

电镀锌预磷化板车型电泳条纹分析与解决

李丽梅, 卢 顺, 张合敬, 苏素波

(上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州 545000)

摘要: 针对某汽车涂装生产线电镀锌预磷化板车型电泳条纹问题, 从前处理工艺和参数、白车身质量、前处理材料等多方面进行分析验证。结果表明: 电泳条纹的产生与脱脂游离碱度和总碱度高、表调老化、预磷化膜破损以及脱脂药剂自身碱性过强有关。因此, 导致电镀锌预磷化膜的腐蚀程度加重, 造成划痕区域生成的磷化膜与残留预磷化膜存在厚度差, 从而导致电泳条纹。根据该条生产线的实际情况, 进行以下改进: 现场低碱度管理, 滴定分析检测结果, 游离碱度管控指标稳定至 6~8 mL, 总碱度管控指标稳定至 13~18 mL; 增加表调日常更新频次, 每班次更新 2~5 t, 表调电导率监控范围为 $\leq 2\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$; 减少白车身预磷化膜的损伤, 可有效解决电镀锌预磷化板材的电泳条纹质量缺陷问题。

关键词: 汽车; 电镀锌预磷化板; 脱脂; 电泳条纹

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)05-0044-03

Analysis and Solutions of Electrophoresis Stripes on Electro-galvanized Pre-phosphated Steel Sheets in Automotive Applications

LI Li-mei, LU Shun, ZHANG He-jing, SU Su-bo

(SAIC-GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou 545000, Guangxi, China)

Abstract: To address the issue of electrophoresis stripes on electro-galvanized pre-phosphated steel sheets in an automotive coating production line, a comprehensive analysis was conducted, focusing on factors such as pretreatment processes, parameters, white body quality, and pretreatment materials. The results indicated that the formation of electrophoresis stripes is related to high levels of free alkali and total alkali in the degreasing process, the aging of surface conditioning solution, damage to the pre-phosphating film, and excessive alkalinity of the degreasing agent. These factors collectively exacerbate the corrosion of the electro-galvanized pre-phosphated film, causing a thickness difference between the surface particles adhered to the scratch area and the remaining pre-phosphated film, which in turn leads to electrophoresis stripes. Based on the actual production line conditions, the following corrective measures were implemented: management of low alkalinity levels, with free alkali controlled between 6~8 mL and total alkali controlled between 13~18 mL; increased frequency of surface conditioning solution updates, with 2~5 tons replaced per shift, and monitoring of surface conditioning solution conductivity to remain below $2\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$; reduction of stamping and grinding marks on the body-in-white pre-phosphated steel sheets. These measures effectively eliminated the electrophoresis stripe defect on electro-galvanized pre-phosphated steel sheets.

Key words: automobile; electro-galvanized pre-phosphated steel sheet; degreasing; electrophoresis stripe

收稿日期: 2024-11-19

作者简介: 李丽梅(1996—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺、材料和质量管理、车身防腐、产品设计开发及车型项目管理等工作。E-mail: limei2.li@sgmw.com.cn。

0 引言

汽车车身进入涂装车间的第一道工艺是前处理电泳, 所形成的保护层可以很好地保护汽车白车身避免锈蚀。正是这层电泳涂装的质量直接决定了车身的防腐性能和漆膜效果。汽车电泳车身电泳条纹虽然是一

种常见的质量问题,但是处理缺陷会磨掉电泳漆,影响车身防腐,售后风险大。从生产运行角度看,电泳打磨会产生粉尘、噪声等职业伤害,而且会导致生产成本上升、生产效率降低。

在某汽车涂装生产线批量生产过程中,不同车型的外表面出现了不同程度的电泳条纹缺陷。缺陷主要出现在每种车型的预磷化镀锌板板材部位,缺陷率接近 100%,且条纹印密集紧凑、深浅一致、方向一致、长度一致、存在连续性,如图 1 所示。为消除此缺陷,涂装车间打磨工段对电泳条纹进行打磨处理,严重部位需要打磨至钣金,单车处理时间增加 184 s,给生产效率和产品品质造成较大影响。



图 1 电镀锌预磷化板电泳条纹缺陷

1 电泳条纹产生原因分析

经现场调查,产生电泳条纹的缺陷部位(车门外板、尾门外板等)的板材为电镀锌预磷化板。经过现场目视检查,某车型尾门外板电泳湿膜的条纹缺陷表现出密集紧凑、深浅一致、方向一致、长度一致以及存在连续性的特征。喷涂面漆后,电泳条纹变浅,但仍然无法完全遮盖,产生面漆外观条纹。

电镀锌预磷化板在出厂时,已有一层预磷化镀锌层。这层预磷化镀锌膜容易在强酸或强碱性条件下发生刻蚀反溶^[1]。在经过涂装前处理磷化工艺后,不会重新涂覆磷化膜。电镀锌预磷化板上的磷化膜,在冲压和焊接过程中受到破损等,会腐蚀底材的磷化膜^[2]。因此,针对电泳条纹产生的原因,进行系统性分析。

1.1 遮蔽试验验证

该涂装生产线前处理采用浸渍喷淋式,即浸渍处理后进行喷淋处理。这种处理方式不存在处理死角且不易造成处理残留,处理效果更佳。生产流程如下:热水洪流→预脱脂→脱脂→水洗 1→水洗 2→表面调整→磷化→水洗 3→水洗 4→纯水洗 1→纯水洗 2。

为进一步确认该缺陷发生的工艺段与类型,在生产现场某车型尾门上进行遮蔽试验,以进一步分析电泳条纹产生的原因。试验方法:1)在前处理入口前,在某车型尾门用胶带遮蔽 5 个位置;2)逐个工段去遮蔽;依次在预脱脂、脱脂、水洗 2、表调、前处理出口前从左

至右依次撕下胶带,代号 2-1、2-2,以此类推;3)经过电泳、电泳烘炉等后,在电泳打磨工段观察遮蔽与去遮蔽 2-1 等部位之间的漆膜状态差异。试验结论:在预脱脂和脱脂前去遮蔽的 2-1 和 2-2 部位有明显电泳条纹,而 2-3、2-4、2-5 处未见电泳条纹,结果如图 2 所示。结果表明预磷化板在经过脱脂碱洗时发生刻蚀,即电镀锌预磷化板出现的电泳条纹是前处理碱刻蚀造成的。

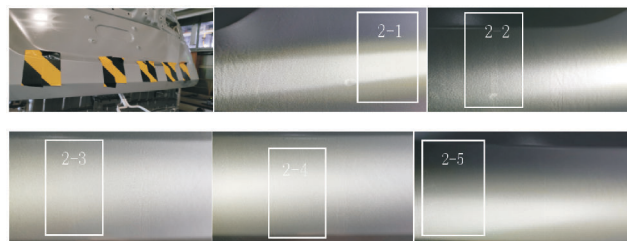


图 2 尾门遮蔽试验验证结果

1.2 前处理工艺和参数的分析

通过贴板试验结果可知,前处理脱脂段是影响问题发生的主要工艺段。电镀锌预磷化板的预磷化镀锌层易在强酸或强碱性条件下发生刻蚀反溶,因此对可能造成电泳条纹的前处理工艺和参数进行系统性分析。

1.2.1 脱脂游离碱度、总碱度

脱脂液主要是由 NaOH 等碱性液体组成,主要目的为去除车身表面的油污等。为避免刻蚀,需要控制槽液中的游离碱度、总碱度参数,控制槽液中所含能与酸发生中和作用的全部物质与槽液中所含 OH⁻离子的总量,避免造成预磷化膜刻蚀形成条纹缺陷。

针对电镀锌预磷化镀锌板碱刻蚀问题,逐渐降低脱脂段游离碱度、总碱度参数,总碱度从 22.7 mL 降至 13.1 mL,游离碱度从 10 mL 降至 6 mL,电泳条纹发生率降至 0,如图 3 所示。

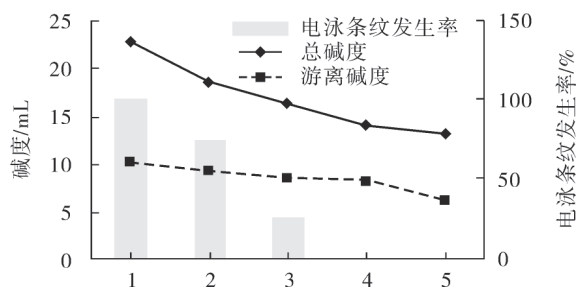


图 3 碱度与电泳条纹发生率的关系

1.2.2 预/脱脂槽液温度

脱脂槽液温度过高可能导致板材刻蚀增加,逐步将预脱脂温度从 48 °C 降至 42 °C,脱脂温度从 50 °C 降

至 48 ℃。但条纹问题改善不明显,仍有 50% 的车存在明显条纹,后侧围、尾门、翼子板区域条纹明显;且在降温过程中出现了因除油不净导致的挂水情况,验证结果如图 4 所示。

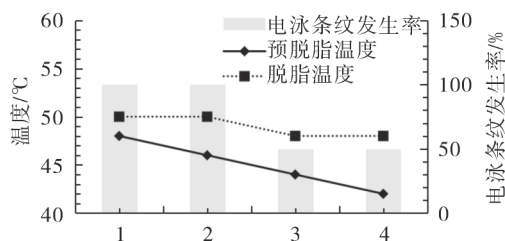


图 4 温度与电泳条纹发生率的关系

1.2.3 表调更新频次

磷化前表面调整可以消除钢铁表面状态存在的物理或化学的不均匀性对成膜过程带来的影响,使表面更好地成膜^[3]。如果预磷化板在脱脂段被刻蚀完全,表调可以更好地使缺失部位在磷化段继续成膜;但表调活性会随时间减弱、老化,pH、浓度等参数不是唯一指标。为此,在正常生产更新的基础上,提高表调更新频次,连续 3 d 每天更新 3% (约溢流 10% 槽液),并记录出车质量。在连续 3 d 更新表调后,跟踪实施后的车身,发现电泳条纹程度明显减轻,结果如表 1 所列。

表 1 提高表调更新频次试验结果

浓度/mL	pH	调整措施	电泳条纹状态
1.3	10.5	无	重
1.3	10.5	溢流 10%	减轻
1.1	10.5	溢流 10%	减轻
1.4	10.3	溢流补药	减轻

1.2.4 脱脂喷淋压力

脱脂喷淋压力大可能会导致喷淋集中在某一方向,进而增加电泳刻蚀问题风险,但前期生产也是同等压力。为此,仍将预脱脂进口左侧、右侧及顶部喷淋压力降低 0.01 MPa。跟踪实施后,改善效果不明显,预磷化板车身仍有电泳条纹。

1.2.5 电镀锌预磷化板裸板印痕

电镀锌预磷化板冲压/打磨痕重会导致预磷化膜被破坏,进而在经过脱脂后放大缺陷,经过电泳后显现出电泳条纹。故在涂装上线口对白车身预磷化板印痕重的缺陷部位,用 600 目细砂纸打磨平整后过电泳。跟踪实施发现:改善效果明显,打磨部位无电泳条纹发生。

1.3 试验结论

经过分段排查、现场实车跟踪验证、参数调整、设

备调整等手段,确认该生产线电镀锌预磷化板电泳条纹发生的主要原因:脱脂游离碱度高、脱脂总碱度高、表调老化和白车身电镀锌预磷化板印痕重。

对电镀锌预磷化板电泳条纹产生的机理进行分析:首先,与电镀锌预磷化板材覆膜的完整性有关:在电镀锌预磷化板的冲压成型过程中,板材表面的预磷化膜容易受到损伤,可能会导致膜层的破裂或其他损坏形式。其次,与涂装脱脂工艺对电镀锌预磷化板覆膜的腐蚀的影响及表调溶液粒径的匹配程度有关:涂装预脱脂和脱脂工序为了除去车身表面油脂,其材料主要成分是 NaOH。碱性溶液的使用会部分腐蚀预磷化膜,导致残留膜层的厚度随着腐蚀程度的增加而减少。在电镀锌预磷化板前处理过程中,表调槽液的粒径随着槽液的老化呈上升趋势,残留的磷化膜厚度与表调粒径之间存在一个动态平衡^[4]。最终,通过控制这种动态平衡来保证电泳膜层的光滑与均匀性。

然而,在实际生产过程中,由于脱脂总碱度、游离碱度波动以及表调槽液的老化,这种平衡难以长期维持^[5]。当脱脂槽液游离碱度或总碱度过高,或者脱脂药剂的碱性过强时,会加剧对预磷化膜的腐蚀,导致膜层厚度不均。尤其是在划痕区域,可能出现膜层与表面颗粒的附着差异。因此,基于上述因素,电镀锌预磷化板经过前处理电泳后,往往会产生明显的条纹,即在现场所看到的电泳条纹。

2 解决措施

2.1 低碱度管理

回顾问题发生前的前处理生产工艺,根据上述验证结果,增加对预脱脂、脱脂的游离碱度参数的管控,并根据现场验证结果,降低游离碱度管控指标:滴定分析检测结果稳定至 6~8 mL;降低总碱度管控指标:滴定分析检测结果稳定至 13~18 mL。

2.2 监控表调槽液老化

除正常倒槽外,增加表调日常更新管控,每班次更新 2~5 t;工艺中增加表调电导率监控范围为 $\leq 2\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$,以确保持续监控表调槽液老化程度。

2.3 稳定电镀锌预磷化板材白车身质量

针对前道冲压、车身生产过程中造成的预磷化板损伤,推进冲压车间与车身车间对设备与工艺进行质量提升,严格管控,保证白车身质量。通过提高白车身的质量,减少预磷化膜损伤,确保其完整性,从而缓解电泳条纹问题。

3 结语

电镀锌预磷化板电泳条纹不同生产线会存有差异,本条生产线从前处理工艺、参数和白车身质量等多方面进行分析验证:电泳条纹的产生(下转第 56 页)