

基于传统磷化白车身高铝比的风险及对策

唐照照, 寇锁, 刘岩, 张成, 韩富刚

(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 主要介绍了基于传统三元锌系磷化工艺, 在白车身高铝比前提下, 通过提高结渣剂添加量、采用 4+8 模式对磷化槽及循环管路定期进行酸洗水洗、提高板框压滤机运行流量及定期酸洗滤板滤布等措施, 解决了磷化质量缺陷及磷化渣状态不好引发的一系列问题, 稳定了磷化工艺, 提高了车身质量。

关键词: 白车身; 常规磷化; 铝比; 车身质量

中图分类号: TQ637 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)11-0028-04

Exposures and Countermeasures Based on the High Aluminum Ratio of Traditional Phosphating Body-in-white

TANG Zhao-zhao, KOU Suo, LIU Yan, ZHANG Cheng, HAN Fu-gang

(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: As the most important process in the pretreatment process of body-in-white in the paint shop, the stability of the traditional phosphating process is crucial to the performance of body-in-white anticorrosion and other properties. In the face of the current market demand for lightweight aluminum alloy body-in-white, the proportion of galvanized sheet has decreased and the content of aluminum sheet has increased in the current new models. This paper mainly introduces the purpose of the increase in aluminum content of the body-in-white, the specific impact of the traditional phosphating process and the corresponding solution strategy to increase the stability of the phosphating process to improve the quality of the body is of great significance.

Key words: body-in-white; conventional phosphating; aluminum plate content; body quality

0 引言

在当前全球能源短缺环境问题日益严峻的社会背景下, 受到节能减排等相关政策的影响以及为了迎合客户降低油耗的市场需求, 在此推动下, 汽车工业车身轻量化发展趋势在逐步加快。目前实现车身轻量化的方法主要有 2 种: 一是当前已被普遍应用的车身结构设计优化; 二是在保证原有性能的前提下合理使用镁合金、铝合金等轻量化材料。而铝合金材料具有密度小质量轻、硬度小、强度高、延展性好、可塑性强、耐腐

蚀等优点, 可以较大程度提高车身板材的应用效果, 减轻车身质量, 降低用户油耗, 且动力性能仍然优越, 车身防腐性能也优于钢板。综合各种性能, 铝合金板材优于其他轻量化材料, 被汽车行业作为车身轻量化的首选材料, 近年来在车身上的使用比例也逐渐提高。以北京奔驰 MRA2 喷漆车间为例, 在车型更新换代之前白车身铝板比例为 10%, 而目前在产新车型中铝板含量在 25%~40%, 其中四门及前后机盖是采用了铝合金材质。

铝板虽然有着十分优越的金属性能, 但占比过高会在磷化反应时引发一系列的现场问题。基于这种限制, 采用传统磷化工艺前提下, 铝板极限比例一般不超过 20%。所有铝板占比超过 20% 的主机厂, 为避免因高铝比引发的一系列问题普遍放弃使用传统三元锌系

收稿日期: 2024-07-18

作者简介: 唐照照(1992—), 男, 本科, 工程师, 主要从事前处理电泳及污水站等工艺设备的维护及故障诊断工作。E-mail: tangzhzh@bbac.com.cn。

磷化(Zn、Mn、Ni)工艺而采用薄膜工艺,以新能源汽车厂最为典型。但目前国内主机厂大多仍使用传统的三元锌系磷化,除北京奔驰以外,其余主机厂在产车型铝板比例均在10%~15%之间。本文以北京奔驰MRA2喷漆车间为案例,重点从白车身高铝比所带来的现场问题以及对应的改善措施进行讨论,旨在为汽车工业内仍采取传统磷化工艺的主机厂提供参考,以提高在车身高铝比背景下的磷化车身质量。

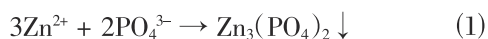
1 车身预处理工艺简介

预处理是一种化学表面处理方法,通过多个相辅相成的流程步骤来完成,它是后续涂装工艺流程实现防腐功能的基础,漆膜的抗腐蚀性和黏附性取决于预处理的效果。北京奔驰MRA2喷漆车间白车身预处理工艺为:预脱脂→脱脂1→脱脂2→脱脂后水洗1→脱脂后水洗2→表调→磷化→磷化后水洗1→磷化后水洗2→磷化后水洗3。磷化是其中最重要的一道工序,是一种化学与电化学反应形成磷酸盐化学转化膜的过程,所形成的磷酸盐转化膜称之为磷化膜。磷化的目的主要是给基体金属提供保护,在一定程度上防止金属被腐蚀,用于电泳前打底,提高电泳漆膜的附着力与防腐能力。

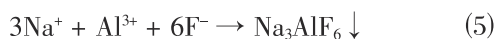
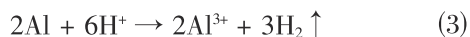
2 磷化渣的产生原理

在磷化液与镀锌板、铝板等基材进行正常磷化反应形成磷化膜时,会不可避免地发生产生磷化渣等副产物的副反应,而副产物产生的反应机理如下。

镀锌板磷化成膜的副产物:



铝板被刻蚀后与 Na^+ 、 F^- 反应形成冰晶石:



3 白车身高铝比的风险

铝板虽然有着十分优越的金属性能,但铝的性质较为活泼,其磷化反应较难把握,容易影响磷化成膜质量,且铝板磷化副反应后产生的磷化渣也是传统三元锌系磷化工艺目前最难攻克的难题之一。

3.1 对磷化膜的影响

铝板在磷化反应过程中会产生大量 Al^{3+} ,随着生产的不断进行,磷化槽液中的 Al^{3+} 持续积累,会降低磷化液的活性,俗称磷化槽液中毒。会阻止铝基材上磷化反应的持续进行,无法形成有效的磷化膜。

3.2 磷化副反应产物带来的影响

当白车身铝板含量较低时,传统三元锌系磷化工艺与镀锌板反应后的磷化渣以锌渣(即磷酸锌)及铁渣

(即磷酸铁)为主。而铝板磷化副反应除了形成锌渣及铁渣等混合物以外,通过化学式(3)、(4)、(5)可知,磷化槽液中还需要额外添加适量的游离氟及时清除磷化槽内的 Al^{3+} 以维持磷化液活性,以保证铝板可以被持续刻蚀而形成完整质密的磷化膜,因而会形成较多的 AlF_6^{3-} 络合物,被称之为铝渣(即六氟合铝酸钠),大量沉积在循环系统内形成冰晶石。铝板产渣量更大,且铝渣相比锌渣及铁渣更难处理,对车身质量、现场设备运行及滤布等备件的使用寿命等都有较大影响。

3.3 现场问题汇总

作为副产物磷化渣需要通过板框压滤机等过滤设备及及时进行过滤,以保证磷化槽液内磷化渣含量控制在有效范围内,从而可以持续有效地与白车身表面进行磷化反应,在表面形成完整质密的磷化膜,达到防腐目的。而测量槽液内磷化渣含量的方法有两种:第一种为英霍夫锥斗量渣法;第二种为称重法。因为操作简便快捷,现场磷化渣测量方法均采用英霍夫锥斗量渣法,本车间对于控制计划要求磷化渣(湿渣状态下)含量小于10 mL/L。根据规划部门给出的经验值结合现场实际情况,在高铝比新车型投产后,磷化渣产渣量大概是先前的3倍。

1)由于铝渣结构致密坚硬且颗粒极其细小,极难过滤,容易通过板框压滤机滤布间的缝隙穿过,严重降低板框压滤机的过滤效果。槽液内磷化渣无法被有效过滤,会导致槽液内的磷化渣容易附着在白车身上,且经过后三道水洗工序后仍然无法彻底清洁干净,继续附着在车身外板上经过电泳工艺后形成批量的火山口质量缺陷(见图1)。在磷化槽内磷化渣含量超出工艺范围,甚至发生磷化爆渣以后,现场需要安排专人在前处理线出口进行人工冲车,将外板渣子清除,且电泳打磨线还需进行打磨修车,造成人力成本及水资源的极大浪费。



图1 车身外板的磷化渣形成的质量缺陷

2)铝渣长期沉积会形成致密坚硬的冰晶石,不仅沉积在管壁上堵塞循环系统(见图2),降低整个循环系统的循环量;铝渣颗粒还会透过滤布在缝隙间形成冰晶石降低其透过性使其使用寿命衰减;同时,磷化铝

渣会透过滤布缝隙沉积在滤板上,堵塞滤板的流道及过滤凸台(见图3),降低压滤机的过滤效果,导致恶性循环,加剧质量问题的恶化。面对这种情况的发生,为避免问题持续恶化,还需要申请维修费定期对整个循环系统及磷化滤板进行彻底清洁,以保证系统循环量和滤板使用效果,故增加了备件及维修费用的支出。



图2 被冰晶石严重堵塞的循环管路



图3 堵塞的滤板

3)因为铝渣不容易结渣的特性,结渣剂(硝酸铁)的添加量需要增加。添加过少,会导致无法成渣;反之,添加过多,会导致磷化渣子含水率偏高而整体变黏。黏腻的磷化渣更容易堵塞滤布,影响其过滤效果,降低板框压滤机的运行时间。为应对高铝比新车型量产,规划部门提前对现场进行设备改造,在原有产线基础上新增1台压滤机,现场共计3台,设计流量均为25 m³/h(国内主机厂大多使用同型号板框)。原本是按照2用1备配置,但按照现场实际运行效果来看,需要3台板框同时开启才可降低槽液磷化渣含量,且每台板框使用时间仅在24 h左右,设备运行压力极大,运行风险较高,面对设备损坏等突发情况会容易引发质量波动。渣子黏腻还会使磷化循环泵双机封的故障率升高。因为磷化渣黏性大容易卡在动环底座里,弹簧卡住后无法正常回弹,也就无法与静环密切贴合形成有效密封,进而会导致轴封液泄露到磷化槽降低工艺参数或者磷

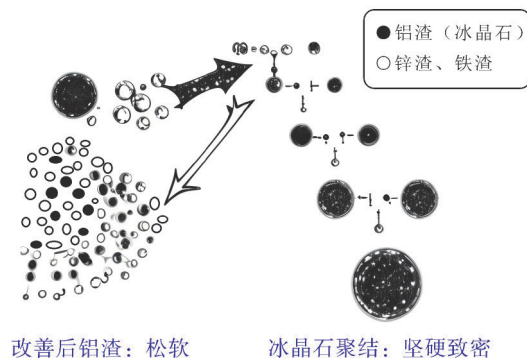
化液外漏,导致污水站因磷镍超标而无法处理污水,引发环保问题。机封损坏循环泵无法运行板框无法开启,需要维修团队进行抢修,抢修期间槽液磷化渣含量可能会上升,引发严重质量问题,同时备件费用支出增加。

4 现场改善验证

现场重点从铝渣结渣效果、循环系统、过滤系统3个方面进行系统优化。

4.1 结渣效果

铝渣因其颗粒小不易结渣的特性,铝渣结渣的过程本质其实是利用锌渣及铁渣结构松软的特性对铝渣进行包裹(见图4)。因此要想提高其结渣效果,需要在原有基础上增加结渣剂添加量。现场通过不断优化添加量可得,当结渣剂添加量从100 mL/车调整至200 mL/车,不仅结渣效果较好,磷化渣含水率也可控制在较低范围。



改善后铝渣: 松软 冰晶石聚结: 坚硬致密

图4 铝渣清除原理

4.2 循环系统

对于高铝比车身,要求磷化槽每小时的循环次数为5~6次。本文现场共有3台循环泵,2台流量300 m³/h,1台流量240 m³/h,本文磷化槽体积为132 m³。根据公式(6)计算可得理论循环次数约为6.4次/h,正常情况下完全满足现场需求,但实际上由于冰晶石的影响(见图4),循环管路会被堵塞,系统循环量严重衰减,导致磷化渣无法被有效过滤而持续沉积在磷化槽及循环管上。

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i}{V} \quad (6)$$

式中: n 为单位时间槽液循环的次数, h⁻¹; Q_i 为第 i 个循环泵的流量, m³/h; m 为循环泵数量; V 为磷化槽体积(本文是132 m³)。

为保证系统循环量,必须将系统内的磷化渣及时清除,而酸洗与水洗相结合是减少磷化渣最经济有效的方式。其中酸洗的频次至关重要,因为工作量更大对停产时间要求更高。在现场生产任务重的背景下,经过

现场反复验证得出结论 4+8 模式最为有效,4 即保证每季度酸洗 1 次,8 即除 4 次酸洗外保证每月倒槽水洗 1 次。对比之前水洗酸洗总共 4 次提高到现在的 12 次,磷化槽及循环管路内磷化渣可以有效去除,避免大量累计形成冰晶石堵塞循环管网。酸洗是采用 15% 浓度硫酸在 50℃ 左右环境下进行,水洗则是倒槽只需要物理清除槽内磷化渣即可。

4.3 过滤系统

槽内磷化渣主要靠板框压滤机进行过滤,因其过滤难度大及高产渣量,故对该设备运行能力也有更高要求,而板框压滤机的使用效果与滤板、滤布的状态密切相关。为缓解设备运行压力,延长板框运行时间,提高过滤效果。现场经过试验确定将板框压滤机运行流量从原始设计的 25 m³/h 提升至 35 m³/h,在这种运行模式下,压滤机运行时间可从 24 h 延长至 48 h 左右。同时,现场只需要运行 2 台板框即可满足使用需求,可留一台备用,抗风险能力提升。由于铝渣特性,冰晶石的产生不可避免,为降低其对滤布和滤板的使用效果的影响,定期对其进行酸洗可较为有效清除冰晶石,提高滤布和滤板的使用效果。经现场验证,每月酸洗 1 次效果最好,且每隔 6 个月对滤板单独进行一次彻底的化学清洗,疏通将其流道,将过滤凸台间的冰晶石彻底清洗干净,可以大幅提升压滤机过滤效果。

采用综上所述措施后,磷化槽内磷化渣含量可有效控制在 2~4 mL,较之前的 10 mL 以上渣量有了大幅改善。

5 改善措施总结

1) 提高铝渣的结渣效果,结渣剂添加量从 100

mL/车调整至 200 mL/车。

2) 采用 4+8 模式对磷化槽及循环管路定期进行酸洗及水洗。频次定为每季度酸洗 1 次,其余月份进行水洗,保证系统具有良好的循环量。

3) 将板框压滤机的运行流量从 25 m³/h 提升至 35 m³/h。同时对滤板及滤布每月进行酸洗,并每隔 6 个月对滤板进行彻底化学清洗,有效提升板框的运行时间及过滤效果。

传统三元锌系磷化工艺应用在高铝比白车身上,会导致工艺稳定性变差,现场会引发一系列问题,给生产带来一定阻力。以本现场为例,高铝比车身对磷化膜成膜效果及覆盖率未产生明显影响,因此本文重点研究其对结渣效果、循环系统及过滤系统 3 方面的影响,并着手制定相应的优化方案,一一落实,使现场问题得到有效改善。目前现场已经稳定运行半年左右,磷化质量及现场磷化渣均在可控范围内,可供其他主机厂进行参考,在车身轻量化高铝比趋势下,借鉴参考以提高现场磷化车身质量,保证现场工艺稳定运行。

参考文献:

- [1] 邵丹.关于铝板磷化比例限制的探讨[J].现代涂料与涂装,2023(12):35-37.
- [2] 朱进,李治东,张举全,等.高铝比钢铝混合车身磷化工艺[J].电镀与涂饰,2021(22):1723-1727.
- [3] 赵双.汽车车身轻量化技术[J].汽车维修技师,2024(4):120-125.

(上接第 27 页)排查,发现来源为注蜡间、注蜡烘房、抱具、剪式升降机、反挂滚床等。首先在设备保洁、常规保洁进行加强。常规保洁对注蜡间、注蜡烘房、循环风机组进行保洁;设备清洁对注蜡抱具、注蜡剪式升降机、反挂滚床、升降机框架进行清洁;对防尘毛刷实现定期更换。设备方面,提升循环风系统、排风系统、烘房系统的效率,对过滤网进行清洁与定期更换。

5 结语

油漆注蜡线环境温度高,特别是注蜡槽上方温度达 50℃ 以上。蜡在高温下会雾化,上飘,与毛刷上灰尘接触,形成黑色蜡点。槽体上方剪式升降机、滚床上的油点、蜡点积聚也会污染毛刷形成黑色蜡点。为减少蜡点的积聚,需保证循环风系统与排风系统的稳定运行,要保证循环风系统、排风系统的效率最大化。注蜡间、注蜡预热烘房的保洁状态、现场设备的良好保洁状态也会减少黑色蜡点的形成与积聚。总体来讲,注蜡车身

黑色蜡点问题涉及到设备、工艺、保洁、现场管理等各方面,可以对设备参数、工艺参数进行优化,对注蜡系统设备进行效率提升,对设备及保洁各方面做出规定,进而解决黑色蜡点问题。

参考文献:

- [1] 周光亚.内腔防蚀蜡在汽车驾驶室防腐蚀中的应用[J].材料保护,1999,6(2):20-21.
- [2] 丁威,于泽森,尹晓东,等.浅谈自动喷蜡工艺技术在汽车车身防腐中的应用[J].汽车工艺与材料,2022,12(6):17-22.

