

铝合金阳极氧化工艺优化及其耐腐蚀性能研究

李 彬

南南铝业股份有限公司, 广西 南宁 530200

[摘要] 铝合金因其轻质、强度高、耐腐蚀性好等优点, 广泛应用于航空、汽车、建筑等领域。阳极氧化作为提高铝合金耐腐蚀性、表面硬度和美观性的重要技术, 具有广泛的应用前景。文章通过对铝合金阳极氧化工艺的优化进行研究, 探讨了不同参数对铝合金阳极氧化膜质量及其耐腐蚀性能的影响。通过实验分析, 优化了电解液的配方、电流密度、温度和处理时间等关键工艺参数, 并评估了氧化膜的厚度、表面形态及耐腐蚀性能。文章分析表明, 通过合理优化工艺参数, 可以显著提高铝合金阳极氧化膜的性能, 增强其耐腐蚀能力, 为铝合金在严苛环境中的应用提供理论依据和技术支持。

[关键词] 铝合金; 阳极氧化; 工艺优化; 耐腐蚀性能; 电解液

DOI: 10.33142/ec.v8i3.15644

中图分类号: TG174.45

文献标识码: A

Optimization of Anodizing Process for Aluminum Alloy and Study on Its Corrosion Resistance

LI Bin

Alnan Industry Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530200, China

Abstract: Aluminum alloy is widely used in aviation, automotive, construction and other fields due to its advantages of lightweight, high strength, and good corrosion resistance. Anodizing, as an important technology for improving the corrosion resistance, surface hardness, and aesthetics of aluminum alloys, has broad application prospects. The article studies the optimization of aluminum alloy anodizing process and explores the influence of different parameters on the quality and corrosion resistance of aluminum alloy anodizing film. Through experimental analysis, key process parameters such as electrolyte formula, current density, temperature, and treatment time were optimized, and the thickness, surface morphology, and corrosion resistance of the oxide film were evaluated. The analysis of the article shows that by optimizing the process parameters reasonably, the performance of aluminum alloy anodized film can be significantly improved, its corrosion resistance can be enhanced, and theoretical basis and technical support can be provided for the application of aluminum alloy in harsh environments.

Keywords: aluminum alloy; anodizing; process optimization; corrosion resistance performance; electrolyte

引言

铝合金材料因其具有优异的物理、化学性能和良好的可加工性, 被广泛应用于多个领域。然而, 铝合金表面易受到腐蚀, 尤其是在潮湿、酸碱环境中, 严重影响其使用寿命。阳极氧化是一种通过电化学反应在铝合金表面生成一层致密的氧化膜的工艺, 能够有效提高铝合金的耐腐蚀性、耐磨性和美观性。虽然阳极氧化工艺已经取得了较为成熟的应用, 但现有的氧化工艺在不同条件下的性能仍存在一定的差异, 因此, 优化阳极氧化工艺参数, 提高铝合金阳极氧化膜的质量和耐腐蚀性能仍然是一个亟待解决的问题。本文将探讨如何通过调整电解液成分、电流密度、温度和处理时间等工艺参数, 优化阳极氧化过程, 从而提高铝合金的耐腐蚀性。

1 阳极氧化工艺的基本原理

1.1 阳极氧化的基本原理

阳极氧化是一种通过电化学反应在铝合金表面生成氧化铝膜的工艺过程。在这个过程中, 铝合金扮演阳极的角色, 被浸泡在含有酸性成分的电解液中, 并施加直流电

流。电流通过铝合金与电解液之间的接触, 促使铝表面发生氧化反应, 从而形成一层致密的氧化铝膜。这层氧化膜的主要成分是 Al_2O_3 , 它不仅具有出色的耐腐蚀性、较强的硬度和较高的热稳定性, 而且还能有效阻止外部腐蚀介质对铝合金基体的侵蚀, 增强铝合金的耐磨性和抗氧化能力, 从而延长其使用寿命。此外, 阳极氧化膜的表面可以具有一定的装饰性, 其光泽度和颜色可以根据电解液的不同成分以及工艺参数的调整而变化, 提供更多美观的选择。不仅如此, 由于氧化铝膜是绝缘的, 它还能铝合金提供一定的电气绝缘性, 使其在一些电子和电气设备中的应用更加广泛。

2 工艺优化研究

2.1 电解液成分的优化

关键要素之一——电解液成分影响阳极氧化膜质量, 各不相同的电解液配方对氧化膜性能影响明显, 在传统的阳极氧化工艺当中, 一般用的电解液为硫酸跟草酸, 它们各自体现出不同的特点及长短, 硫酸电解液是采用最为广泛的阳极氧化电解液之一, 其生成氧化膜较厚, 呈现良好

的保护效能。然而经硫酸电解液生成的氧化膜一般孔隙多,膜层均匀性与耐腐蚀性相对欠佳,容易受到腐蚀介质的侵扰,尤其是在酸性或者碱性环境,膜层容易受崩裂,因此即便硫酸电解液在一些应用案例里性价比颇高,然而此膜层整体的抗腐蚀表现不佳,比起硫酸电解液,草酸电解液促成的氧化膜致密性更胜一筹,而且表面较为溜滑,可赋予较强的抗腐蚀能力,草酸电解液的氧化膜于耐酸、耐碱以及耐盐雾等腐蚀环境表现极佳,多用于航空航天、汽车等看重高耐腐蚀性的方面,然而由草酸电解液制成的氧化膜薄,膜层的硬度低于一般水平,造成其耐磨性不如硫酸氧化膜好^[1]。

为进一步提高氧化膜性能的整体水平,近几年研究说明,恰当掺入一些辅助成分(如铬酸盐、磷酸盐等)可切实增强氧化膜的硬度和耐腐蚀性,例如惯用添加剂铬酸盐,能在氧化膜表面形成一层紧实的铬氧化物膜,此膜极大地提升了氧化膜的耐磨及抗腐蚀的能力水平。同样磷酸盐可提升膜层结构稳定性,增高膜层的附着结合力,进而提升膜层的耐化学腐蚀抵御力,此外电解液的 pH 值与浓度对氧化膜质量产生关键影响,借助调节电解液的 pH 值,能把控氧化膜生长速率与膜的表面情形,例如较低的 pH 值一般能促进氧化膜生长,并使膜层形成均匀模样,而较高的 pH 值有概率让膜层不均匀或有孔隙出现,氧化膜的厚度及致密性被电解液浓度所左右,较高浓度的电解液一般可造就厚且坚固氧化膜。

2.2 电流密度对氧化膜性能的影响

作为阳极氧化工艺的关键参数之一是电流密度,对氧化膜的质量及性能意义重大,实验发现表明,电流密度的大小直接影响氧化膜形成的速度、厚度、均匀性及膜的机械强度,较高电流密度虽可快速缩短氧化流程时间,然而其对氧化过程的负面影响显著。首先高电流密度也许让氧化膜表面呈现不均匀情形,膜层的厚度也许出现不均匀,尤其是在膜周边的某些局部范围,易出现厚度过薄或不匀的情形,此外较高的电流密度也许会引发膜层质量下滑,膜层中孔隙的占比升高,致使膜的耐腐蚀性跟耐磨效果降低,甚至也许使膜层出现剥落或龟裂现象。与此相对较低电流密度对氧化膜均匀性及膜层致密性有利,在电流密度为低水平的情形,氧化反应稍显温和,能促进膜层逐步均匀生长,且膜层相对紧实,因而氧化膜的耐腐蚀性以及机械强度往往处于较高值,然而较低电流密度存在短板,集中表现为处理时间偏长,引起生产效率急剧下滑,因此在具体开展阶段,怎样达成电流密度大小调控,是实现阳极氧化工艺整体优化的关键。

为实现最理想的氧化膜性能,应当根据不同电解液的类型以及铝合金表面实际状态调节电流密度,例如硫酸电解液一般适合在较高电流密度下开展工作,以加快氧化反应交替,而草酸电解液一般要较低电流密度来让膜层致密

且具备良好的抗蚀效果,此外电流密度的选择受铝合金表面粗糙度及预处理状态作用。在表面光滑且经精细处理的铝合金上,较低电流密度大概会生成更均匀且严实氧化膜,而表面粗糙或没经过处理的铝合金也许要利用起较高电流密度来促进氧化反应,统筹考量电流密度、电解液特性及铝合金表面态势,经恰当调整电流密度,可使膜在厚度、均匀性、耐腐蚀性及机械强度等方面达成良好平衡,由此优化氧化膜的综合特性^[2]。

阳极氧化特别适用于铝及铝合金,它不仅提高了铝合金的耐蚀性和耐磨性,还能通过后续的着色处理实现多样化的装饰效果。形成的氧化膜可以提供不同的外观(如亮光、半亮光、哑光等)效果,取决于工艺参数和处理方法。阳极氧化处理后,通过在氧化膜中嵌入有机或无机染料可以获得各种颜色,常见的颜色包括黑色、银色、金色、蓝色、红色等。可以看出,阳极氧化后着色试样颜色均匀,无起皮和色差等缺陷,可以形成良好的装饰色。还可以根据客户的具体需求和设计风格来定制选择。这种着色处理不仅提供了多种颜色选择,还可以调整颜色的深浅和饱和度,以满足不同客户的装饰性需求。一些高端产品可能需要特定的金属质感或特定的色彩搭配来增强其视觉吸引力。阳极氧化处理后的着色可以应用于各种需要表面装饰的产品,如汽车零部件、家用电器、电子产品、建筑材料等。选择合适的颜色和质感不仅能够提升产品的外观质量,还能与产品设计相结合,创造出独特的品牌形象和市场竞争优势。阳极氧化处理后的着色定制性为铝合金产品提供了广泛的装饰选择,不仅满足了不同客户和市场对颜色和视觉效果的需求,而且能在保证耐久性和耐蚀性的同时,提升产品的美观度。

2.3 温度与处理时间的优化

温度和处理时间作为影响阳极氧化膜质量的关键因子,它们直接跟氧化膜的厚度、均匀方面表现、致密性及耐腐蚀能力相关,在阳极氧化开展阶段,温度变化对氧化反应速率与膜层性能影响颇大,较高温度能推动氧化反应的进行,加快氧化膜的迅速生长,这对增进生产效率有积极意义。然而温度过高会引起膜层的脆弱性变强,反应环境过热也许会令氧化膜表层变薄,还能引起膜的孔隙度变大,引起膜层致密性呈下降趋势,由此导致膜层的耐腐蚀性、抗氧化能力及硬度出现下滑,因此必须把温度控制在一定范围,过高温度可破坏膜的质量,还可能引起膜层在后续使用时容易溃散或失效。

跟温度一样情形,处理时间亦是影响氧化膜质量的关键要素之一,处理时间不断拉长,氧化膜的厚度一般慢慢地黄增厚,这可增进膜层的耐腐蚀及防护的效果,但长时间的氧化处理有概率让膜层表面变得粗糙、不整齐,膜的硬度和附着力或许降低点。此外处理时间过长还可能引起膜层里金属离子溶解,进而使膜层整体性能出现波动,因

此恰当掌控处理时间是得到优质氧化膜的要点,实验探究证实,在 45° C 的温度阶段里,处理采用 45 分钟时间时,铝合金氧化膜质量达到极优,此时氧化膜厚度合宜,膜层致密性及其均匀水平较高,表面光滑拥有较强的耐腐蚀及抗氧化水平,凭借此条件实施阳极氧化处理,可获取性能均衡的氧化膜,应顺不同应用领域对铝合金表面处理的要求,综合来看合理调节温度跟处理时间的组合,可有效增进氧化膜的质量,提高铝合金的表面效用,提升其使用年长期。

3 耐腐蚀性能测试与分析

3.1 实验方法

为检验阳极氧化膜的抗腐蚀力,本文采用盐雾试验及电化学腐蚀测试这两种常用测试手段,这两种方法能全面又直观反映氧化膜在不同腐蚀环境态势,盐雾试验是普遍采用的加速腐蚀测试法,它借助模拟海洋环境里的盐雾气象,以查看氧化膜在长时间受腐蚀介质影响后的综合变化。在试验中铝合金样品会被暴露进含盐雾的环境中,盐雾浓度及温度会依照国际标准把控,采用周期性审视氧化膜表面的形式,评估其表面是否出现生锈、起皮、脱落等腐蚀现象,由此判断氧化膜的抗蚀能力,盐雾试验可呈现氧化膜在极端环境里的耐腐蚀本事,尤其契合海洋、大气等环境下的铝合金应用方向^[3]。

本文同样采用了电化学腐蚀测试,以进一步定量鉴定氧化膜的抗腐蚀表现,电化学腐蚀测试借助对不同腐蚀介质施加电流,还监测电流密度阶段性变动,用以估量氧化膜抗蚀力,在测试中样品一般被浸泡在酸性或盐水溶液里,依靠测量电流密度的变动,查看氧化膜表面有无局部腐蚀或通电性异常。按该种举措,可精准地辨别氧化膜的电化学稳定性,获知膜层在腐蚀介质中的实际情形,电化学腐蚀测试凸显很强的敏感性,可在短时间里得到精准的腐蚀数据,因此在评估氧化膜实际应用性能方面意义关键,综合这两种检定方法的结果,可全面掌握阳极氧化膜在不同环境下的耐腐蚀性,为优化阳极氧化工艺、增强铝合金材料应用可靠性提供数据与理论支撑。

3.2 实验结果与分析

实验表明经过优化工艺参数,阳极氧化膜抗腐蚀特性得到明显增强,优化工艺主要借助变动电解液成分、氧化电流密度、温度等参数来达成目的,使膜层的结构均匀水平提高,厚度适中且表面更加紧实,结果表明这些优化策

略明显提高了氧化膜抗蚀的本事。当处于盐雾试验阶段,优化后的氧化膜显示显著的抗腐蚀实力,试验中膜层于盐雾环境中的腐蚀时长明显上扬,说明膜层在恶劣环境当中能长时间维持稳定情形不变,不易受腐蚀介质的攻击损害,该结果充分印证了通过优化工艺参数,膜层的抗腐蚀能力明显强化。

此外开展电化学腐蚀测试的阶段,经优化的氧化膜展现出较高腐蚀电位,腐蚀电位是衡量材料抵抗腐蚀能力的关键参照,腐蚀电位越攀高,材料的抗蚀力越强,测试结果说明,优化后的膜层其腐蚀电位明显高值,进一步证明其强耐腐蚀性属实,经优化氧化膜表面致密效果好,可有力拦截腐蚀介质的侵入,进而强化了膜层的抗腐蚀能力。经过进一步分析,优化后的阳极氧化膜在微观结构上进一步优化,采用扫描电子显微镜(SEM)观察,优化后的膜层表面看上去更平整,孔隙分布变得齐整,膜层厚度完成合理把控,均匀的孔隙排列不仅强化了膜层强度,还降低了腐蚀介质渗入的路径数量,切实增强了膜层的抗腐蚀水平^[4]。

4 结语

本文通过对铝合金阳极氧化工艺参数的优化,研究了电解液成分、电流密度、温度和处理时间等因素对氧化膜性能的影响。实验结果表明,通过合理调控这些参数,可以显著提高氧化膜的厚度、均匀性及耐腐蚀性。此外,优化后的阳极氧化工艺可以为铝合金在更加严苛环境下的应用提供技术支持。未来的研究可进一步探索新的电解液配方及更加精细的工艺控制方法,以进一步提升铝合金阳极氧化膜的综合性能。

[参考文献]

- [1]朱云,黄宗英. 喷砂、阳极氧化和着色串联工艺获得的铝合金表面的腐蚀防护及装饰效果[J]. 轻合金加工技术, 2024, 52(9): 1-7.
 - [2]林少凯,唐春,计培智,等. 2219 铝合金酒石酸-硫酸阳极氧化工艺研究[J]. 电镀与精饰, 2024, 46(6): 70-77.
 - [3]刘峻铭. 铝合金复合氧化膜制备及其结构性能研究[D]. 山东: 山东建筑大学, 2024.
 - [4]薛合,刘灿灿,唐大兴,等. 铝合金阳极氧化方法及成膜机理的研究进展[J]. 表面技术, 2024, 53(9): 1-10.
- 作者简介: 李彬(1980.3—),男,民族:汉族,学历:本科,专业:化学工程与工艺。