

电泳缩孔问题的分析与解决

赵海宇, 杨宝祥, 张海波, 任博华
(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 针对某一车型的具体电泳缩孔问题, 进行调查、分析和解决, 并总结了电泳缩孔问题的分析方法和解决思路。首先, 从涂装工艺的前处理、电泳和烤箱进行调查, 对3个区域进行交叉试验, 确定缩孔是在电泳烤箱内发生的。然后对机盖进行检查和验证, 发现造成缩孔的原因是折边区域有油喷出。再对装焊工艺进行调查和测试, 但没能根本解决问题。确认根本原因是冲压零件竖直摆放, 拉延油堆积到底边角, 在电泳烤箱中受热从折边喷射出来造成电泳缩孔。又对冲压工艺的拉延油进行调查, 对拉延油的涂油量、可清洗能力和电泳漆的相容性进行测试。最终通过机盖制作工位的机器人自动吹扫功能, 集中吹扫零件边角拉延油堆积的位置, 将拉延油吹离零件表面, 电泳缩孔问题得以解决。

关键词: 电泳; 缩孔; 折边; 拉延油; 汽车涂装

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0060-04

Analysis and Solution of ED Craters

ZHAO Hai-yu, YANG Bao-xiang, ZHANG Hai-bo, REN Bo-hua
(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: This paper investigates, analyzes, and resolves specific E-coat pinhole defects in a particular vehicle model, while summarizing the analytical methodology and problem-solving approach for such coating defects. The study begins with process investigations across three key coating stages: pretreatment, E-coat, and oven. Cross-over tests between these zones confirmed that the pinholes originated during the oven. Subsequent hood inspections revealed oil expulsion from hemmed areas as the defect cause. While investigations extended to body welding processes, the root cause was ultimately traced to stamping part orientation - vertical storage caused drawing oil accumulation in bottom corner areas. During oven, oil expulsion from hem and create pinholes. Further analysis of stamping process parameters included testing drawing oil application amounts, cleanability, and compatibility with electrophoretic paint. The definitive solution involved implementing robotic automatic blowing at hood production stations to specifically remove accumulated drawing oil from part edges and corners. This optimized oil removal from part surfaces effectively resolved the electrophoretic pinhole issue.

Key words: E-coat; ED craters; hemming; oil; automobile painting

0 引言

随着汽车工业的发展, 汽车涂装技术也随之快速发展。电泳技术是汽车涂装的重要组成部分, 具有很强的耐

酸性、耐碱性以及边角保护性能。电泳漆膜出现缩孔缺陷, 将会严重影响电泳漆膜的保护功能和后续的面漆喷涂工作, 以及最终的全套漆膜外观。虽然电泳涂装工艺是十分成熟的涂装工艺, 但是电泳漆膜缩孔缺陷仍是生产现场最常见的漆膜弊病之一。

1 电泳缩孔成因

电泳缩孔, 在湿的电泳膜上看不见, 当烘干后漆膜表面出现火山口状的凹坑, 直径通常为 0.5~3.0 mm。

收稿日期: 2024-02-20

作者简介: 赵海宇(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事前处理、电泳的质量提升、工艺优化和设备改造等工作。E-mail: sgc321703@126.com。

产生这一缺陷的主要原因是电泳的湿膜中或者表面有尘埃、油污、与电泳涂料不相溶的粒子,成为陷穴中心,使烘干初期的流展能力不均衡,而产生电泳缩孔。电泳缩孔会增大打磨量,打磨产生的粉尘可能会影响漆膜质量,造成电泳漆片、“起痱子”等缺陷,严重影响一次交付合格率^[1]。

在日常生产中,电泳缩孔的产生主要有以下原因:

1) 白车身折边或缝隙内存在过量的冲压油^[2]; 2) 被涂物在前处理脱脂不良或清洗后又落上油污、尘埃; 3) 槽液中混入油污,漂浮在液面或乳化在槽液中^[3]; 4) 电泳后冲洗液混入油污; 5) 烘干室内不净,循环风内含有油分; 6) 槽液的面基比参数失调,颜料含量低的易产生缩孔; 7) 涂装环境脏,空气可能含有油雾、漆雾、有机硅物质等污物; 8) 补给涂料有缩孔或其中树脂溶解不良,中和不好。

2 某车型电泳缩孔实例

某车型在电泳后,右侧翼子板上部和右侧机盖出现大面积缩孔,发生概率高达 70%,并且缩孔直径大,程度深。在喷漆之前,需要对所有缩孔区域进行打磨,以此方法消除缺陷,会给电泳打磨增加大量工作量。而打磨产生的粉尘还会影响漆后质量,造成漆片、“痱子”等缺陷,影响最终的一次交付合格率。

2.1 前处理、电泳工艺排查

2.1.1 前处理、电泳、烤箱交叉试验

当电泳车身出现缩孔后,首先怀疑电泳槽液受到污染。迅速安排人员把前处理磷化后水洗工位和电泳槽、UF 工位的过滤袋,更换为 10 μm 除油过滤袋。但使用 24 h 后,缩孔情况并没有得到明显好转^[4]。

为了分析电泳缩孔产生原因和可能产生缩孔的工位,设计了 6 组试验进行交叉对比。分别用标准磷化板与正常车身板过前处理线对比;实验室电泳与正常过电泳线对比;实验室烤箱烘烤与电泳烤箱烘烤对比。由于车身缩孔位置固定,只集中在右侧翼子板和机盖右侧,所以将试验所用的板子,夹在与车身机盖位置接近的前风挡上,板子方向与机盖平行,用来还原机盖区域的缩孔。

第 1 组是用标准磷化板,在车出前处理生产线后夹在车身前风挡上,在车出电泳烤箱后摘下;第 2 组是用标准磷化板,在车出前处理生产线后夹在车身前风挡上,在车进电泳烤箱之前摘下,放在实验室烤箱里,温度设置 160 ℃,烘烤 40 min;第 3 组是用普通车身镀锌板,在车进前处理生产线前夹在车身前风挡上,在车出电泳烤箱后摘下;第 4 组是用普通车身镀锌板,在车进前处理生产线前夹在车身前风挡上,在车进电泳槽之前摘下,在实验室进行电泳,在车进电泳烤箱前再

夹在车身前风挡上,在车出电泳烤箱后摘下;第 5 组普通车身镀锌板,在车进前处理生产线前夹在车身前风挡上,在车进电泳烤箱之前摘下,放在实验室烤箱里,温度设置 160 ℃,烘烤 40 min;第 6 组是用普通车身镀锌板,在车进前处理生产线前夹在车身前风挡上,在车进电泳槽之前摘下,在实验室进行电泳,然后放在实验室烤箱里,温度设置 160 ℃,烘烤 40 min。

将所有试验板做好编号,并对试验结果进行整理,如表 1 所列。

表 1 磷化、电泳、烤箱交叉对比试验

试验编号	前处理	电泳	烤箱	结果
1	标准磷化板	正常过电泳线	电泳烤箱	有
2	标准磷化板	正常过电泳线	实验室烤箱	无
3	正常过前处理线	正常过电泳线	电泳烤箱	有
4	正常过前处理线	实验室电泳	电泳烤箱	有
5	正常过前处理线	正常过电泳线	实验室烤箱	无
6	正常过前处理线	实验室电泳	实验室烤箱	无

由表 1 可以看出,无论是否过前处理生产线、无论是实验室电泳还是电泳槽电泳,与发生缩孔都没有直接对应关系。而在过烤箱烘烤的板子都有缩孔,实验室烘烤的板子都没有缩孔。所以可以排除前处理、电泳生产线的因素,仅针对电泳烤箱进行分析^[5]。

由于车身缩孔位置固定,只集中在右侧翼子板和右侧机盖,并且其他车型的同样位置也没有发现缩孔,所以可以排除是烤箱污染或其他环节造成的。

2.1.2 缩孔的发生

对电泳后有缩孔的机盖进行检查,发现在缩孔附近区域的机盖右侧靠近风挡折边位置,有黄色油印,并在附近区域有程度严重的缩孔,如图 1 所示。

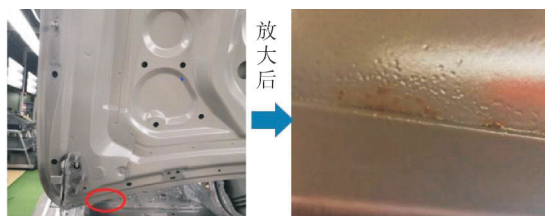


图 1 机盖折边状态

怀疑是在电泳烤箱内有油从折边喷出,随着烤箱内流动的热空气,落到机盖和翼子板上形成缩孔。为了验证该推测。对于未进行电泳的机盖,做了一个“封边试验”。将整个白车身机盖,折边以外的区域,全部用装焊折边胶涂上进行密封,然后用热风枪烘烤固化。然后该车再进入前处理、电泳线、电泳烤箱,车出来后观察

折边区域状态和缩孔情况。

车出电泳烤箱后发现,在机盖靠近前风挡的折边位置,有5 cm 长的区域,在折边胶上出现很多小气孔,是折边内部的有气体把折边胶顶破喷出产生的,如图2所示。

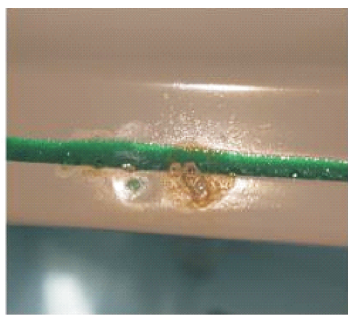


图2 折边封闭处出现气孔

这个区域,与电泳后折边处缩孔位置相同。而在产生小孔的位置周围,有明显黄色油印。同时发现,该试验车的右侧机盖和右侧翼子板上,缩孔虽然没有完全消除,但缩孔数量却较之前下降了80%,缩孔尺寸也较之前小了很多。从这个“封边试验”可以确定:1)确实有气体从折边内喷射出来;2)过量的装焊折边胶,可以阻止大部分的油从折边内飞溅出,减轻缩孔程度。

2.2 装焊工艺调查

2.2.1 折边调查

虽然确定了缩孔产生的直接原因,但还没有从根源上解决缩孔问题。继续调查折边,分析有气体或者油飞溅的原因^[6]。

首先对白车身机盖,右侧靠近风挡的折边区域进行检查。并与左侧的相同位置做对比。对比发现,而左侧折边闭合状态良好,并可以看到折边位置有绿胶稍稍溢出,右侧产生飞溅缩孔的区域,折边密封不严,有目视可见的宽缝隙。

为验证左右折边闭合情况的影响,制作20个机盖的试验件。将机盖右侧折边闭合不严的区域,手动夹紧使其闭合完好。装有这批机盖的车,正常过前处理电泳工艺,出电泳烤箱后进行跟踪统计。最终结果发现:有13辆车缩孔严重,发生概率65%,缩孔情况没有改善。所以折边闭合状态与机盖缩孔没有关联性。

2.2.2 折边胶涂布情况

对问题机盖进行剃试,检查折边胶涂布的状态。测试结果显示,右侧折边的装焊胶涂胶不均匀。在缩孔发生位置附近的折边胶较少且有黄色油印。而机盖左侧,整条折边的胶连续性、均匀性良好。可能有油从胶较少的折边部位喷射出来,而喷射出来的油落到机盖和翼

子板的区域,产生了缩孔。

将此问题反馈给装焊车间,装焊车间对机盖底部右侧区域的涂胶进行优化,增加了该区域的涂胶量,并给出了优化后起始车号。优化后的车,电泳缩孔情况有明显减轻,严重缩孔需要打磨处理的车数比例,下降到20%。

2.2.3 零件贮存情况调查

在装焊车间,检查机盖单片的装焊前后状态。发现机盖外板的单片,是竖直转运和存放。外板单片的头部向上,靠近风挡的底边位置朝下。在外板单片底部发现有拉延油堆积,能发现有明显的油留存在机盖下角的位置。在制作完成的机盖底部下角同样有拉延油堆积,如图3所示。



图3 零件底部边角有拉延油堆积

为了验证堆积的拉延油对电泳缩孔的影响,制作50个边角擦油的机盖零件。在机盖单片进行组装前,将有油堆积的边角用抹布擦一遍,减少零件残余的油。装有这批机盖的车身正常过前处理电泳工艺,出电泳烤箱后进行跟踪统计。最终结果统计情况:50辆试验车中仅有5辆车在机盖右侧有程度轻微缩孔。严重缩孔发生概率为0,轻微缩孔发生概率为10%,这些轻微缩孔几乎都不需要打磨处理。

2.3 冲压工艺调查

缩孔的产生已经确定是由拉延油造成的,但需要继续深入分析调查,为什么拉延油会造成缩孔。在冲压工艺中,拉延油的涂油量是否合理,拉延油的性能是否符合标准。

2.3.1 拉延油涂油量调查

拉延油可以通过前处理脱脂工艺清除,而不会对后续的磷化、电泳产生影响。但如果涂油量过多,拉延油不能被完全清洗,油污可能会对电泳质量产生影响,严重时甚至会被带进磷化液、电泳液中,污染磷化、电泳系统。

根据Mercedes-Benz企业标准,对于冲压板料两面的最终油膜厚度,要求在 $1.2\sim 3.0\text{ g/m}^2$,下限范围是

防腐需求,上限是粘接需求。在冲压车间现场,测量制作成型的料片,在 1.8 g/m^2 左右,符合企业标准,所以拉延油的涂油量正常。

2.3.2 拉延油性检测

拉延油是适用于前处理电泳工艺,还需要满足可清洗能力和电泳漆相容性要求。在冲压车间取回拉延油样品,按照企业标准,对可清洗性和电泳相容性进行试验检测,结果如表 2 所列。

表 2 拉延油的清洗性和电泳相容性试验

项目	测试方法	合格标准	测试结果
清洗性 1	油膜厚度为 $(1.7 \pm 0.2) \text{ g/m}^2$, 室温放置 24 h 后进行脱脂清洗	水膜连续时间 > 20 s	28 s
清洗性 2	油膜厚度为 $(1.7 \pm 0.2) \text{ g/m}^2$, $(165 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ 烘烤 13 min 后进行脱脂清洗	水膜连续时间 > 20 s	23 s
电泳漆相容性	将拉延油混入电泳漆, 含量为 5.0×10^{-5} , 搅拌 24 h 后制作电泳板	缩孔数量 < 5 个/ dm^2	2 个/ dm^2

最终结果显示,拉延油的涂油量正常,清洗性和电泳相容性也符合企业标准。所以冲压现有的拉延油正常使用,不会对前处理、电泳工艺和电泳质量造成影响。

2.4 最终解决措施

根据分析调查,电泳缩孔是由拉延油造成的,但冲压的拉延油工艺完全符合标准,而且拉延油的涂油量和产品也无法轻易进行调整和更换。零件边角的油产生了堆积才是根本原因,解决该问题的方法是需要使边角不再有油堆积或者将零件边角的油除掉。

在装焊车间,机盖制作工位,机器人带有自动吹扫料片表面的功能。调整压缩空气吹扫方向,集中吹扫零件边角拉延油堆积的位置,将拉延油吹离零件表面。后面制作的机盖,装车进电泳后,不再出现电泳缩孔缺陷,最终电泳缩孔问题得以解决。

(上接第 59 页)置后面的程序都会有较大的影响,起喷距离一般定义的是一个范围,在范围内合理取值。

参考文献:

- [1] 陈晓峰,周立军.多车型共线生产下的喷涂参数标准化研究[J].现代涂料与涂装,2020,23(3):28-32.
- [2] 吴启航,郑雪梅.涂装机器人起喷位置对涂层质量的影响分析[J].现代涂料与涂装,2022,25(2):45-49.
- [3] 张华,李伟.基于动态规划的喷涂机器人轨迹优化研究[J].现代

3 结语

在夏季时温度较高,零件表面拉延油黏度变低,流淌性增强。由于零件是竖直存放,拉延油容易堆积到下边角区域。机盖制作成型后,拉延油被封闭在折边内部。而经过前处理脱脂工艺,很难将内部拉延油全部清洗干净,并且会有脱脂液、磷化液通过零件边缘缝隙,进入折边内部,与拉延油混合。折边内的油和水的混合物,在烤箱中烘烤后,受热沸腾变成高压气液混合物,从折边喷射出来。在烤箱内受到自下而上的风,喷射出的混合物会落在没有固化的电泳层上,从而产生飞溅缩孔。

电泳缩孔产生原因多种多样,当出现缩孔问题后,建议先做交叉对比试验,排除掉一部分干扰原因,缩小范围,然后再对剩下可能的原因逐一分析、验证,最终找到根本原因。

而解决问题可以有多种方法,如减少冲压料片的贮存时间,将料片的贮存方式由竖直存放改为水平存放,上料前将油堆积的地方人工擦净等。最终选择最便捷、工作量最小、成本最低的方式,解决问题。

参考文献:

- [1] 王锡春.汽车涂装工艺技术[M].北京:化学工业出版社,2005:175.
 - [2] 许可.汽车涂装电泳投产调试中缩孔缺陷的查找和预防方法研究[D].长春:吉林大学,2014.
 - [3] 吴吉霞,李艳霞,李欣闻,等.电泳涂膜缩孔原因分析及解决方案[J].涂料工业,2014,44(9):66-69.
 - [4] 傅昌勇,程为华,韩华全,等.浅析电泳车身表面缩孔产生原因及对策[J].现代涂料与涂装,2012,15(9):56-58.
 - [5] 赵晓峰.浅谈电泳烘干炉环境对电泳缩孔的影响[J].现代涂料与涂装,2018,21(3):63-66.
 - [6] 陈滋化,曹志岩,吕超.阴极电泳缩孔缺陷原因分析及其控制方法研究[J].现代涂料与涂装,2015,18(10):46-50. ◆
- 涂料与涂装,2022,45(3):28-34.
- [4] 刘洋,王磊.智能制造背景下涂装机器人工艺参数协同优化[J].现代涂料与涂装,2023,46(1):15-21. ◆

