重新获得改善。

这个系列的合金具有良好的焊接性能，并在海洋空气中具有良好的抗蚀性能。Al-Mg 合金经光亮酸蚀或电解抛光的表面有很高的反射能力，即使在阳极氧化后反射能力仍很高，且保持光泽的能力比其他同类性质的材料高得多。

(3) 硬铝　这类合金国产牌号为 LY 系列合金，对应美国铝协会牌号为 2×××系列合金。

硬铝合金又称杜拉铝，Cu 和 Mg 是这一系列合金的主要合金元素，合金的强度主要决定于 Cu，它的强化相为 $CuAl_2$。Mg 能进一步提高合金的强度，并能改善硬铝抗晶间腐蚀的能力，并能消除 Fe 杂质对合金自然时效的影响。

合金中添加了 Mn 元素，由于 Mn 抑制挤压与固溶处理时的再结晶过程，产生挤压效应，进而提高合金强度；另一作用是能消除 Fe 杂质对合金抗蚀性能的不利影响，稳定人工时效组织，有利于合金耐热性能的提高。

由于该系合金中 Cu 是主要合金元素，所以不具有较好的抗蚀性能。呈薄板形式的该系合金通常要用一层高纯度的铝或 Al-Mg-Si 合金予以包覆。

该系合金中除少数合金外，都具有有限的可焊接性。但这个系列中多数合金具有优良的可机加工性能和高的强度。广泛用于飞行器和其他强度要求高的结构件。

(4) 锻铝合金　这类合金国产牌号为 LD 系列合金，对应美国铝协会牌号为 6×××系列合金。

① Al-Mg-Si 系锻铝合金。该系合金具有中等的强度，优良的可焊性能和抗蚀性能，并可热处理强化。为了得到高的强度，该系合金在淬火后须立即进行人工时效。该系合金中 Mg、Si 含量比为 1.73 时，其合金材料表面光洁，易于阳极氧化。

② Al-Mg-Si-Cu 系锻铝合金。该系合金是在 Al-Mg-Si 合金的基础上发展而来，合金中的 Cu 能提高合金强度。该系合金具有良好的可焊性能、机加工性能和抗蚀性能。强度高于 Al-Mg-Si 系合金，并有较高的耐热性和较好的热塑性。

(5) 超硬铝合金　这类合金国产牌号为 LC 系列合金，对应美国铝协会牌号为 7×××系列合金。

Al-Zn-Mg 系列是中等强度可焊超硬铝合金。Zn 和 Mg 是该系合金中的主要合金元素，该系合金具有中等强度，良好的可焊性能和抗均匀腐蚀能力。Zn/Mg＝

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com