

铝和铝合金的

阳极氧化与染色

徐捷 兰为军 编著



化学工业出版社

Anodizing and Dyeing of Aluminium and Its Alloys

铝和铝合金的 阳极氧化与染色

徐捷 兰为军 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

阳极氧化与染色是铝表面处理中应用非常广泛的一种装饰技术,该技术既可提高铝和铝合金制品耐蚀、耐光等性能,又可美化外观,获得绚丽多彩的装饰效果,增加产品附加值。本书首先介绍了阳极氧化之前的铝表面清洗、酸碱侵蚀、抛光;阳极氧化膜形成机理、阳极氧化工艺。然后系统阐述了阳极氧化膜染色染料、染色原理、染色工艺与方法、逐一分析了染色各项因素;对各种阳极氧化与染色后的封孔工艺与方法进行了讨论;推荐了阳极氧化与染色中检测试验和分析方法。

本书内容详实、资料丰富、数据准确、图文并茂、通俗易懂,操作性、实用性强。适于从事铝表面处理的工程师、大专院校师生、研究人员、高级技师阅读,也可供从事化工产品生产与销售的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铝和铝合金的阳极氧化与染色/徐捷,兰为军编著.
北京:化学工业出版社,2010.4
ISBN 978-7-122-07719-6

I. 铝… II. ①徐…②兰… III. ①铝-阳极氧化
②铝合金-阳极氧化③铝-金属表面处理④铝合金-金属表面处理 IV. TG178

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第018089号

责任编辑:赵卫娟 顾南君
责任校对:郑捷

装帧设计:杨北

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

787mm×1092mm 1/16 印张20 $\frac{3}{4}$ 字数557千字 2010年6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:60.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2010—8号

前 言

铝和铝合金的阳极氧化与染色是铝表面处理中应用十分广泛的一种装饰技术。铝和铝合金制品经过阳极氧化后再染色，既可提高产品的耐蚀、耐光性能，又可美化外观，获得绚丽多彩的装饰效果，增加产品的附加值。铝和铝合金的阳极氧化与染色在 20 世纪 30 年代已有萌芽，在 20 世纪 50 年代开始盛行，1982 年山道士铝阳极氧化染料开始在国内出现，但应用不多，大多数国内企业还是以非专业的纺织染料染色，技术相对比较落后，而且当时也没有介绍铝和铝合金的阳极氧化与染色的专著。国内外比较权威的一些铝和铝合金的表面处理专著均以介绍阳极氧化为主，一般用 1~2 章简单介绍阳极氧化膜的染色，为此笔者早有对铝和铝合金的阳极氧化与染色技术进行研究和介绍的情结。

1999 年中国轻工业出版社出版的《工业产品的着色与配色》及 2001 年化学工业出版社出版的《实用着色与配色技术》中，分别有章节简单介绍铝和铝合金的阳极氧化与染色技术，受到了业内人士的欢迎和广大读者的好评，曾有制作铝阳极氧化染色标牌的读者将感谢的锦旗送到了化学工业出版社，有制作铝锅的读者带着产品千里迢迢找著者解决问题。为方便与读者们的交流，我们开通了铝阳极氧化与染色网 (www.aludye.com)，通过与众多业内同行的交流，让笔者深切感悟到编撰一本系统全面、内容详实、操作性强、时代感足、工艺前瞻的铝和铝合金的阳极氧化与染色技术书籍是很有必要的。

我们在收集国内外已有的铝和铝合金的阳极氧化与染色方面最前沿专利、论文、书籍等基础上，结合一线企业工艺技术人员意见以及自己的研究与实践，倾尽全力完成了本书奉献给广大读者。

本书概述了铝和铝合金的发展历史和阳极氧化与染色产品的应用，简要介绍了铝和铝合金的阳极氧化与染色之前的预处理，阐述了铝阳极氧化膜及阳极氧化工艺；用大量篇幅重点推出铝阳极氧化染料及染色基础、染色理论，逐一分析染色工艺中的各项参数，详尽描述了铝阳极氧化膜染色的染色工艺、染色方法、操作要点、缺陷分析；系统讨论了阳极氧化膜染色后的封孔原理、工艺、方法；着重推荐阳极氧化与染色中检测试验和分析方法。本书中有插图近 400 幅、表格 200 多幅，目的是便于理解。本书内容详实、资料丰富、数据准确、图文并茂、通俗易懂、实用性强。

参加本书写作的有徐捷、兰为军、徐博、徐侃衍、陈伦涛、李力、曾凡、薛宏雪、石莲英、冯艳华、李海华、李晓艳等。本书第一章、第二章、第三章的编写由兰为军组织，第四章、第五章、第六章、第七章由徐捷组织，全书由徐捷统稿，张红鸣老师审稿。

在完成本书的过程中，得到春生精细化工公司业主的大力支持，得到业内朋友的鼓励和支持，在此一并表示感谢。

由于铝和铝合金的阳极氧化与染色技术的专业性极强，我们的学识水平有限，对问题的看法或许有偏见，书中的不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

徐 捷

2010 年 3 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 铝和铝合金的发展历史.....	1
第二节 铝的性质.....	1
第三节 铝的腐蚀性与腐蚀形态.....	2
一、铝的腐蚀性.....	2
二、铝的腐蚀形态.....	3
第四节 铝和铝合金的表面处理与阳极氧化.....	3
一、铝和铝合金的表面处理技术.....	3
二、铝和铝合金的阳极氧化.....	4
第二章 铝的预处理	5
第一节 铝的机械预处理.....	5
一、磨光.....	5
二、抛光.....	6
三、滚光、振动光饰、刷光、喷砂、喷丸.....	7
第二节 除油.....	12
一、除油原理.....	12
二、常用除油方法.....	14
三、除油实例.....	17
四、除油液中各组分的作用.....	20
五、其他除油方法.....	21
第三节 侵蚀.....	22
一、碱侵蚀.....	22
二、碱侵蚀后的除灰工艺.....	28
三、酸侵蚀.....	30
第四节 化学抛光和电化学抛光.....	30
一、化学抛光.....	31
二、电化学抛光.....	39
第三章 阳极氧化处理	49
第一节 铝阳极氧化与阳极氧化膜.....	49
一、铝阳极氧化过程.....	49
二、阳极氧化膜的结构与形貌.....	53
三、阳极氧化膜的厚度、结构、成分.....	55
四、阳极氧化膜的生长机理.....	59
第二节 硫酸阳极氧化工艺.....	61
一、阳极氧化装备.....	61
二、硫酸阳极氧化工艺.....	73
三、其他工艺.....	89

第三节	其他阳极氧化工艺	91
一、	非硫酸阳极氧化工艺	91
二、	瓷质阳极氧化工艺	97
三、	硬质阳极氧化工艺	99
第四章	铝阳极氧化染料	105
第一节	染料颜色	105
一、	颜色基础	105
二、	染料颜色与化学结构	108
三、	染料吸收光后的光化学	111
四、	色彩的命名与表示	113
第二节	染料品种	116
一、	铝阳极氧化染料分类	116
二、	铝阳极氧化染料选择	119
三、	铝阳极氧化染料品种	122
第三节	染料性能	136
一、	染料的耐光性	136
二、	染料的耐热性	147
三、	染料的耐候性	149
第五章	铝阳极氧化染料染色	155
第一节	染色氧化膜要求及染色理论	155
一、	染色对氧化膜的要求	155
二、	染色理论	157
第二节	染色因素分析	163
一、	氧化膜	163
二、	染色液	171
三、	染色条件	176
第三节	阳极氧化膜染色方法	181
一、	染色设备	182
二、	染色液的制备与维护	183
三、	染色液的控制与管理	189
四、	阳极氧化膜的喷射染色法	202
第四节	染色的前后处理和染色废液处理与再生	204
一、	染色的前处理	204
二、	染色的后处理	207
三、	染色废液处理与再生	210
第六章	多色染色与非铝阳极氧化染料应用	216
第一节	无机染料及其他方式染色	216
一、	无机染料染色	216
二、	溶剂染料染色	221
三、	还原染料、阳离子染料、分散染料的染色	226
第二节	多色染色技术	232
一、	感光染色工艺	232
二、	专用染色工艺	235

三、热转移染色工艺·····	237
四、彩色染印·····	243
第三节 铝阳极氧化膜专用油墨及应用·····	245
一、渗透油墨与遮蔽油墨及网版·····	245
二、渗透油墨的应用·····	247
三、遮蔽油墨的应用·····	252
第四节 铝阳极氧化铭牌与标志·····	254
一、铭牌与标志的制作工艺·····	254
二、平面氧化单色铭牌·····	256
三、平面氧化多色铭牌·····	257
四、平凹型氧化染色铭牌·····	258
第五节 染色缺陷与实例分析·····	259
一、染色缺陷、原因及解决方法·····	259
二、缺陷的实例·····	261
第七章 铝阳极氧化染色膜封孔·····	276
第一节 在热水和蒸汽中封孔·····	276
一、热水封孔·····	276
二、蒸汽封孔与含水蒸汽封孔·····	286
第二节 含有添加剂的水溶液封孔·····	288
一、镍/钴盐封孔·····	288
二、重铬酸盐封孔·····	290
三、其他添加剂封孔·····	294
第三节 冷封孔·····	298
一、冷封孔工艺发展状况·····	298
二、冷封孔机理·····	301
三、冷封孔工艺及条件优化·····	302
第四节 有机物封孔·····	305
一、有机添加剂封孔·····	305
二、漆、蜡等封孔·····	306
第五节 封孔对氧化膜物理性质的影响·····	308
一、耐蚀性·····	308
二、耐光性、耐热性、耐磨性·····	312
三、电学性质与其他性能·····	314
参考文献·····	322

第一章 绪 论

第一节 铝和铝合金的发展历史

铝是电负性很强的金属，它对氧有强烈的亲和性，在地壳内其含量仅次于氧和硅，约占地壳重量的 8.2%。它的蕴藏量是铁的一倍多，比其他有色金属蕴藏量的总和还要多，我国的铝资源也是十分丰富的。

人们在 18 世纪已经知道氧化铝 (Al_2O_3) 的存在。Humphrey Dary 曾第一个尝试分离铝金属但未获得成功。1825 年丹麦人 H. C. Oerstrd 成功地制得铝粉；两年后，F. Wohler 对 H. C. Oerstrd 工艺进行了改进，并进一步发现了铝金属的许多化学和物理性能。但真正使铝的生产初具工业规模的，则是由法国人 Henri Sainte-Claire Daville 在 1850 年完成的。那时铝的价格与黄金不相上下。后来 Robert Bunsen 等利用铝矿石以电解法制取金属铝后，使铝的生产开始进入了技术革命的新时代。

1885 年 Cowle 兄弟用电解法制取了全世界第一批含有铁和铜的铝合金；1886 年美国的 C. M. Hall 和法国的 P. Heroult 分别发明了从熔融冰晶石 (Na_3AlF_6) 和氧化铝中电解铝的生产法，从此以后，电解铝技术开始迅速发展。其总产量在 1913 年为 6.62 万吨，1918 年为 16.5 万吨，1938 年为 50 万吨，1946 年为 200 万吨，1980 年为 1600 万吨，1991 年为 1874.4 万吨，2004 年为 2359.2 万吨，2005 年为 2346.3 万吨，2006 年为 2386.9 万吨，2007 年为 2481.2 万吨、2008 年为 3565.4 万吨。我国的铝产量发展更是惊人，中国原铝产量分别是：2004 年为 668.9 万吨，2005 年为 780.6 万吨，2006 年为 934.9 万吨，2007 年为 1258.8 万吨，2008 年为 1310.5 万吨。中国已成为世界上最大的原铝生产和销售国，世界上已有 50% 的原铝来自中国。

铝制品更是种类繁多，不胜枚举，据统计已超过 70 万种而且还在不断增加，仅用于装饰的板带产品国内需求如下：2005 年为 155 万吨，2010 年预计为 200 万吨，具体见表 1-1。

表 1-1 装饰用铝制品的需求

单位：万吨

铝 制 品	2005 年	2010 年	铝 制 品	2005 年	2010 年
家电、小五金	50.4	56.2	PS 板基	8.0	12.0
罐体料、罐盖料	19.8	29.2	汽车板、集装箱板、冷藏板	5.6	8.9
深冲防盗盖	3.5	3.8	中原板	3.0	4.9
幕墙板、复合板、天花板	16.7	21.3	其他消耗	37	43.5

其中，酒瓶盖一项，国内有 50% 白酒酒厂都用铝盖，其他酒有 7%~8% 用铝盖。2005 年全球铝盖生产了 90 亿只，2010 年将达到 1000 亿只。2010 年中国易拉罐产量将达到 180 亿只。

第二节 铝的性质

(1) 铝的密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，是铜的 $1/3$ ，质轻是铝合金的突出特点，可制造轻结构，

有“会飞金属”之称。

(2) 铝及其合金延展性好，可通过挤压、轧制或拉拔等压力加工手段制成各种型、板、箔、管及线材，可高速进行车、铣、镗、刨等机械加工。

(3) 纯铝的强度并不高，但是通过合金化和热处理容易使之强化，制造高强度的铝合金，其比强度可以与合金钢媲美。

(4) 铝的导电性和导热性仅次于银、金、铜。若按照等量金属导电性计算，铝的导电性是铜的一倍。

(5) 铝是一种电负性很强的金属，与氧具有极高的亲和力。因此，在自然条件下能生成氧化膜，而氧化膜的电导率低，能阻止阳极反应，而且被破坏后会立即生成，保护铝不被腐蚀，所以铝具有比钢铁好得多的耐腐蚀性能，可在大气、普通水、多数酸和有机物中使用。

(6) 铝的熔融温度低，约为 660℃。熔炼、铸造、加工比较容易，而且碎屑、废料容易再生，回收率很高，回收的能耗仅有冶炼的 3%。

(7) 铝合金可用 TIG 或 MIG 法，惰性气体焊接，焊接后力学性能提高，耐腐蚀性好，外观美丽，满足结构材料的要求。

(8) 铝无磁性、无毒、在低温下无脆性、反射性强、有吸音性、耐核辐射，铸造性能良好。

(9) 铝硬度较低，体积收缩率大（凝固体为 6.6%），从 200℃ 随温度升高开始变软，因此限制在高温中使用。铝的弹性系数是钢的 1/3，与同一截面形状的钢相比，铝的挠度更大。

(10) 表面处理可以进一步提高或改变铝的表面性能。通过铝阳极氧化处理提高铝合金的外观和使用性能，并可着色，使铝的装饰性和保护效果提高。

第三节 铝的腐蚀性与腐蚀形态

一、铝的腐蚀性

铝是一个两性金属，在酸性介质中生成铝盐（如硫酸铝），在碱性介质中生成铝酸盐（如偏铝酸钠）。当在酸性溶液中（pH 值小于 4），电位处于 -1.8V 以下时，铝位于免蚀区，理论上以“金属铝”状态存在，即铝处于阴极保护状态，不发生任何腐蚀；当电位处于 -1.8V 以上时，理论上铝以三价铝离子形式（ Al^{3+} ）存在，即处于腐蚀区。如果在中性溶液中，即 pH 值大约在 4~8 时，当铝的电位约大于 -2.0V 时，其表面形成氧化膜，即处于钝化区，如铝的电位小于 -2.0V 时，则其也以“金属铝”形式存在；当溶液 pH 值大于 9，即在碱性溶液中，铝处于腐蚀区时则生成铝酸盐（ AlO_2^- ）。在酸性腐蚀区以局部腐蚀为主，而在碱性腐蚀区则往往呈全面腐蚀形式。铝的腐蚀程度和形式不仅取决于介质，而且与铝合金的成分和状态关系密切。尽管铝在酸性或碱性溶液中处于腐蚀区，但在阳极氧化时还是可以成膜的。只要阳极氧化膜生成速率大于膜的溶解速率，氧化膜仍然可以继续生成。

(1) 铝在碱性溶液中的腐蚀。碱能与氧化膜反应生成偏铝酸钠和水，然后再进一步与铝反应生成偏铝酸钠和氢气。随着碱浓度增加和温度升高，铝的腐蚀量、腐蚀速率迅速增加。工业上利用铝在碱中发生全面腐蚀这一特点，广泛采用碱洗除去铝表面的氧化物。

(2) 铝在酸溶液中的腐蚀。铝在不同的酸中有不同的腐蚀行为，一般在氧化性浓酸中生成钝化膜，具有很好的耐蚀性，而在稀酸中有“点腐蚀”现象。

(3) 铝在中性盐溶液中的腐蚀。在中性盐溶液中，铝可以是钝态，也可以由于某些阳离子或阴离子的作用发生腐蚀。铝材在海水中点腐蚀比较严重，是海水中氯离子的作用。

二、铝的腐蚀形态

铝和铝合金除了在少数介质中呈现全面腐蚀，如碱溶液和磷酸溶液，一般都发生局部腐蚀，它的腐蚀形态常见的是：点腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、丝状腐蚀和层状腐蚀等。

(1) 点腐蚀。点腐蚀（又称孔蚀）是铝及铝合金最常见的腐蚀形态之一。在大气、淡水、海水及中性水溶液中都会发生点腐蚀，点腐蚀的严重程度与介质和合金有关。

(2) 电偶腐蚀。电偶腐蚀也是铝的特征性腐蚀形态。铝的自然电位很负，当铝与其他金属接触（或电接触）时，总是处于阳极使之腐蚀加速。电偶腐蚀又称双金属腐蚀，其腐蚀严重程度是由两个金属在电位序中的相对位置决定的。它们的电位差越大，则电偶腐蚀越严重。几乎所有铝合金都不能避免电偶腐蚀，表 1-2 给出了各种金属对铝材电偶腐蚀的影响。

表 1-2 各种金属对铝材电偶腐蚀的影响

金属	电偶腐蚀影响	金属	电偶腐蚀影响
铜	稍有影响	不锈钢	除了严酷海洋环境外可以忽略
铬	影响小,有时可以忽略	钢和铁	除了严酷环境外稍有影响
铜和铜合金	严重	锡	除了盐溶液外可以忽略
石墨	严重	钛	除了严酷海洋环境外可以忽略
铅	除了严酷海洋环境外可以忽略	镀锌钢	在表面锌层破坏之前没有影响

(3) 缝隙腐蚀。铝本身或铝与其他材料的两个表面接触存在缝隙，由于差异充气电池的作用缝隙内腐蚀加速，而缝隙外没有影响。缝隙顶端酸性环境是腐蚀的原动力。沉积物（垢）下腐蚀是缝隙腐蚀的一种形式。

(4) 晶间腐蚀。铝-铜系、铝-铜-镁系和铝-锌-镁系合金有晶间腐蚀敏感性。晶间腐蚀的原因一般与热处理不当有关系，合金化元素或金属间化合物沿晶界沉淀出来，引起晶界腐蚀加速。

(5) 丝状腐蚀。丝状腐蚀是一种膜下腐蚀，这种膜可以是漆膜，或者是其他涂层，一般不发生在阳极氧化膜下面。丝状腐蚀与合金成分、涂层前预处理和环境因素有关，环境因素有湿度、温度、氯化物等。

(6) 层状腐蚀。层状腐蚀也叫剥层腐蚀，这是变形铝合金的一种特殊腐蚀形式，多见于挤压材。铝-铜-镁合金发生剥蚀的情况最多，铝-镁系、铝-硅-镁系和铝-锌-镁系合金也有发生。

第四节 铝和铝合金的表面处理与阳极氧化

一、铝和铝合金的表面处理技术

为了克服铝合金表面性能方面的缺点，也是为了提高防护性、装饰性和功能性，阳极氧化和聚合物涂层是两种最常用的保护手段。装饰性是从美观角度出发提高外观品质，如光亮、着色等。为了装饰效果，必须同时考虑和增加防护措施。功能性是赋予铝表面在工程方面需要的某些物理或化学特性，如高硬度、耐磨损、电绝缘、亲水性等；甚至利用阳极氧化膜的多孔性，引入新的特殊功能（如光电性、电磁性），形成具有潜在用途的功能氧化膜。

铝合金表面处理技术有：表面机械预处理（机械抛光或扫纹等）、化学预处理或化学处理（化学转化或化学镀等）、电化学处理（阳极氧化或电镀等）、物理处理（喷涂、搪瓷珐琅

化或其他物理表面改性处理)等。

二、铝和铝合金的阳极氧化

铝阳极氧化膜具有下列性能：耐蚀性、高硬度、耐磨性、装饰性、有机涂层和电镀层附着性、电绝缘性、透明性、功能性。

表 1-3 所列为各种铝及变形铝合金的阳极氧化适应性。表 1-4 所列为各种铝和铝合金氧化膜的厚度。

表 1-3 各种铝及变形铝合金的阳极氧化适应性

铝合金主要成分含量	保护性阳极氧化	阳极氧化着色	光亮阳极氧化
99.99%Al	1	1	1
99.8%Al	1	1	1
99.5%Al	1	2	2
99.0%Al	2	2	3
1.25%Mn	3	3	4
2.25%Mg	2	2	3
3.25%Mg	2	2	3
5%Mg	3	3	4
7%Mg	4	4	4
0.5%Mg,0.5%Si	1	2	3
1%Si,0.7%Mg	2	3	4
1.5%Cu,1%Si,1%Mg	3	3	4
2%Cu,1%Ni,0.9%Mg,0.8%Si	4	6	5
4.25%Cu,0.625%Mn,0.625%Mg	4	6	5
4.25%Cu,0.75%Si,0.75%Mn,0.5%Mg	4	6	5
4%Cu,2%Ni,1.5%Mg	4	4	5
2.25%Cu,1.5%Mg,1.25%Ni	4	4	5
1%Mg,0.625%Si,0.25%Cu,0.25%Cr	2	3	4
1%Si,0.625%Mg,0.5%Mn	3	3	4
5%Si	3	6	5

注：1—极好；2—很好；3—好；4—中。

表 1-4 各种铝和铝合金氧化膜的厚度

氧化膜生成条件	氧化膜厚度
纯铝或 Al-Mg 合金的自然氧化膜(<300℃)	1~3nm
纯铝的自然氧化膜(>300℃)	<30nm
Al-Mg 合金的自然氧化膜(>300℃)	<3000nm(取决于温度和镁的含量)
常规化学氧化膜(例如 MVV 法, Alrok 法等)	2.5~5μm(2500~5000nm)
常规阳极氧化壁垒膜	0.25~0.75μm(250~750nm)
常规保护性阳极氧化膜(例如硫酸阳极氧化膜)	5~30μm(5000~30000nm)
硬质阳极氧化膜(例如工程用)	25~150μm(25000~150000nm)

阳极氧化膜有两大类，一类是壁垒型膜，主要用于电解质电容器等方面；另一类是多孔型膜，使用面更加广阔。就多孔型阳极氧化膜而言，除了建筑和装饰用铝材之外，还有 PS 印刷版、光(热)反射器、工程用硬质阳极氧化膜等，应用非常广泛。利用铝阳极氧化膜的可控制孔径和十分有规律的多孔结构，渗入功能材料，制成一系列功能性阳极氧化膜，譬如电磁膜、分离膜、光电膜、催化膜、传感膜等。

第二章 铝的预处理

第一节 铝的机械预处理

铝及其合金制品的外观和适用性在很大程度上取决于精饰前的表面处理。而机械处理是表面预处理的主要方法之一，很多时候起着无可替代的作用。机械处理一般可分为：抛光[包括磨光、抛光、精抛（或者镜面抛光）]、喷砂（丸）、刷光、滚光等方法。铝制品经过表面机械处理后，可提供良好的表面条件，提高产品品级，减少焊接的影响，产生装饰效果，获得干净的表面。

一、磨光

（一）磨光轮磨光

磨光是除去铝和铝制品表面的毛刺、砂眼、焊疤、划痕、腐蚀痕、氧化皮和各种宏观缺陷，以提高工件表面平整度的一种机械处理方法，一般是在粘有磨料的磨轮上进行的。

磨光是靠磨光轮的高速旋转，通过磨料将被加工零件表面粗糙不平的地方削平，使其逐渐变得平滑的过程。在磨光所用磨轮的轮周上，以骨胶或皮胶胶黏剂黏结上各种磨料。常用的磨料有人造刚玉、金刚砂、碳化硅、硅藻土、石英砂等。磨料根据其颗粒尺寸分为磨粒、磨粉、微粉和超微粉4组。通常根据制品的材质、材料表面原始状态和加工后表面的质量要求来选择磨料的种类和颗粒尺寸（见表2-1）。铝和铝合金一般选用人造金刚砂、硅藻土、金刚砂为磨料。

表 2-1 磨料粒度号及颗粒尺寸

种类	粒度号	基本颗粒尺寸范围/ μm	种类	粒度号	基本颗粒尺寸范围/ μm
磨粒	8#~80#	160~3150	微粉	W5~W40	3.5~40
磨粉	100#~280#	40~160	超微粉	W0.5~W3.5	0.5~3.5(或更细)

磨轮粘砂的质量，对生产效率、使用寿命以及生产质量的影响很大。其关键是配制胶水和黏结的操作，胶水的浓度根据金刚砂的号数而定，砂粒越粗，使用的胶水浓度越高；砂粒越细，使用的胶水浓度越低。磨轮旋转的圆周速度也直接影响被加工表面的平整程度。

（二）磨光带磨光

磨光带由安装在电动机上的接触轮带动，由另一从动轮使其具有一定张力，以便对零件进行磨光。磨光带由衬底、胶黏剂和磨料3部分组成。衬底可用1~3层不同类型的纸或布，胶黏剂一般用合成树脂，也可用骨胶或皮胶。但是，目前国内磨光带的应用还不是很多。

（三）振动磨光

在滚光的基础上发展起来的磨光叫振动磨光，它是利用装有被加工零件和磨料介质的容器上下左右的振动，使零件与磨料相互摩擦达到光饰目的的一种加工过程。该过程通过振动电机或电磁系统的作用而使容器振动。振动磨光比滚光的效率高，能加工各种零部件，包括加工比较大的零件，而且一次加工量大，可以自动卸料，可随时检查、控制加工质量，极适

合于批量加工。所采用的磨料要求粒度均匀、硬度高，常用的磨料有鹅卵石、石英石、氧化铝、碳化硅及钢球等。将磨料放入少量水中，水的用量一般为零件及磨料总体积的 4%~5%，同时还要加入少许碱及表面活性剂。

二、抛光

抛光可以分初抛、精抛、镜面抛光，以满足不同的精饰要求。抛光只是一种简单的机械操作，但其作用机理至今尚未有统一的认识。一般认为，抛光时，高速旋转的抛光轮与工件摩擦产生高温，使金属表面发生塑性变形，从而平整了金属表面的凹凸，同时使在周围大气氧化下瞬间形成的金属表面的极薄氧化膜反复地被磨削下来，从而变得越来越光亮。所以抛光过程既具有机械的轻微磨削作用，又同时发生物理和化学作用。

(一) 抛光剂的类型

(1) 硅藻土抛光剂。含有隐晶石英砂 (SiO_2)，其中 75% 为无定形或晶体的二氧化硅。

(2) 磨光剂。通常含有粗的砂子，如石英砂。

(3) 磨抛剂。一般含有用于抛光有色金属的硅藻土和用于抛光碳钢或不锈钢的熔凝三氧化二铝磨料，磨料作软、硬搭配。

(二) 抛光剂的选择

抛光剂所用磨料一般为下列物质：硅藻土或二氧化硅、熔凝三氧化二铝、煅烧铝土、氧化铁红粉、铬绿粉。这些磨料通常与脂肪酸和表面活性剂制成液体状，并能在阳极氧化前处理时从工件表面清除干净。

大多数抛光剂都由磨料浸在粘接载体中，磨料是主要的磨削介质，而黏合剂做润滑用。它可将磨料附在轮子上，并能防止工件过热。现在也有些水溶性的黏合剂。黏合剂中所用的油脂一般是矿物质、动物油脂，也有用植物油脂的。

选择何种抛光剂，主要根据被抛金属的类型、初始表面状态、抛光设备的类型和表面的抛光要求而定。

(三) 抛光轮的种类、制作和功用

通常使用的抛光轮主要分为棘面轮、指宽轮、圆盘轮、拼合轮等。

(1) 棘面轮。在自动抛光中，普遍使用棘面轮。轮的横截面通常为 13mm 宽，中间用圆盘夹紧并打孔。空气可以在这些孔循环而冷却轮子，防止抛光轮表面或与工件接触的部位积聚热量，轮子表面的弹性可以通过改变布的层数、改变中心夹盘的直径、改变打褶的褶皱度等方法来调节。

(2) 指宽轮。由多个棘面轮重叠装配成一个指宽轮。抛光工件时，工件压向轮子，这些棘面部位受压弯曲，可随工件的外形轮廓而自由挠曲起伏，适用于抛光外形复杂的工件。

(3) 圆盘抛光轮。这种轮由一片片剪成圆形的布叠在一起而组成。标准层数为 20 层，平均厚度为 6mm，要求做厚一些或薄一些都可以。如果将布片围绕轮轴简单地缝一圈线装订在一起就制成了松软的抛光轮，用于精抛光或镜面抛光。

(4) 拼合轮。这种轮用新的、不规则形状的零碎布料制成。这些零碎布料夹在外层为圆形的布片之间，然后在整个抛光轮圆截面上一圈圈地缝线。这些轮子主要用于磨削量大的磨光操作。

(5) 法兰绒布和剑麻抛光轮。这种轮可用法兰绒布，也可用剑麻制造。因为它们比较柔软，主要用于镜面抛光。

专用磨光和抛光的设备及生产速度见表 2-2。

抛光设备及其操作条件见表 2-3，各类抛光机械见表 2-4。

表 2-2 专用磨光和抛光的设备及生产速度

产品	抛光要求	机器类型	抛光轮	生产速度/(件/h)
挤压铝型材	光亮或砂面	往复运动直线式	剑麻或棉布抛光轮	— ^①
汽车轮毂	光亮	单轴半自动抛光机 ^②	布轮	40~60
电动工具零件压铸件 ^③	光亮和镜面	通用直线型	布轮	300~500
	光亮和镜面	半自动抛光机	布轮	60~120
	光亮和镜面	连续旋转定位	布轮	300~600
闪光灯壳	光亮	四轴半自动抛光机	布轮	200~600
话筒	光亮	单轴半自动抛光机	布轮	100~120
炉头	光亮和镜面	旋转定位	剑麻和布轮 ^④	300~600
冲压件	光亮	旋转定位	布轮	300

① 90~300m/h, 挤压型材宽 45~100mm, 四周抛光。

② 专门机械。

③ 摩托车外壳、齿轮箱、手柄。

④ 棘面和圆盘布轮。

表 2-3 抛光设备及其操作条件

工件和材料	前步操作	设备	抛光剂	抛光轮		生产速度 /(件/h)	后续操作
				直径/mm	速度/(r/min)		
汽车头灯聚光圈(铝制)	压型	矩形直线抛光机 ^①	液体硅藻土	405	1000~1400	1150~1200	阳极氧化
飞盘(铝)	旋转抛光	旋转定位	液体硅藻土	430	1750	450	电镀 ^②

① 缝距 6mm 的缝制轮和 4# 13~14 圈/dm² 棘面轮。

② 镍-铬装饰镀。

表 2-4 各类抛光机械

合金锯片抛光/拉丝机 JC-JP-320	适用于锯片行业的同心纹拉丝、各种平板类工件的平面磨削
三组圆管抛光/拉丝机 JC-003	适用于各种材质的圆管、圆棒的抛光及拉丝处理
斜/直纹拉丝机 JC-XZ-1	适用于各种方形或小平面工件的拉丝、抛光前精细磨削加工,如 MP3 外壳等
手机壳抛光/拉丝机 JC-SJ-03	适用于各类手机外壳及各种中小型工件的顶面、侧面抛光及拉丝
平面砂光/拉丝机 JC-600/380 系列	适用于各类工件的平面砂光、雪花纹(断纹)拉丝处理
环保手动砂带机 JC-B04A	适用于各类五金产品、工艺制品以及塑胶制品的去毛刺、表面拉丝处理
环保手动抛光机 JC-B02	适用于各类五金产品、工艺制品以及塑胶制品的表面抛光、拉丝处理
餐具专用单轴磨背抛光机 JC-CJ-P600	适用于餐具、刀叉、磨片及其他产品平面、弧形、磨边、抛光、磨砂等
餐具专用双轴 S 形抛光机 JC-CJ-S600	适用于叉窝面、勺内弧(弯)精细抛光
四组方管抛光/拉丝机 JC-FG004	适用于各种材质的方管等型材抛光、砂光及拉丝处理

三、滚光、振动光饰、刷光、喷砂、喷丸

(一) 滚光、振动光饰

滚光是将零件放入盛有磨料和化学溶液的滚筒中,借滚筒旋转使零件与磨料、零件与零件相互摩擦以达到清理零件表面的过程。

振动光饰是在滚筒滚光基础上发展起来的较先进的光饰方法,它是通过振动电机等带动容器上下、左右或旋转运动,从而使零件与磨料介质互相摩擦,以达到整平、修饰零件的目的。

滚光和振动光饰均可达到清除少量油污和锈，去除毛刺、倒圆棱边、锐角，降低零件表面粗糙度等光饰目的。适用于多种形状的零件，特别是小零件。

滚光方法有普通滚光、离心滚光、化学加速离心滚光等。振动光饰的方法有：振动擦光、旋转擦光、离心盘擦光、往复式擦光等。

无论是滚光，或是振动光饰，其采用的多为湿法加工，其介质包括磨料，化学促进剂和水。有时也只用一种磨料作干态加工。

磨料有金刚砂、石英砂、大理石、灰石颗粒、建筑用的砂子、氧化铝（刚玉）、碳化硅（人造金刚砂）、陶瓷磨料、树脂黏结的磨料、硬质钢珠、型钢头、铁钉头、锯末、玉米芯、胡桃核、碎皮革角、碎毛毡。

化学促进剂是呈中性或弱碱性的清洗剂，有肥皂、皂角粉、中性或弱碱性的表面活性清洗剂，如清洗剂 664、MD-81、S-1、SP-1，清洗剂 741、HD-2、RH-831、JT-21。

普通滚光是将零件与磨削介质放入滚筒中，低速旋转滚筒，靠零件和磨料的相对运动，进行光饰处理的过程。磨削顺序是锐角—棱边—外表面—内表面，深孔和小的内表面很难产生好的滚光效果。滚筒类型有倾斜式开口滚筒、卧式封闭滚筒、卧式浸没式滚筒。滚光参数有滚筒类型与尺寸、零件的装载量及磨料/零件比值、滚筒的旋转速度和滚光时间、磨料与滚光溶液的选择。

离心滚光是在普通滚筒滚光基础上发展起来的高能表面整平方法。它是在一个转塔的内周围安放一些装有零件和磨削介质的转筒，工作时，转塔高速旋转，而转筒则以较低的速度反方向旋转。转塔旋转时产生的离心力（约 $0.98N$ ），能使转筒中的装载物压在一起，从而使磨料介质对零件产生滑动磨削，起到去毛刺、整平表面的效果。离心滚光的缺点是只能处理小零件，加工过程中不能检查零件加工质量，设备成本高。

振动擦光的设备结构主要是筒形或碗形容器及振动装置。原理是：把零件放入安装在弹簧上的筒形或碗形的开口容器内，通过振动电机或用 $50\sim 60\text{Hz}$ 频率工作的电磁系统，使容器产生上下、左右振动，从而使零件与磨料相互摩擦，达到光饰处理的目的。适用于加工比较大的零件。振动擦光的两个重要参数是振动频率和振动幅度。振动擦光机有筒形振动机、碗形振动机。

离心擦光机的主要结构是圆柱筒形容器、碗形盘和驱动系统。圆柱筒固定不动，在它的下部装有一个由驱动系统带动，能高速旋转的碗形盘。将磨料和介质放入筒内，工作时由于盘的旋转，使装载物沿着筒壁向上运动，其后又靠零件的自身重量，从筒的中心滑落到离心盘中，如此反复使装载物呈圆筒形运动，从而对零件产生磨削光饰作用。

旋转擦光设备的主要结构是旋转筒（容器）、固定零件转轴。其运行由控制装置进行控制。其原理是：把要加工的零件固定在转轴上，并浸入盛有磨料介质的旋转筒内，零件表面由于受到快速运动的磨料介质的磨削作用而达到光饰表面的目的。

（二）刷光

刷光是用金属丝、动物毛、天然或人造纤维制成的刷轮或刷子，在刷光机上或手工对零件表面进行加工的过程。刷光轮上的弹性金属丝，其端面侧锋具有很好的切削能力，工作时就是利用这种金属丝侧锋除去铝工件表面的锈皮、污垢、棱角毛刺等；或对零件表面进行装饰性底层加工，如丝纹刷光、缎面修饰等。

刷光可以湿刷，也可以干刷。

常用的刷轮一般由钢丝、黄铜丝等材料制成。有时为了特殊的目的，也用其他材料。零件材料较硬时，应选择硬金属丝刷光轮；零件材料较软时，则选用软金属丝或人造纤维刷光轮。刷光轮的旋转速度一般在 $1200\sim 2800\text{r/min}$ 。刷光轮的类型有：成组的辐射刷光轮、波形辐射刷光轮、短丝密排辐射刷光轮、杯形刷光轮、普通宽面刷、条形宽面刷。

根据零件的刷光要求。表面清理时刷轮旋转速度在 2000r/min 以上。去毛刺时常采用直径为 0.3mm 的短丝密排辐射刷光轮，刷光轮的线速度一般为 33m/s。对于圆孔棱边的毛刺常采用杯形刷光轮，其线速度一般为 22~33m/s。对于内螺纹的毛刺，则要用小型刷轮。

丝纹刷光。对于较软的铝，刷光应选用黄铜丝或镍银丝刷光轮，铝铭牌、面板则常用含细磨料的织物（俗称百洁布）做刷光工具。

缎面修饰就是使用软而细的刷轮，将零件表面刷成无光缎面的加工，通常使用的是刚性小的波形刷光轮，刷光速度要小，一般在 15~25m/s。

（三）喷砂、喷丸处理

喷砂是用净化的压缩空气将干砂流或其他磨粒喷到铝制品表面，从而去除表面缺陷，呈现出均匀一致、无光砂面的一种操作方法。磨料一般采用金刚砂、氧化铝、颗粒、玻璃珠或不锈钢砂等。钢铁磨粒不太使用，因为容易嵌入铝基体中生锈腐蚀。喷砂后获得的表面状态取决于磨料的品种和粒度、空气压力、冲击角度、喷嘴与工件的距离、喷砂方法等。喷嘴具有以下几个作用。

（1）去除工件表面的毛刺、铸件熔渣以及其他的缺陷和垢物。

（2）喷砂还有改善铝合金力学性能的重要作用。如在航空工业上，喷砂可以强化金属表面，减少应力和疲劳。喷砂通常给予表面压应力，能成倍增加某些组合件对交替应力的疲劳寿命，同时冲击零件表面，堵塞表面可能存在的裂纹。

（3）工件经喷砂后呈现出均匀一致的消光表面，一般称为砂面。用石英砂喷吹得到浅灰色，而用碳化硅磨料喷吹则得到深灰色。如果在喷砂前将铝表面的某些部位保护起来，使喷到的部位消光，而保护的部位变光亮，则会使铝制品表面呈现艺术图案，起到一定的装饰效果。

喷砂分干喷砂和湿喷砂两种。干喷砂又分机械喷砂与空气喷砂两种类型。干喷砂常用的砂料是氧化铝砂（含天然和人造两种）、石英砂（二氧化硅）、碳化硅（人造金刚砂）等，采用铝矾土（氧化铝砂）最好。湿喷砂是在砂料中加入一定量的水，使之成为砂水混合物，以减少砂料对零件表面的去除量，使零件表面更光洁。湿喷砂通常有雾化喷砂、水-气喷砂和水喷砂三种类型。湿喷砂的水砂比值，一般控制在 7:3 为宜。

喷砂可用手工操作，也可以在半自动或自动喷砂机上进行。由于工件的外形和尺寸大不一样，因此设计的喷砂机也有很多类型，一般在喷砂柜中操作。挤压铝型材喷砂往往设计成直线式的，固定喷嘴，型材沿轨道按一定传送速度前行。或者固定型材面，喷嘴与工件间保持一定的距离和角度往复运行。为了减少粉尘对环境的影响，国外已做了某些改进，将细磨料悬浮在水中，与水一起强力喷击制品表面。喷砂后的工件必须立即进行下道操作，应尽量减少触摸，以免沾染油污和指印等污垢。

喷丸与喷砂相似，主要有两点不同。一是喷丸的磨粒往往比较大，常常使用钢丸、玻璃丸或陶瓷丸取代砂子。钢丸先经处理，去除表面的氧化皮。大颗粒钢丸（铝合金常用不锈钢丸）可产生敲击或锤击状消光处理，而小颗粒钢丸形成砾石状表面，呈现出浅灰色。另一个不同之处是采用的操作方法不同。喷丸可以采用与喷砂一样的方法和机械来进行，但另外还可以运用机械快速旋转的离心力，将钢丸抛向工件表面，这种方法又称为抛丸，铝合金型材的“喷砂”常采用离心法。喷丸能使零件产生压应力，而且没有含硅的粉尘污染。喷丸还可对扭曲的薄壁零件进行校正。经喷丸后的零件使用温度不能太高，以防消除喷丸产生的压应力，使用温度范围因材料而定，铝零件为 170℃。

表 2-5 列出了各种类型喷砂、喷丸机械。

本书收集了一些铝的机械预处理的产品（抛光剂），具体见表 2-6~表 2-9。

表 2-5 各种类型的喷砂、喷丸机械

型 号	适 用 范 围
SS-8	通用型单枪滚筒式液体喷砂机,适用于小零件的大批量生产
SS-3	通用型五枪自动转台式液体喷砂机,适用于大中型零件的小批量生产
SS-10	通用型五枪自动转台式液体喷砂机,适用于大中型零件的小批量生产
SS-1C	通用型单枪手动工作台液体喷砂机,适用于中小型零件的小批量生产
SS-2	通用型单枪手动工作台液体喷砂机,适用于中型零件的小批量生产
不锈钢自动输送式液体喷砂机	适用于各种材质的工件表面喷砂处理,如硬质合金、铝合金工件、镁合金工件、工艺制品、装饰品等 能有效去除应力、污迹、毛刺处理、哑光、精饰效果等
JCK-PP 系列自动输送干喷砂机系列	适用于平板类、盘类、四方体、型材及其他异形工件的喷砂加工,例如平面不锈钢板材、普通钢板、玻璃钢材、石材、不粘锅、烤盘、多士炉、电脑机箱、功能 DVD 面板、笔记本、电脑主机板、电熨斗底板、装饰件、标牌徽章、铝板材、型材及其他异形件等
击砂机	大幅面、平板类工件的外表面雾化、除锈等,例如玻璃板材类、铝板、不锈钢等
自动输送式喷砂机	适用于平板类、盘类、型材及其他异形工件的喷砂加工,例如电熨斗底板、铝型材等
JC-SS03	采用三角式输送带工作,速度可变频调节,满足多种工件的工艺要求 喷枪的喷射角度及距离均可方便调整,喷枪的摆动速度可变频调节
JC-SS02	
JC-SS01	
JC-SS04	
半自动不锈钢水喷砂机	适用于圆盘类工件边缘喷砂加工,如圆盘锯齿部件喷砂加工,最大加工直径为 500mm
JC-ZT11 双枪半自动圆柱体喷砂机	适用于不同材质、不同形状的工件(特别是圆形、椭圆形、四方形工件);符合液体喷砂工艺、大中批量的精密喷砂处理。例如硬质合金刀片、锯片、玻璃制品、工艺品、不锈钢件、五金装饰件等
日本技术自动转台机	
德国技术自动转台喷砂机	各种圆形、椭圆形、四方形、盘类及异形件的喷砂处理,如不粘锅、电炒锅、电饭煲、烤盘(炉)、微波炉、洗物盆、发热盘(管)、铝轮廓、工艺品及通讯器材等 可持续的、大批量自动生产
JCK-ZP 系列不粘锅自动转台式喷砂机	适用于中、小型圆柱体,管件类的外壁喷砂表面清理、去划痕、除锈、去氧化皮、去应力,提高涂层附着力、哑光效果(如复印机、打印机、辊轴)等
W1111S 液体喷砂机	用于零件表面的清理、涂覆和控伤工艺的前处理,可去除氧化皮、残盐、型砂、油污、锈蚀、脱模剂、焊渣、污迹、漆膜、镀膜等沾覆物,清理质量可以达到 Sa3 级 用于零件表面的光饰加工,可获得哑光表面、漫反射表面,可以进行装饰性表面图案的喷绘和雕刻等。光饰加工的效果比干饰更细腻、美观 用于改变零件表面的粗糙度,可使 R_a 值增加或降低 用于改善零件表面的物理及力学性能,可改善表面应力状态,提高疲劳强度;可改善表面电极电位,提高耐蚀性;可改善表面润滑状态,改善运行条件,降低运行噪声,可增加微观表面积,提高涂覆层附着力
9080W-II 液体喷砂机	适用中、小型工件的喷砂预处理、哑光处理、光饰加工、去除油污。如不锈钢制品、工艺品、精密制品、橡胶、塑料模具等
D1010S 手动干喷砂机	通用型工件的中小批量喷砂处理 适用于各种工件的去氧化皮、残渣、焊缝,涂装前的机械预处理
模具专用推车式喷砂机	适用于各种中、小型模具的表面处理,如热处理模具、硅橡胶模具、鞋底模具、塑胶五金模具、摩托配件模具、工程塑料模具、工装夹具和其他模具及框架结构件等
9060A-II/1080A-II 上旋风分离式手动喷砂机	适用于各种塑料、工艺品、五金装饰品表面光饰、去除划痕、提升粗糙度,清理表面。不锈钢件、铝件、铜件、铸件,相关金属异形构件的粗糙表面,去除氧化皮、残渣、去应力,涂装前的机械预处理,提升表面附着力 规格尺寸:9060A-II(900mm×600mm×600mm);1080A-II(1000mm×800mm×650mm)
1080B-1 实惠型手动干喷砂机	适用中、小型工件,中、小批量的打样,生产 适用金属、非金属的表面处理,增强表面的附着力、哑光效果、光饰,去除毛刺、氧化皮、焊缝等 规格尺寸:1000mm×800mm×600mm