

车身铝合金位置电泳针孔问题分析

吴为, 刘海军, 朱华全, 向翔
(东风汽车股份有限公司, 湖北 襄阳 441004)

摘要: 结合车身铝合金位置电泳底漆针孔问题, 分析其产生原因, 并针对根本原因制定了相应的对策。

关键词: 电泳涂装; 钝化; 铝合金

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)03-0025-03

Analysis of Electro-deposition Pinhole Problem in Aluminum Alloy Position of Vehicle Body

WU Wei, LIU Hai-jun, ZHU Hua-quan, XIANG Xiang
(Dongfeng Automobile Co., Ltd., Xiangyang 441004, Hubei, China)

Abstract: Based on the electro-deposition pinhole problem in the aluminum alloy position of the vehicle body, the causes were analyzed, and corresponding countermeasures were formulated for the root cause.

Key words: electro-deposition; zirconium pretreatment technology; aluminum alloys

0 引言

近年来, 世界能源问题越来越突出, 汽车降低燃油消耗、减少排放显得尤为重要。轻量化是实现汽车减少排放、实现可持续发展的重要手段之一, 主要有两个方面: 一是改进汽车结构设计, 二是选用轻质材料(如塑料、碳纤维、铝合金等)^[1-3]。铝合金因其具有质轻、抗腐蚀能力强、良好的隔音和抗震等优点, 得到广泛应用^[3-4]。

我公司某车型的左右前门和两盖位置外板为 AA6016 铝合金材质, 其他位置主要为镀锌钢板材质, 在进行电泳涂装时, 铝合金位置存在电泳针孔问题, 其他部位正常, 返修则会浪费人力物力财力, 影响生产效率和节拍, 严重时还会影响铝板位置的防腐蚀性能。本文分析了铝合金位置电泳针孔问题产生原因, 并给出相应的解决对策。

1 铝合金位置电泳针孔问题的具体表现

我公司某涂装车间前处理-电泳线主要工艺流程如下: 洪流冲洗→预脱脂→脱脂→水洗 1→水洗 2→纯

水洗 3→钝化前处理→纯水洗 4→纯水洗 5→新鲜纯水喷淋→润湿喷淋→电泳底漆→UF1→UF2→纯水洗 6→纯水洗 7。

某车型的左右前门和两盖位置外板为 AA6016 铝合金材质, 其他部位主要为镀锌钢板材质, 某次在经过钝化薄膜前处理后进行电泳涂装(电泳涂装的电压-时间为 50 V-5 s、150 V-25 s、260 V-180 s), 电泳漆膜经过高温烘干后, 发现铝合金部位存在密密麻麻的针孔(见图 1), 而前期生产过程中并无异常。



图 1 铝板表面针孔

2 可能的原因及分析

2.1 电泳涂装后清洗不及时

电泳涂装后, 如果工件出槽清洗不及时, 电泳湿涂膜产生再溶解, 可能会产生针孔^[5]。观察车身其他位

收稿日期: 2023-03-21

作者简介: 吴为(1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺设计及其管理工作。E-mail: gf-wuwei@dfac.com。

置,发现其他位置表面电泳漆膜外观状态正常,若是此原因,整车表面电泳漆膜应当均有针孔存在,并且观察现场电泳后喷淋工作状态并无明显异常,因此推断电泳涂装后清洗不及时并非铝合金位置出现针孔的根本原因。

2.2 电泳槽液杂离子含量过高

如若电泳槽液中杂离子含量过高,则会导致电解反应剧烈,从而导致工件表面产生气体量增多^[5]。经化验检测,发现近几个月电泳槽液的钠离子含量均为 2.0×10^{-5} (工艺要求为 $\leq 2.0 \times 10^{-5}$),仍然属于正常范围,并不存在过高的情况,而且前期生产该车型时铝合金位置电泳漆膜外观正常,因此推断电泳槽液杂离子含量过高亦非铝合金位置出现针孔的根本原因。

2.3 电泳槽液温度偏低或搅拌不充分

若电泳槽液温度偏低则会导致电泳槽液的黏度下降,使得电泳湿膜脱泡难度增加,电泳槽液搅拌如果不充分同样会出现此影响。现场测试电泳槽液温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (工艺要求电泳槽液温度为 $(30 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$),电泳槽液温度处于工艺要求中线位置,属于正常情况;现场检查电泳循环泵运行情况,发现亦无明显异常,因此槽液搅拌应无异常,否则不会仅在铝合金位置电泳漆膜存在针孔。综合分析推断电泳槽液温度偏低或槽液搅拌不充分亦不是铝合金位置出现针孔的根本原因。

2.4 钝化薄膜前处理槽液参数异常

我公司使用的前处理工艺为汉高 1850 系列钝化薄膜前处理工艺,其主要槽液参数有 A 剂吸光度、B 剂吸光度、氟离子含量、pH,钝化薄膜前处理工艺在金属表面主要反应方程式为: $\text{H}_2\text{ZrF}_6 + \text{M} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + \text{M}^{2+} + 4\text{H}^+ + 6\text{F}^- + \text{H}_2 \uparrow$,其中,M 代表 Fe、Al、Zn 等金属基材^[6-7]。A 剂主要成分为氟锆酸,B 剂主要成分为硝酸铜(对成膜反应起到促进作用^[8]),氟离子属于成膜反应副产物,因此如果 A 剂、B 剂含量过高,氟离子浓度过低,会导致反应正向进行,使得反应得到钝化转化膜膜重增加;另外反应为酸性条件下反应,如果 pH 过低,也会促进钝化膜膜重增加。而由于钝化膜中存在铜离子置换的富集铜的团簇(主要为 Cu_2O 、Cu、 CuF_2),在达到一定膜重后会导致金属表面阻抗下降^[7-9],从而导致电泳涂装时反应过程剧烈,产生大量针孔。

我公司钝化前处理工艺要求为:A 剂吸光度 0.8~1.3、B 剂吸光度 0.3~0.5、pH 4.0~4.8、氟离子含量 $(2.0 \sim 8.0) \times 10^{-5}$ 。出现针孔当天,钝化槽液参数如下:A 剂吸光度 1.047,B 剂吸光度 0.342、pH 为 4.15、氟离子含量 4.1×10^{-5} ,槽液参数均处于正常水平,不存在 A 剂、B 剂含量过高、氟离子浓度过低、pH 过低的情况,因此推断钝化薄膜前处理槽液参数异常并不是铝合金位置出现

针孔的根本原因。

2.5 铝合金材表面氧化层有变化

铝合金表面氧化层如果发生变化,则会导致经钝化薄膜前处理后其表面阻抗发生变化,产生针孔则说明其表面阻抗较前期出现下降的情况,导致电泳涂装时反应剧烈,从而产生密密麻麻的针孔。观察现场有针孔的车身表面铝合金材位置,发现经过焊装钣金打磨过的位置,虽然存在鱼鳞状的打磨痕,却无针孔存在(见图 2)。铝合金表面形成钝化膜的机理如下^[10-11]:表面氧化层被酸洗除去→表面开始形成钝化膜→钝化膜继续生长→钝化膜充分覆盖→钝化膜完全覆盖以及膜厚度增加。



图 2 铝合金表面打磨位置电泳底漆

推测铝合金材表面氧化层较前期变厚(氧化层主要为氧化铝),导致表面氧化层被酸洗除去的时间延长,实际后续形成钝化膜的时间较短,可能表面还未能被钝化膜完全覆盖,为铝金属和部分钝化位点的情况,表现的为铝金属的阻抗,而由于铝金属导电性好常被用作导线材料,此时铝合金表面阻抗极低;而铝合金表面经打磨后,虽然凹凸不平,但表面短时间形成的氧化膜薄很快被酸洗除去,从而形成完全覆盖的钝化膜,由于铝金属被覆盖,表现为钝化膜的阻抗,相对铝金属而言较高,电泳涂装时反应程度有所降低,因此铝合金表面经打磨后再电泳便无针孔出现。

前期试制时,曾采用 50 V-5 s、150 V-25 s、220 V-180 s 的电压-时间进行试制,当时铝板位置电泳膜厚较低(不满足品质要求),因此将高压段电压由 220 V 提高至现今的 260 V,运行数月并无异常。为验证上述推测,使用 2 台车使用前期同样的电压-时间进行电泳涂装,两次电泳漆膜厚度对比见表 1。

分析数据发现,本批次试验的车身铝板位置电泳外板部位膜厚普遍较前期试制时高出 5~6 μm ,镀锌钢板位置电泳膜厚较前期无明显变化,充分说明车身铝合金位置确实比前期表面阻抗低,才会导致外板上膜厚度增加的情况;而内板部位与前期持平或低于前期验证,这是由于铝合金阻抗降低,导致外板达到电绝缘的时间延长,即外板电泳上膜时间延长,而电泳涂装处

表1 试验对比电泳漆膜厚度情况

部位	材质	试制车漆膜厚度/ μm		试验车 1 漆膜厚度/ μm		试验车 2 漆膜厚度/ μm	
引擎盖	铝合金	8.7	9.2	16.5	16.4	16.1	15.1
左前翼子板	镀锌钢板	21.5		22.9		21.6	
左前门外板	铝合金	9.7	11.5	16.2	17.4	17.9	17.1
左前门内板	铝合金	15.1		13.1		15.3	
左后门外板	镀锌钢板	19.7	20.6	21.7	21.1	22.9	21.4
左后门内板	镀锌钢板	16.2		21.8		21.8	
左后侧	镀锌钢板	21.5	22.4	15.8	23.5	20.3	22.4
尾门	铝合金	10.5	11.5	16.2	18.3	15.9	15.7
右前翼子板	镀锌钢板	22.4	20.8	20.3		20.0	
右前门外板	铝合金	8.9	9.5	20.3	18.5	16.1	17.8
右前门内板	铝合金	15.4		14.3		14.4	
右后门外板	镀锌钢板	20.5	21.4	19.6	23.0	20.6	21.0
右后门内板	镀锌钢板	17.1		22.2		22.5	
右后侧	镀锌钢板	21.5	23.3	22.2	25.4	21.3	24.5

注:外板要求电泳膜厚 $\geq 15 \mu\text{m}$,内板要求电泳膜厚 $\geq 10 \mu\text{m}$ 。

理时间不变,从而使内板电泳上膜时间相对缩短。因此,判定本批次铝合金材表面氧化层异常(可能较前期变厚)为铝板位置出现针孔的根本原因。

同时,验证还发现高压段电压降低至 220 V 时,铝合金表面针孔情况较 260 V 时有所减轻,但仍然存在少量针孔。

3 铝合金位置电泳针孔问题的解决方案

由于将电泳高压段电压从 260 V 降至 220 V 仍然存在少量针孔,而如果继续降低电压又可能会导致镀锌钢板电泳漆膜厚度低于品质要求,因此将本批次车身铝板位置均打磨后再进行电泳涂装,以减少氧化层溶解时间,增加钝化膜形成时间,提升铝合金表面阻抗,消除铝板位置电泳针孔问题,减少返修工作量,保证防腐性能。随着对策实施,使用 50 V-5 s、150 V-25 s、260 V-180 s 的电泳电压-时间,电泳漆膜外观不再出现针孔,问题得到解决。

4 结语

本文结合我公司某涂装车间某含铝合金车型涂装时铝合金位置存在针孔问题,主要从电泳参数、前处理参数、铝合金表面氧化层 3 方面对此问题进行分析讨论,最终确定本批次铝合金材表面氧化层异常是铝合金位置存在针孔问题的根本原因,并针对相应的原因给出对策,对策实施后该车型各处电泳漆膜外观正常,膜厚达标,减少了返修工作量,确保了防腐性能。

参考文献:

[1] 冉浩,高伟峰.汽车用钢铝混线前处理问题对策[J].涂料工业,2016,46(4):78-81.

- [2] 赵安伟,张贺敏.铝合金机盖随车涂装[J].现代涂料与涂装,2022,25(11):43-45.
- [3] 吴吉霞,邢汶平,程新鸣.铝合金 3 种前处理方式的电泳漆膜耐腐蚀性能探讨[J].材料保护,2019,52(3):95-98.
- [4] 顾宏,吴满健.浅谈汽车用铝板的前处理技术[J].上海涂料,2017,55(6):38-41.
- [5] 王锡春.汽车涂装工艺技术[M].北京:化学工业出版社,2005:183-188.
- [6] 张国忠,强俊.新型氧化锆转化膜技术在汽车行业前处理工艺上的应用[J].现代涂料与涂装,2009,12(4):6-9.
- [7] Xiaoyang Liu, Donald Vonk, Hua Jiang, et al. Environmentally friendly Zr-based conversion nanocoatings for corrosion inhibition of metal surfaces evaluated by multimodal X-ray analysis[J]. ACS Applied Nano Materials, 2019, 2(4):1920-1929.
- [8] Thomas Lostak, Stefan Krebs, Artjom Maljusch, et al. Formation and characterization of $\text{Fe}^{3+}/\text{Cu}^{2+}$ modified zirconium oxide conversion layers on zinc alloy coated steel sheets [J]. Electrochimica Acta, 2013, 112:14-23.
- [9] 于超,杨忠,张新旺,等.汉高第三代薄膜前处理工艺的应用[J].电镀与涂饰,2021,40(18):1398-1403.
- [10] F Andreatta, A Turco, I de Graeve, et al. SKPFM and SEM study of the deposition mechanism of Zr/Ti based pre-treatment on AA6016 aluminum alloy[J]. Surface and Coatings Technology, 2007, 201(18):7668-7685.
- [11] I Milosev, G S Frankel. Review-conversion coatings based on zirconium and/or titanium [J]. Journal of the Electrochemical Society, 2018, 165(3):127-144.