

铝合金表面化学转化膜技术及耐腐蚀性能提升研究

李彬

南南铝业股份有限公司, 广西 南宁 530200

[摘要] 铝合金因其优异的轻质、强度和耐腐蚀性能广泛应用于航空航天、汽车、建筑等领域。然而, 在实际应用中, 铝合金表面容易遭受腐蚀, 限制了其在一些严苛环境中的应用。为了提升铝合金的耐腐蚀性, 表面化学转化膜技术作为一种有效的表面处理方法, 已受到广泛关注。文章探讨了铝合金表面化学转化膜的制备方法、机理以及耐腐蚀性能的提升策略, 并对其在不同领域的应用前景进行了分析。

[关键词] 铝合金; 表面化学转化膜; 耐腐蚀性能; 表面处理; 性能提升

DOI: 10.33142/sca.v8i4.15945

中图分类号: TG174.45

文献标识码: A

Research on Chemical Conversion Coating Technology and Corrosion Resistance Improvement of Aluminum Alloy Surface

LI Bin

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

Abstract: Aluminum alloy is widely used in aerospace, automotive, construction and other fields due to its excellent lightweight, strength and corrosion resistance. However, in practical applications, the surface of aluminum alloy is prone to corrosion, which limits its application in some harsh environments. In order to improve the corrosion resistance of aluminum alloys, surface chemical conversion coating technology has received widespread attention as an effective surface treatment method. The article explores the preparation methods, mechanisms, and strategies for improving the corrosion resistance of chemical conversion coatings on aluminum alloy surfaces, and analyzes their application prospects in different fields.

Keywords: aluminum alloy; surface chemical conversion coating; corrosion resistance performance; surface treatment; performance improvement

引言

铝合金由于其优良的力学性能和较低的密度, 被广泛应用于航空航天、汽车制造、建筑和电子产品等多个领域。然而, 铝合金在实际应用中面临着环境腐蚀问题, 尤其是在潮湿、高温或盐雾等极端条件下, 铝合金表面容易发生氧化腐蚀, 影响其使用寿命和性能。为了解决这一问题, 表面化学转化膜技术成为提升铝合金耐腐蚀性能的重要手段之一。通过化学转化膜处理, 铝合金表面可以形成一层致密的膜层, 有效地隔绝外界环境对基体的侵蚀, 显著提高铝合金的耐腐蚀性。本文将对铝合金表面化学转化膜的技术进行系统的研究, 重点分析其制备方法、膜层的腐蚀防护性能及其提升措施, 并展望未来的发展趋势。

1 铝合金表面化学转化膜技术概述

1.1 铬酸盐转化膜技术

铬酸盐转化膜技术是铝合金表面处理范畴中最为成熟且普遍用的技术, 原理是把铝合金泡入含铬酸盐的酸性溶液之中去, 采用电化学反应或化学反应的形式达成, 在铝合金表面结出一层薄又致密的铬酸盐膜, 产生铬酸盐膜可增强铝合金表面耐腐蚀性, 还可切实提升铝合金的附着度、硬度以及抗紫外线本领, 从而极大扩大铝合金部件的使用有效阶段时长。鉴于其良好的抗腐蚀特性, 航空航天、

军事装备及高端设备已大量采用铬酸盐转化膜, 然而铬酸盐膜技术同样存有一定局限, 主要体现在环境影响和安全保障的问题上, 铬元素自身存有明显毒性, 且在膜制造过程中往往会产生大量有害废水及废气, 因此铬酸盐转化膜的使用面临严格环保法规及安全管理方面要求, 伴随环保标准逐步上扬, 铬酸盐膜应用逐步遭约束, 而替代技术研发也愈发成为急务, 为减小铬酸盐转化膜给环境造成的消极情形, 研究人员开始探索具有环保优势的膜处理技术, 尤其是无铬转化膜技术以及别的环保表面处理模式^[1]。

1.2 磷酸盐转化膜技术

作为铝合金表面处理手段, 磷酸盐转化膜技术相对环保且成本不高, 此技术制备一般是把铝合金浸泡在有磷酸盐的溶液里面, 经过既定化学反应后, 使铝合金表面出现含磷酸盐与铝离子的复合膜, 跟铬酸盐转化膜做对比, 磷酸盐转化膜成膜操作相对简易, 且不用掺和有毒的铬化合物, 故而在环境友好方面表现出较高水平。良好的耐腐蚀性为磷酸盐膜主要优势之一, 尤其在低酸性与中性环境下表现良好, 此外磷酸盐膜具有一定机械强度与抵御紫外线的本领, 于是可在建筑、汽车、家电等方面大范围推广, 例如在建筑行业里, 铝合金门窗及幕墙的表面处理普遍采用磷酸盐膜, 能切实增强铝合金的耐候及抗腐蚀能力; 在

汽车工业里面,磷酸盐膜也被拿去处理车身部件,来提升其抗腐蚀能力及外观质量,然而虽说磷酸盐膜耐蚀表现不错,但在高盐、高温等恶劣环境里的表现有一定局限,为谋求进一步提升磷酸盐膜性能的实效,研究人员已开始探索添加关键元素(如稀土元素)或优化膜层样式,以优化其耐腐蚀及抗老化水平。

1.3 无铬转化膜技术

随着环保观念的稳步增强和法规的日趋严苛水平,无铬转化膜技术渐渐成为铝合金表面处理技术研究的焦点,无铬转化膜技术借助采用无铬化合物,诸如铝酸盐、锆盐、钛盐之类,把传统铬酸盐溶液替代,由此获取铝合金表面转化膜,无铬膜的核心优势是环保及无毒,消除了铬元素对环境与人体的潜在危害,因而无铬膜在越来越多应用范围得推广。无铬转化膜技术突出特征是膜层耐腐蚀性十分强,尤其是在像氯化物这样的腐蚀性介质环境中表现特别明显,研究表明无铬膜在盐雾、酸雾等恶劣环境里的保护效果比传统磷酸盐膜好,因而在航空航天、汽车、建筑等领域大范围应用,除此之外无铬转化膜同样有着较高表面硬度与良好附着力,可以显著提高铝合金表面的抗磨本事。目前无铬膜研究正处持续发展中,针对膜层的致密性、耐腐蚀性等综合性能,研究人员正审查新的成膜剂、复合膜技术及膜层结构优化手段,以进一步提升无铬膜质量,无铬转化膜技术预期未来成为铝合金表面处理技术的主流方向,尤其是在环保与绿色制造的重视氛围不断升温的背景下,其应用前景极为可观^[2]。

2 提升铝合金表面化学转化膜抗腐蚀性能的策略

2.1 添加稀土元素

稀土元素涵盖钕(Nd)、镧(La)、铈(Ce)等几种稀土元素,已在铝合金表面转化膜研究及应用领域普遍运用,主要为提升膜层耐腐蚀性与综合性能,故而引入稀土元素,稀土元素可与铝合金基体里的铝离子起反应,形成相对稳固的化合物,由此提高膜层的致密性及稳定性。膜层致密状况直接影响其抗腐蚀及抗磨损能力,故而添加稀土元素能明显改进铝合金表面转化膜长期情形表现,此外稀土元素同样表现出较强的钝化效果,可以有力抑制铝合金表面微裂纹及孔洞的形成,微裂纹跟孔洞是引发腐蚀介质侵入、让腐蚀后果加剧的主要要素,因此添加稀土元素可有效削减膜层的缺陷,增强其抵御外界介质侵入的能力。稀土元素的抗腐蚀性及稳定性让铝合金表面在恶劣环境防护力更高,尤其是在海洋、化工等体现高腐蚀性的环境里,表现得极为明显,值得附带说明的是,稀土元素的添加不只是优化膜层的物理特性,它们还可提升膜层的抗氧化性,作为铝合金表面常见转化膜之一的氧化铝膜,决定膜层寿命长短的关键是其抗氧化性,添加稀土成分,利于催生稳定的氧化膜层,进一步强化其抵抗高温、抗氧化及抗腐蚀的综合能力^[3]。

2.2 纳米材料的引入

近年来纳米材料的引入让铝合金表面转化膜技术发展实现新突破,纳米材料表现出极高比表面积及独特物化特性,这些特性让它们在表面处理技术里的地位日益凸显,把纳米氧化铝、纳米硅、纳米钛等材料添加到铝合金化学转化膜里,能明显提升膜层在硬度、耐腐蚀性、抗磨损性等方面的综合性能。由于高比表面积,纳米材料在膜层中能提供更多反应位点,从而加速膜层架构与提升膜的密实水平,此外纳米材料的非凡属性,就如小粒径加上大表面能量,能有效提升膜层附着及结合力,提升膜层的抗老化水平,处于腐蚀环境里,纳米材料可为铝合金表面生成更均匀的保护模式,切实减缓腐蚀出现,提高铝合金部件的使用阶段。纳米硅和纳米氧化铝等材料实施添加,不仅可增强膜层的硬度,还可加大膜层抗磨损的性能水平,伴随铝合金在高强度及耐磨方面应用增长态势佳,纳米材料的引入,无疑让铝合金表面处理技术性能更上一层楼,尤其是在航空航天、汽车跟军事范围,对膜层的高硬度与耐腐蚀性给出新要求,采用纳米材料的优化,铝合金表面转化膜整体性能获大幅提高成效好。

2.3 多层复合膜

铝合金表面处理方面的重要发展方向乃是多层复合膜技术,通过在铝合金表面依次催生多个具备不同功能的膜层,可切实提高膜层的综合性能,尤其在耐腐蚀性、抗紫外线效果以及机械强度的增强表现上,例如基于磷酸盐膜与无铬膜基础的起点上,又再涂一层有机、金属或复合材料涂层,不仅可增进膜层的抗蚀力,还可让膜层的美观度以及耐磨度提高。多层复合膜最大亮点是功能性互补,不同种类膜层可在不同腐蚀介质与环境条件之下发挥作用,从而明显增进铝合金表面的耐腐蚀及持久能力,例如在部分要求高抗紫外线和高耐腐蚀性能达标的场合,能经在膜层表面添加有机涂层达成,进一步拦截紫外线的侵蚀,同时增进膜的抗老化水平;而在一些需高机械强度与抗磨损性能的环境里,添加金属涂层或硬质涂层能明显强化膜层抗划伤与硬度本领。此外多层复合膜技术也可让铝合金外观质量更上一层楼,于膜层内添加各种颜色的涂层或金属层,能在不损害膜层保护性能的基础上,提升其外观审美性,已将这种技术应用到建筑、汽车、家电等行业,尤其是在对外观纹理要求较高的铝合金产品里,存有大规模的应用前景^[4]。

3 铝合金表面化学转化膜的应用

3.1 航空航天领域

在航空航天范围,铝合金凭借其出色的轻质特点和不错的机械性能,频繁应用到飞机和航天器的结构材料里,然而若铝合金长期暴露于恶劣环境(如高湿度、高温、盐雾和紫外线辐射等情况)时,频繁引发锈蚀,这对航空航天器安全性与可靠性形成极大威胁,尤其在高海拔以及太

空这类环境里,腐蚀状况加剧金属疲劳,引起材料性能弱化,甚至出现结构报废。

为解决这一矛盾,铝合金表面一般借助化学转化膜技术进行处理,采用在铝合金表面制成致密转化膜,此膜层不光能搭建有效的物理阻隔,阻拦腐蚀介质的渗透,还可增强铝合金抵御腐蚀和氧化的综合能力,实施化学转化膜工序处理后的铝合金,在陷入高温、低温、强紫外线冲击等极端环境时,能维系其优良的性能,使材料使用寿命延长,保障其在航天器和飞机运行中的稳定与安全性,尤其在航天器在太空中长时间的使用阶段,转化膜可有力阻挡辐射及空间环境对材料的侵蚀,保证其有序飞行,因此化学转化膜处理成了增强铝合金在航空航天范围耐腐蚀性、保障航天器和飞机安全的关键技术之一。

3.2 汽车工业

在现代汽车制造工艺实施中,铝合金靠其轻量化、高强度和良好的加工特性,频繁安置在发动机、车身、轮毂等关键部位,采用铝合金不光能减轻汽车整体的重量,推动燃油效率上扬,还可使汽车在动态性能与操作稳定性方面增强,然而若铝合金处在盐雾、高温、湿气等恶劣环境长期暴露,易出现腐蚀情形,尤其是汽车长时间驾驶结束后,铝合金部件的腐蚀也许会对汽车结构完整性及安全性产生不良影响。

为提升铝合金部件抵御腐蚀能力,频繁采用了表面化学转化膜技术,通过对铝合金表面实施化学转化改良,能形成一层紧实的保护膜,有效提升铝合金的抗腐蚀本事,该膜不仅可有效防止盐雾、酸雨、氧气等腐蚀介质的侵扰,还可在高温与低温环境下维持稳定,减慢铝合金表面氧化腐蚀脚步。尤其是一些高腐蚀环境里,类似海边、湿热环境地段以及冬季用融雪盐处理的道路,铝合金表面化学转化膜可切实降低腐蚀性物质渗透,以此增加汽车部件的使用寿命,因此采用表面化学转化膜技术,不仅能增进铝合

金在恶劣环境里的耐腐蚀本事,还可提高汽车整体安全及耐用的水平,为消费者呈上更长期的使用体验,降低维修及零件替换成本。

3.3 建筑行业

在建筑行业内,铝合金门窗与幕墙凭借良好的外观、超群的力学性能和高耐候性,普遍在现代建筑的外立面设计里采用,然而这些铝合金部件频繁面临高湿度、空气污染、紫外线辐射等复杂环境条件的磨砺,尤其是在城市的整体环境里,空气中诸如酸性气体、颗粒物的污染物,常促进铝合金表面氧化腐蚀,要是铝合金出现腐蚀情形,不仅会使建筑外观失去原有风采,还也许影响建筑物的结构安全,降低其使用年限。

4 结语

铝合金表面化学转化膜技术通过在铝合金表面形成一层保护膜,显著提升了铝合金的耐腐蚀性能。随着环保法规的日益严格,铬酸盐转化膜技术逐渐被无铬膜和其他环保型膜技术取代。未来,通过引入稀土元素、纳米材料以及多层复合膜技术,铝合金的耐腐蚀性能将得到进一步提升。该技术在航空航天、汽车、建筑等领域的广泛应用,推动了铝合金材料的广泛使用,并促进了相关产业的技术进步。

[参考文献]

- [1]任正茂. 铝合金表面处理技术在耐腐蚀性提升中的应用[J]. 冶金与材料,2024,44(12):79-81.
 - [2]李峰,吕超. 铝合金表面热喷涂氧化锆对其耐腐蚀性能的影响[J]. 石油化工腐蚀与防护,2024,41(6):15-17.
 - [3]周小雨. 铝合金表面微弧氧化及超疏水涂层的耐蚀性及其机理研究[D]. 广西:桂林电子科技大学,2024.
 - [4]禹露,许培鑫,罗志翔. A356 铝合金的表面改性与耐磨及耐蚀性能研究[J]. 电镀与精饰,2024,46(4):29-37.
- 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。