

铝表面处理

宁福元 编著

黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了铝及铝合金的腐蚀与保护；表面预处理、化学氧化和阳极氧化的分类、原理及方法；各种着色方法；封孔处理的种类及原理；铝电镀；氧化膜的检验和标准；废液处理和药品回收方法；槽液分析方法；表面处理设备、工艺流程及操作方法。此外，对有关铝表面处理车间的设计也作了简明的介绍。

本书可供从事铝制品生产和采用铝制配件的其他行业的技术人员与工人学习和参考。

封面设计：杨毓祺

铝 表 面 处 理

宁福元 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32·印张 11.5 插页 1·字数 240 千

1985 年 3 月第一版·1985 年 3 月第一次印刷

印数：1—5,182

书号：15217·169

定价：1.90 元

前 言

为了配合铝材的生产、加工、应用和研究,促进我国铝表面处理技术的发展,加速培养铝表面专业技术力量,适应我国四化建设的需要,作者总结了十几年来生产的实践经验,并考察了国内外十几个各种不同类型的铝表面处理工厂,搜集整理了国内外铝表面处理方面的最新技术,写出了《铝表面处理》一书。

本书力求理论联系实际,全面而系统地讲解了表面处理的全过程。因此,本书可作为技工学校培训铝表面处理专业人员的教材。同时,对从事建筑、交通的铝材生产及制笔、高级化妆品容器、工艺美术品、日用铝器皿、标牌生产的技术人员与工人,都有一定的参考价值。此外,还可供从事有关氧化膜检验、槽液分析、环保及其他有关工作的人员参考。

本书在编写过程中,得到工程师邵新元、奚雪文二同志协助,并经高级工程师高亢之同志审阅,在此一并致谢!

由于时间仓促,水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,热诚地希望广大读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 概述	1
第一节 铝的性质及其应用.....	1
第二节 铝及铝合金的腐蚀.....	5
第三节 铝及铝合金的保护方法.....	12
第四节 铝表面处理的发展过程.....	14
第二章 氧化前的预处理	17
第一节 脱脂处理.....	17
第二节 蚀洗处理.....	18
第三节 酸洗处理.....	23
第四节 无光处理.....	25
第五节 抛光处理.....	27
第六节 水洗和预处理工序.....	37
第三章 氧化处理	40
第一节 氧化膜的概念.....	40
第二节 化学氧化.....	41
第三节 阳极氧化.....	46
第四节 硫酸阳极氧化.....	57
第五节 草酸阳极氧化.....	70
第六节 铬酸阳极氧化.....	74
第七节 硬质阳极氧化.....	79
第八节 瓷质阳极氧化.....	86

第九节	其他阳极氧化·····	89
第十节	阳极氧化处理的缺陷·····	93
第四章	着色处理·····	97
第一节	化学着色法·····	97
第二节	自然着色法·····	107
第三节	电解着色法·····	121
第四节	几种着色法的比较·····	133
第五节	木纹着色法·····	136
第六节	感光着色法·····	142
第七节	彩色染印着色法·····	145
第八节	装饰性着色法·····	152
第九节	缎面着色法·····	157
第十节	彩色条纹着色法·····	160
第五章	封孔处理·····	164
第一节	水合封孔·····	164
第二节	有机涂层封孔·····	170
第三节	电泳涂漆·····	172
第四节	浸渍涂漆·····	182
第五节	静电涂漆·····	185
第六节	几种涂漆方法的比较·····	186
第六章	铝及铝合金的电镀·····	189
第一节	铝电镀的特点及其应用·····	189
第二节	铝及铝合金的电镀工艺·····	191
第三节	铝压铸件多层电镀工艺·····	197
第四节	铝合金的化学镀镍工艺·····	200

第五节	铝丝直接镀铜工艺	204
第七章	氧化膜的检验	206
第一节	氧化膜的性质	206
第二节	氧化膜、涂漆膜的检验和标准	210
第八章	表面处理生产工艺	223
第一节	国内表面处理生产概况	223
第二节	国外表面处理生产工艺	224
第三节	建筑铝型材表面处理工艺流程	227
第四节	照相机铝零件阳极氧化工艺	229
第九章	表面处理设备及附属系统	234
第一节	处理槽组及其定温	234
第二节	冷却设备	236
第三节	排气和送风装置	240
第四节	纯水生产设备	241
第五节	电源设备	253
第六节	导电材料	256
第七节	搬送设备	261
第十章	废水废液处理及药品回收	263
第一节	废水废液处理标准	263
第二节	废水处理及其处理设施	264
第三节	闭路化的条件	271
第四节	药品回收方法	272
第十一章	槽液的分析	293
第一节	硫酸电解液的分析方法	293
第二节	草酸电解液的分析方法	298

第三节	酸、碱槽液的分析方法·····	302
第四节	自然着色液的分析方法·····	304
第五节	电解着色液的分析方法·····	308
第六节	瓷质阳极化电解液的分析方法·····	314
第七节	铬酸电解液的分析方法·····	316
第八节	溶液浓度和比重的关系·····	317
第十二章	表面处理车间的设计·····	325
第一节	产品的产量和品种方案·····	325
第二节	生产方式的确定和处理设备的选择·····	328
第三节	能量消耗的计算·····	338
第四节	常用表面处理槽组机列·····	341
第五节	表面处理的水质和化学药品消耗定额·····	347
附录 1	常用元素原子量表·····	349
附录 2	常用单位换算表·····	350
附录 3	金属的物理性质·····	353
	参考文献·····	356

第一章 概 述

第一节 铝的性质及其应用

在地壳内,铝的含量仅次于硅,它约占地壳重量的 8.2%,是铁蕴藏量的一倍多,它比其它有色金属蕴藏量的总和还要多。在我国,铝的资源十分丰富。

自 1886 年美国的 C.M.Hall 和法国的 P.Heroult 发明融盐电解铝的生产方法 (Heroult Mall 法) 以来,铝的发展十分迅速。1980 年全世界有色金属产量为 3500 万吨,而铝产量为 1600 万吨,占有有色金属产量的 42%,为有色金属之冠,在各种金属产量中仅次于钢铁。据统计,全世界铝及铝合金制品已有 50 万种以上,而且还在不断增长。

铝为银白色光泽的金属,比重为 2.7,是铜的三分之一。质轻是铝及其合金的突出特点,正因为如此,它在飞机、船舶、车辆等交通运输业上得到广泛应用,在建筑、机械制造、电气、化工、农业及国防等领域内也受到很大重视。由于铝及其合金可进行表面处理,因此,其外表美观而清洁,可用它制作装饰品。

由于铝合金具有良好的导热性,因此,用它可做锅、壶、勺等厨房用具,又可用于暖冷房装置和工业用热交换器。

铝的导电率约为铜的 60%,因此,它可代铜用于输电缆、电线及电气方面。铝的纯度越高,光的反射率越好,当

纯度达到 99.8% 以上时，反射率可达 90% 以上，因此，它可用于照明设备和装饰品。铝具有良好的反射率，可广泛地应用在热交换、红外线干燥等各个领域。由于铝的辐射率小，用它可作住宅的屋面板、壁板等建筑面板，也可用它作贮藏器的箔材。

铝无磁性，可作航海船上磁指南针外壳材料。

铝的机械加工性能和延展性好，用它可加工成板材、棒材、管材、型材、线材、箔材、粉末、模锻件、铝制门窗等多种制品。

由于铝在自然条件下能生成氧化膜，而氧化膜的导电率低，能阻止阴极反应，不发生腐蚀，所以在大气中铝是耐蚀性能较好的金属，尤其是 99.9% 以上的高纯铝，其耐蚀性能更好。耐蚀铝合金，对海洋气候环境也有优良的耐蚀性，在船舶工业中它得到广泛应用。

由于铝无毒，所以在食具和食品容器及包装中很早被应用。

在低温中，铝无脆性，它适于作低温结构材料，在南北极探险和宇宙开发方面，铝还可作重要材料使用。

由于铝的熔化温度大约为 660°C ，因此废料回收非常容易。

铝的铸造性能良好，所以可用它铸造零件、日用品等。

镁、硅、铜、锌、锰等多种金属可与铝熔炼成铝合金，制出高强度铝合金零件。

由于铝合金的弹性率小，具有耐冲击性能，它可用于车辆的缓冲体和装甲车的甲板。

因铝及其合金的热中子吸收截面积少，所以它被应用在热中子原子能反应堆上。

铝和锡制成的合金，重量轻，有轴承合金的良好性能，它可作轴承合金代替铂金属。

因铝质轻，它在亲水性、感光性、印刷性和经济性等方面较锌板优越，因此，铝可作为印版用材料。

铝粉可作涂料、烧结铝合金、发热剂等。铝粒在炼钢和化学工业上可用作脱氧剂。氧化铝可用作陶瓷制品的原料，它也是人造宝石的原料。

铝箔用途极其广泛，从一般的日用品到航天航空部件，从食品包装到机电制造，从医药卫生用品的包装到人们的衣着服装，到处都有铝箔的踪迹。

铝虽然具有许多优良性质，但也有一些缺点。铝的硬度较低（99.85%的铝，布氏硬度为 16.1 公斤/毫米²），容易产生缺陷，但经表面处理后，其表面还是较硬的。

铝的体积收缩率大（凝固时为 6.6%）线膨胀系数大（99.93%的铝为 $23.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），熔点低（99.996%的铝为 660[°]C）。从 200[°]C起，它随温度升高，开始变软，因而在高温中使用受到限制。

铝的弹性系数是钢的三分之一，与同一截面形状的钢比较，铝的挠度更大。

铝的电极电位很低，一般为阳极，当与铝相比呈阴极的金属相接触时，铝作阳极而被腐蚀。当与其他金属共同使用时，必须注意电化学腐蚀。与铜接触使用时，电化学腐蚀特别激烈，但与不锈钢相接触时，不必考虑电化学腐蚀。因

此，铝与不锈钢的配合使用正在广泛采用。

铝虽在大气中具有良好的耐蚀性，但受大气的温度、含盐及不纯物等影响很大。在田园 其腐蚀率为 0.011 毫米/年，海上为 0.11 毫米/年，工业地区为 0.08 毫米/年。在碳酸盐、铬酸盐、醋酸盐和硫化物等中性水溶液中，耐蚀性良好，但在氯化物的水溶液中很易变坏。在酸性水溶液中，腐蚀随氢离子浓度增加而加速；在硫酸、稀硝酸和磷酸中，耐蚀性恶化，特别是在各种浓度的盐酸中都加速腐蚀，但在浓硝酸（80%以上）中，由于形成致密的氧化膜，几乎不受腐蚀。铝在各种有机酸中，一般耐蚀性是良好的。铝在碱性水溶液中，由于氧化膜破坏而被腐蚀。但在氨水中，由于氧化物的再生而不发生腐蚀。

铝的物理性质，如表 1—1 所示。

表 1—1 铝的物理性质

性 质	高 纯 铝 (99.996%)	普 通 纯 铝 (99.5%)
原子序数	13	—
原子量	26.97	—
晶格常数[面心立方晶格]20℃(Å)	a=4.0413	a=4.04
比重 20℃ (克/厘米³)	2.689	2.71
比重 700℃ (克/厘米³)	—	2.373
熔点 (℃)	660.2	655

(续)

性 质	高 纯 铝 (99.996%)	普 通 纯 铝 (99.5%)
沸点(℃)	2060	—
线膨胀系数 20~100℃($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	24.58	23.5
线膨胀系数 20~300℃($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	25.45	25.6
凝固收缩 (体积) (%)	—	6.6
比热100℃ (卡/克)	0.2226	0.2297
熔化潜热 (卡/克)	94.6	93.0
燃烧热 (卡/克)	7.389	7.400
热导率 25℃ (卡/厘米·秒度)	—	0.53
电导率 (标准钢) (%)	64.94	55 (退火材)
比电阻20℃ (微欧姆·厘米)	2.6543	2.922
电阻温度系数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	4.29	11.5
磁系数 (厘米-克-秒)	0.677	0.650

第二节 铝及铝合金的腐蚀

一、铝的腐蚀及其分类

金属与周围介质发生化学或电化学反应而引起的破坏,

叫做腐蚀。根据腐蚀过程的机理，腐蚀可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。

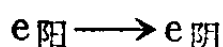
化学腐蚀是通过化学作用使金属遭受破坏的，它是按照多相反应动力学的基本规律进行的，在腐蚀进行过程中不产生电流。金属在高温下，在干燥空气中氧化，或者在非电解质（如汽油、甲苯等）溶液中所产生的腐蚀破坏都属于这类腐蚀。

电化学腐蚀是按照电化学原理进行的，腐蚀过程由阳极反应，电子流动和阴极反应三个环节组成（以铝为例）。

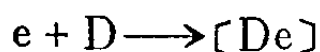
(1) 在阳极区金属 (Me) 溶解



(2) 电子从阳极区流到阴极区



(3) 在阴极区吸引阳极流来的电子（阴极区物质以 D 代表之）



以上三个环节缺一不可，其中阻力最大的环节，决定整个腐蚀过程的速度。一般金属在潮湿的空气中，或在电解质溶液中，所遭受的破坏都是电化学腐蚀。

1. 按金属产生腐蚀的环境分类

(1) 电解液腐蚀 金属在各种水、酸、碱、盐类溶液中的腐蚀等；

(2) 非电解液腐蚀 金属在各种非电解质溶液中和许多有机化合物中（如凡士林、有机清漆、液体橡胶、四氯化碳等）的腐蚀等；

(3) 大气腐蚀 金属在各种自然大气中或人工潮湿气体中的腐蚀等；

(4) 土壤腐蚀 埋设在地下的金属管道和电缆所产生的腐蚀等；

(5) 海水腐蚀 船舶、舰艇以及海港、海洋各种建筑物的腐蚀等；

(6) 应力腐蚀 锅炉、桥梁、浆叶等在应力和腐蚀介质的共同作用下所产生的腐蚀等；

(7) 接触腐蚀 当金属与其它金属或非金属相互接触而引起的腐蚀，如铝与铜、铁等异种金属接触和铝与木材、混凝土、砂浆及灰泥粉接触引起的腐蚀等；

2. 按金属腐蚀破坏的特征分类

(1) 表面腐蚀 腐蚀产生在金属的表面，该腐蚀宏观可以检查出来。表面腐蚀包括均匀腐蚀和非均匀腐蚀两种。而非均匀腐蚀又可分为斑痕腐蚀、点腐蚀、坑腐蚀等等（图 1—1）。

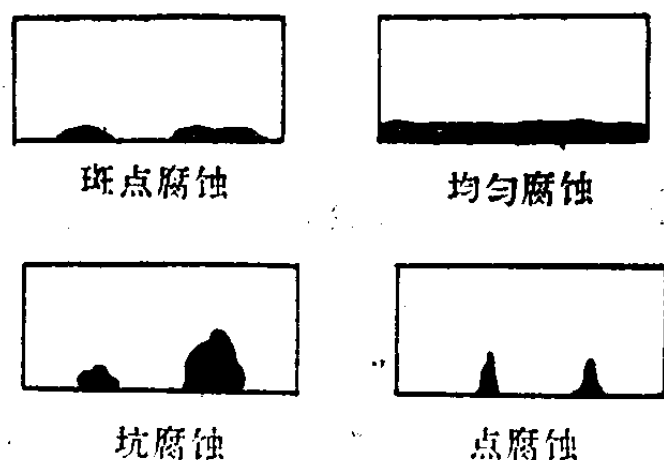


图 1—1 各种表面腐蚀特征示意图

均匀腐蚀的特征是在金属的表面上，均匀腐蚀掉一层金属。铝在氢氧化钠溶液中的腐蚀，就属于这一种。

斑痕腐蚀的特征是腐蚀深度浅，腐蚀面积大。在叠放铝板时，如果中间夹藏有水，容易产生这种腐蚀。

点腐蚀的特征是腐蚀面积小，腐蚀深。铝合金在盐类介质中容易产生这种腐蚀。

坑腐蚀的特征是表面腐蚀的孔洞又深又大，一般腐蚀孔的直径和腐蚀深度的比值大致相似。硬铝合金在海水中易产生这种腐蚀。

(2) 晶间腐蚀 它是在金属内部，沿着晶界产生的一种腐蚀破坏（图 1—2）。



图 1—2 硬合金淬火人工时效材料的晶间腐蚀

这种腐蚀宏观是看不见的，需要用显微镜放大才能观察到像蜘蛛网一样的组织。这种腐蚀对材料的危害性极大，表面上看不出金属的破坏，实质上却导致了晶粒与晶粒的分离，使其力学性能大大降低。一般硬铝合金淬火人工时效状态的材料，置于各种盐类溶液中容易产生这种腐蚀。

(3) 应力腐蚀（破裂腐蚀） 这是金属在应力（包括内

应力或外应力) 和腐蚀介质同时作用下, 产生的一种腐蚀破裂。这种腐蚀破裂分为穿晶型和晶界型两种。铝合金材料的应力腐蚀就属于这种腐蚀。金属在应力作用下, 开始形成微裂纹, 然后微裂纹再沿着晶界或者穿过晶内而蔓延扩展, 最后使金属全部断裂 (图 1—3)。

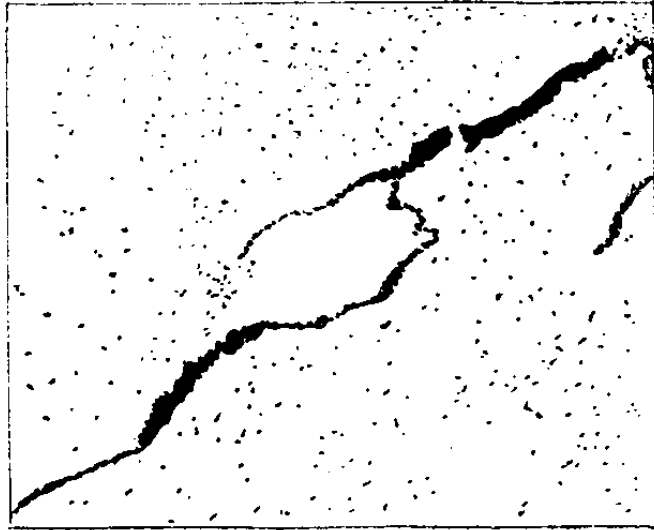


图 1—3 铝合金的应力腐蚀特征 (经过浸蚀) $\times 200$

按照金属腐蚀破坏的作用, 金属腐蚀还可以作如下分类 (见第 10 页) :

可见, 在自然界中, 电化学腐蚀要比化学腐蚀广泛得多。金属腐蚀危害极大, 因此, 研究金属腐蚀和防护, 对我国现代化的建设具有非常重要的意义。

二、铝及铝合金的耐蚀性能

铝的标准电位为 -1.66 伏, 化学性质很活泼。铝在普通大气中和清洁的水中都比较耐蚀, 在浓硝酸、铬酸、醋酸电解液中也比较稳定, 在盐酸、硫酸、苛性钠以及各种盐类电解液中不耐腐蚀。铝中杂质愈多, 耐蚀性能愈低, 其中铁、

