

# Discussion on the Pretreatment Technology of Aluminum Alloy Plating

Gang Li

Huai'an Fusheng Surface Treatment Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223003, China

## Abstract

Aluminum is active metal, in the surface of aluminum in dry air immediately formed about 50 thick dense oxide film, so that aluminum will not further oxidation and can withstand water; but the aluminum powder mixed with air is easy combustion; molten aluminum can react with water, although it is called active metal, but in the air the surface will form a dense oxide film, and after conventional pretreatment of active aluminum parts will form a layer of oxide film, seriously affect the combination of the coating. In view, this study explores all kinds of pretreatment technologies, including traditional chemical treatment methods and emerging electrochemical treatment and non-traditional surface modification technology, aiming to provide a comprehensive optimization scheme for aluminum alloy surface treatment.

## Keywords

aluminum alloy; electroplating pretreatment technology; measures

## 关于铝合金电镀前处理技术的探讨

李刚

淮安富晟表面处理有限公司, 中国 · 江苏 淮安 223003

## 摘 要

铝是活泼金属, 在干燥空气中铝的表面立即形成厚约50埃的致密氧化膜, 使铝不会进一步氧化并能耐水; 但铝的粉末与空气混合则极易燃烧; 熔融的铝能与水猛烈反应, 虽是叫活泼的金属, 但在空气中其表面会形成一层致密的氧化膜, 而经过常规预处理的活性铝零件表面会生成一层氧化膜, 严重影响了镀层的结合力。对此, 本研究深入探讨各类前处理技术, 包括传统的化学处理方法及新兴的电化学处理和非传统表面改性技术, 旨在为铝合金表面处理提供全面的优化方案。

## 关键词

铝合金; 电镀前处理技术; 措施

## 1 引言

铝及铝合金因其优良的物理化学性能和力学加工性能, 在机械制造、电子通信、航空航天等领域获得了广泛的应用。通过电镀处理, 可进一步提高铝及铝合金的耐磨性、导电性和其他特殊性能, 并改善外观, 从而拓宽其应用范围。

## 2 铝合金的特性及电镀前处理的挑战

铝合金为一种轻质、高强的材料, 其自身物理、化学以及机械性能良好, 在航空、交通运输、建筑和电子制造等领域得到的应用较为广泛。其独特性质包括低密度(约为钢铁的1/3)、良好的耐腐蚀性、高导电性以及导热性、可塑性等。但在电镀前处理中, 铝合金的特性对整个行业带来了一定的挑战。

一方面, 铝及其合金在空气中极易形成一层致密的氧化膜, 而此氧化膜虽然可有效阻止材料进一步氧化, 但其会严重影响电镀层的附着力。

另一方面, 铝合金表面为非金属的杂质(如硅、镁等元素的含量)会严重影响电镀厂的均匀性以及其质量。对此在进行电镀前, 其表面需进行针对性设计处理, 如去除表面氧化层和杂质, 改善铝合金表面的活性, 确保电镀层的良好附着性等, 而此过程所存在的技术难度较多, 涉及如何高效、环保地去除铝合金表面的氧化膜, 如何针对铝合金中的特定非金属杂质选择合适的预处理方法等。

## 3 铝合金电镀前处理技术概述

### 3.1 清洁

#### 3.1.1 机械清洁

去除铝合金表面杂质需使用机械清洁, 此方法包括喷砂、打磨和抛光等过程。喷砂需使用直径为0.1~0.5mm的磨料颗粒, 在0.5~0.7MPa的压力下对铝合金表面进行冲击,

【作者简介】李刚(1979-), 男, 中国安徽芜湖人, 从事电镀表面处理领域研究。

以此有效去除氧化层和其他附着物。而通过改变磨料种类、大小还可达到控制铝合金表面粗糙度的效果,以此满足不同电镀要求。

例如,使用细磨料(如白刚玉、硅砂)可获得更平滑的表面,适用于精密电镀;而粗磨料(如棕刚玉)则用于需要增强涂层附着力的场合<sup>[1]</sup>。

### 3.1.2 化学清洁

在铝合金电镀前处理技术中,化学清洁较为必要,其是通过化学反应去除铝合金表面氧化膜、其他无机污染物。此步骤需采用酸性或碱性溶液,以实现对其表面的细致清洁,且达到微观粗糙化的效果,进而合理提升电镀层附着力,在实际清洁过程中,所选择的化学物质种类、浓度以及处理时间都为保障电镀质量的关键,而常见的化学清洁公式如下:



进一步分析此公式反应,铝合金表面的铝与硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )反应生成硫酸铝( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ),同时产生氢气<sup>[2]</sup>。此过程在达到去除表面氧化层,微观粗化铝合金表面,增加其表面活性的基础后,则可实现良好的清洁效果,而硫酸浓度一般设定在5%~10%,处理时间控制在1~5min,而处理温度维持在室温至40℃之间,以避免对铝合金基体造成过度侵蚀<sup>[3]</sup>。

此外为进一步保障清洁效果,进一步提升清洁效率,且防止铝合金表面出现过度腐蚀的情况,建议向酸性清洁溶液中添加抑制剂,如硝酸钠( $\text{NaNO}_3$ )或己二酸( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$ ),其浓度大约为0.5%~1%,在此可达到平衡清洁与保护铝合金基体的应用效果,最终进一步促进铝合金表面可达到良好的电镀状态。

## 3.2 脱脂

### 3.2.1 物理脱脂

在物理脱脂中,此方法包括利用溶剂蒸汽、超声波清洗和高压喷射清洗等,此过程依赖于物理作用力(如振动、冲击)和溶剂的溶解能力,以达到快速去除铝合金表面油脂的效果。例如,在使用超声清洗后,可在微观水平上产生较强的清洁效果,并在清洗溶液中产生的微小气泡爆炸来去除附着于金属表面的油污和颗粒。

### 3.2.2 化学脱脂

在化学脱脂中,主要是利用特定化学反应或溶解作用去除表面油脂,而常见的化学脱脂剂包括碱性溶液(如氢氧化钠 $\text{NaOH}$ 配合表面活性剂)和乳化剂。所进行的脱脂工艺需保持温度在60℃到80℃的条件下,以此达到良好的化学处理效果,并通过此反应将油脂合理分解或进行乳化,以实现清洁金属表面的目的。在此过程中,碱性脱脂化学反应可简化表示为:



此反应公式碱性物质可达到去除油脂,去除表面的轻微氧化层的效果,但需要注意的是,过强的碱性溶液或过长的

处理时间均会对铝合金表面造成损伤,对此需进一步控制进行脱脂条件,以达到保护铝合金表面的效果<sup>[4]</sup>。

## 3.3 酸洗

### 3.3.1 选择合适的酸洗溶液

需选择安全、有效的酸洗溶液,其是处理铝合金表面的关键,而常用的酸洗溶液包括稀硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )、稀盐酸( $\text{HCl}$ )、稀硝酸( $\text{HNO}_3$ )和磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ),其各自具有不同的腐蚀特性和适用场景。例如,磷酸可去除氧化层和轻微的腐蚀产品,还可在铝表面形成一层磷化膜,从而改善涂层的附着性能。酸洗溶液浓度和处理时间需根据铝合金的种类、表面状态调整,一般来说,浓度范围为5%~10%,处理时间为1~5min<sup>[5]</sup>。

### 3.3.2 酸洗工艺的优化

针对酸洗工艺的进一步优化,需考虑其成分、浓度以及温度处理时间等方面,通过合理的优化可达到确保铝合金电镀前处理效果的作用。

例如,针对溶液成分与浓度的调整,硫酸浓度设定在5%~15%,盐酸浓度范围设定在1%~3%。此酸性溶液可有效地去除铝合金表面的氧化膜、污染物。同时,添加1%~2%的抑制剂(如己二酸)还可达到减缓铝合金腐蚀速率,保护金属基体的作用。

## 4 特殊的前处理技术

### 4.1 电化学处理技术

#### 4.1.1 阳极氧化处理

在电化学处理技术中,阳极氧化处理技术主要是在铝合金表面形成致密的氧化膜电化学过程,以此改善铝合金耐腐蚀性、耐磨性且达到表面美观的效果,该处理方式被广泛应用于航空航天、汽车、建筑装饰以及日用消费品等领域。此外,该处理方法可将铝合金作为阳极,在特定的电解液中施加直流电,促使表面形成氧化铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )层,该层厚度、密度和微观结构可通过调整电化学处理参数进行控制,该处理的关键参数包括常见的电解液成分、电流密度、电解液温度以及电解时间。而常用的电解液成分包括硫酸(15%~20%)、草酸(5%~10%)或铬酸(2%~5%),每种电解液均可形成具有不同特性的氧化膜:

①电流密度:常用的电流密度范围在1.5~2.5A/dm<sup>2</sup>。较高的电流密度会加速氧化膜的生长速率,但也可能导致氧化膜的不均匀性和热量过度积聚。

②电解液温度:需合理控制温度,以保障氧化膜的均匀性,且可防止电解液出现过度升温的效果,避免其影响氧化膜质量。而此温度的控制需在20℃~30℃。

③电解时间:电解时间与氧化膜厚度息息相关,一般来说需将电解时间控制在30~60min,以形成厚度约为10~25μm的氧化膜。在使用阳极氧化技术后铝合金表面可达到良好的耐腐蚀性、耐磨性,且在后续的染色处理中,还可

实现美观表面装饰的效果，以此为铝合金电镀和其他表面处理的良好基底。

#### 4.1.2 电解抛光

电解抛光主要利用电化学反应在铝合金表面实现镜面的处理效果，此技术基于所选择的合适电解液、电参数，以达到去除金属表面的微观凹凸不平的效果，在实际处理中，铝合金自身为阳极，其需要与特制的电解液接触，在直流电的作用下，金属表面较凸出的部分由于电流密度较高而更快溶解，在此可实现对表面的平滑处理其参数包括：

①电解液成分：磷酸和硫酸的高浓度（磷酸 70%~80%，硫酸 10%~15%）是为了提供足够的离子强度，以保持电解液的电导率和稳定性，需注意的是，磷酸、硫酸自身浓度比会直接影响到电解液 pH 值，最终决定铝合金表面的溶解速率。

②电压和电流密度：电解抛光过程中常用的电压范围为 15~30V，电流密度约为 10~20A/dm<sup>2</sup>。电压、电流密度的选择会影响到实际抛光效果。

电解抛光过程的电压和电流密度是根据法拉第定律和铝的原子质量、价态进行计算，电流密度（I<sub>d</sub>）和材料去除率之间的关系可以通过下式表示：

$$R = \frac{MI dt}{Fn\rho}$$

其中，R 是材料去除率（μm/min）；M 是铝的摩尔质量（26.98g/mol）；I<sub>d</sub> 是电流密度（A/dm<sup>2</sup>）；t 是电解时间（min）；F 是法拉第常数（96485C/mol）；n 是铝的价数；ρ 是铝的密度（2.70g/cm<sup>3</sup>）。

③处理时间：电解抛光的时间一般为 5~10min，在此需结合铝合金具体种类和所需的表面精度进行调整。

④电解液温度：电解液的温度控制在 60℃~80℃，适宜的温度有利于提高抛光效率和质量。

### 4.2 非传统处理技术

#### 4.2.1 激光处理

铝合金中含有硅、铜等元素，其含量越高，在电镀过程中，基体与镀层之间易产生内应力，影响镀层的结合力：

①激光功率（P）、波长（λ）：激光功率、波长直接影响其在铝合金表面的吸收效率且对作用深度影响较大。

②脉冲持续时间（τ）：脉冲激光的持续时间可以从飞秒（fs，10<sup>-15</sup>s）到毫秒（ms，10<sup>-3</sup>s）不等，需注意的是，其会影响能量的瞬时输入、热影响区域（HAZ）较短的脉冲持续时间有助于减少热影响，实现更精细的表面加工。

③扫描速度（v）：激光头移动速度或工件移动速度，以毫米/秒（mm/s）为单位，其影响到激光作用于同一区域的时间以及加工深度、质量。

④焦点大小（d）：激光焦点的大小决定作用区域的精

确度、能量密度。而对于较小的焦点来说，需进一步保障其可实现高精度的表面结构调整，而此焦点直径在微米级别（μm）。在实际的应用中，需通过选择适当的激光参数，可以去除铝合金表面的氧化层、油脂和其他污染物。

#### 4.2.2 等离子体表面改性

等离子体表面改性技术主要利用等离子体的高能粒子对材料表面进行物化作用，以达到改变其表面特性的处理效果，此技术可在不改变铝合金基材本身属性的情况下，达到改善其表面硬度、耐腐蚀性、耐磨性以及改变表面能等，以此为铝合金表面涂装、电镀等后续工艺提供良好的表面状态：

①放电功率（P）：在等离子体处理中，其放电功率直接影响等离子体的密度、能量，其有关表面改性效果。对此，需将功率设置在几十到几百瓦（W）之间，根据具体的处理目的和材料种类进行调整。

②处理气体种类（G）：等离子体生成时使用气体种类对表面改性效果所产生的影响较大，一般来说常用的处理气体包括氩气（Ar）、氮气（N<sub>2</sub>）、氧气（O<sub>2</sub>）和含氟气体（如 CF<sub>4</sub>），不同气体可引入不同的功能团，最终实现表面改性的多样化。

③处理时间（t）：等离子体处理的时间长度，直接关系到表面改性层的厚度和质量。处理时间通常在几分钟到几十分钟之间，根据具体的应用要求进行优化。

④工作压力（P<sub>r</sub>）：较低的工作压力可有效提升离子体自身能力，但也需要高质量真空系统进行维持。

### 5 结语

综上所述，在提高电镀层的附着力、均匀性和整体性能方面，需合理发挥铝合金电镀前表面处理技术，同时考虑到成本效益和环境影响需优化技术使用过程，注重对新兴技术的合理应用，最终确保铝合金电镀技术可满足更为广泛的工业应用需求，持续推动材料科学与表面工程领域的进步。

#### 参考文献

- [1] 常德华. 铝合金电镀前处理技术探究[J]. 冶金与材料, 2022, 42(1): 67-68.
- [2] 刘崇荣, 刘辉, 刘晔. 高效除磷剂在强酸高磷含镍工业废水除磷除镍实验研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(21): 44-45.
- [3] 李华军. 硅铝合金电镀金工艺[J]. 电镀与涂饰, 2022, 41(9): 634-636.
- [4] 曹瑞, 向可友, 高荣龙, 等. 厚度、划伤对铝合金双层镀镍耐腐蚀性能的影响[J]. 电镀与精饰, 2022, 44(9): 57-62.
- [5] 付国华, 张礼学. 铝合金微波腔体表面处理工艺[J]. 电镀与涂饰, 2022, 41(8): 571-573.