

水性漆湿膜针孔缺陷的分析及解决

潘朝远, 廖章龙, 韦义纲, 李柳姮

(上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州 545000)

摘要: 主要针对某涂装线在有缺陷时打磨到底材金属层后点补防锈中涂漆出现针孔缺陷进行分析研究, 通过 5 个影响因素的验证分析, 得出基材打磨方式、漆膜厚度、流平性、表面张力是影响湿膜针孔的因素, 并提出解决湿膜状态下针孔问题的有效措施。

关键词: 打磨; 表面张力; 湿膜针孔

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-9548(2024)08-0058-03

Analysis and Solution of Pinhole Defects in Water-based Paint Wet Film

PAN Chao-yuan, LIAO Zhang-long, WEI Yi-gang, LI Liu-heng

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

Abstract: This article mainly analyzes and studies the pinhole defects in the painting process of a certain painting line after polishing the substrate metal layer with defects. Through experiments on five influencing factors, it is verified and analyzed that the substrate polishing method, paint film thickness, leveling, and surface tension are the factors that affect the pinhole problem in the wet film state. Effective measures are proposed to solve the pinhole problem in the wet film state.

Key words: grinding; surface tension; wet film pinhole

0 引言

随着全球各国环保法规的日益严格, 水性漆技术越来越广泛地应用于汽车喷涂, 水性漆与传统溶剂型漆相比最大的优点就是 VOC 排放大大降低, 有着低能耗和污染小的特点, 但是水性漆的施工环境要求相对高, 易发生漆膜外观不良的问题, 水性漆主要成分是水, 针孔、缩孔、气泡等易发生且难解决的问题一直是涂料供应商和生产车间共同努力的解决目标。某涂装车间在生产过程中出现钣金、电泳二次流痕时需要打磨掉电泳层以修复板材缺陷, 介绍了打磨漏底材的表面在经过水性中涂时出现的湿膜针孔问题分析和解决办法。

1 问题背景

该涂装车间生产线为水性 3C1B 工艺, 生产流程

为: 前处理电泳烘烤→电泳打磨→上胶→胶烘烤→点补底漆→机器人喷中涂漆→手工喷内表面色漆→机器人喷涂色漆→色漆闪干→手工喷涂内表面清漆→机器人喷涂清漆→面漆烘烤→精修→下线, 其中中涂漆、色漆均为水性漆湿碰湿工艺, 外表面喷涂均为 FANUC 静电旋杯 P500 机器人, 缺陷主要在车身外表面产生。电泳打磨人员在发现有电泳车身钣金问题或二次流痕时, 先使用 120 号砂纸进行粗打磨, 将电泳层、磷化膜、镀锌层打磨掉漏出金属底材表面, 再用 800 号砂纸进行细打磨, 使涂层间平整光滑过渡, 避免喷漆后出现磨不平的问题。为保障性能要求, 中涂前需要在对磨穿位置使用防锈点补漆进行点补, 目的是用来遮盖打磨漏底材的表面和提升底材耐腐蚀性, 还可以加强漆膜与金属之间的粘结力。中涂检查员工发现在打磨到底材的位置出现有密集的针孔状缺陷, 见图 1, 该缺陷经过涂装色漆清漆后也盖不住, 到精修后打磨抛光也无法消除, 需要返修补漆处理。

收稿日期: 2023-07-10

作者简介: 潘朝远(1995—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事涂装喷涂工艺研究工作。E-mail: 2447440722@qq.com。

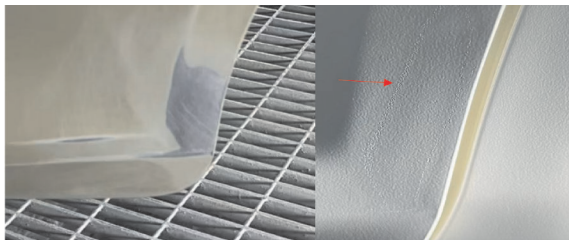


图1 针孔位置及湿膜状态

2 验证分析

针孔一般是在漆膜固化过程中产生的，是由于底层水蒸气在经过烘烤后冲破漆膜造成的。与寻常针孔不同的是，湿膜针孔 100% 出现在打磨穿到底材位置，且在喷完水性中涂后就显露出来，在车身其他大面未出现过该问题，排除了施工环境温湿度的影响。对该针孔缺陷进行显微镜放大 100 倍分析，发现该针孔缺陷中间有“芯”，在冲洗掉外表面油漆检查底层情况后，发现针孔位置存在类似油漆堆积而成的密集颗粒状，见图 2。

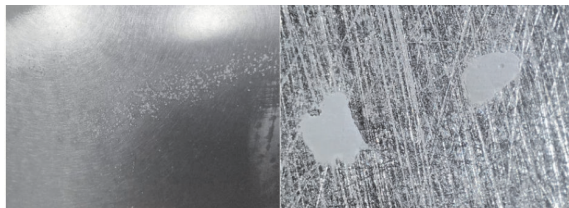


图2 针孔“芯”及显微镜下的状态

在红色漆全工艺涂层下模拟出现场湿膜针孔缺陷，烘干后在实验室的电镜下观察该缺陷的成因，缺陷在烘干固化后的形态表现为圆环状缺陷，见图 3，经过剖面处理后再电镜 50 倍和 200 倍观察，发现漆膜有起伏，膜厚存在波动的情况，见图 4。

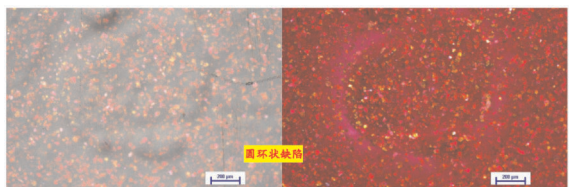


图3 电镜下缺陷的状态

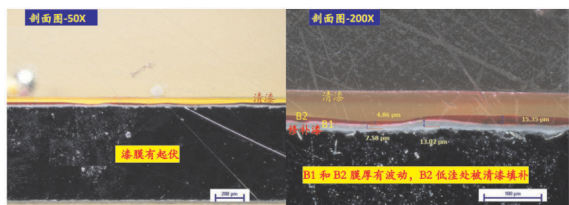


图4 电镜下缺陷的剖面

为了找到该湿膜针孔的根本原因，设计了多因素对比验证，分别分析了 5 个因素对湿膜针孔的影响：打磨材料的选用、羽状边宽度、防锈底漆的喷涂厚度、防锈底漆的黏度、底材的表面张力。

2.1 打磨材料、羽状边宽度对针孔的影响

打磨影响针孔的方式在于打磨后的底材表面不平整，表面存在气孔，喷漆后表面溶剂挥发，涂层内部包含空气会逸出形成针状的小孔。打磨羽状边是将旧的涂层研磨，产生一个宽的、平缓的斜面宽度，羽状边使得漆面与底材的接触面增大，从而使漆膜能够平整地过渡到打磨后的底材，避免漆膜出现膜厚的突变。现场使用气动打磨机对车身进行打磨，型号为 SS-915，配套使用 120 号或 320 号砂纸将电泳层打磨穿，粗打磨完以后使用更细的砂纸进行手工细打磨，打磨羽状边宽度按常规的 3 cm 和 6 cm、9 cm 进行梯度验证，处理完后按全工艺喷漆验证，结果见表 1。

表1 不同打磨材料、羽状边宽度对针孔的影响

序号	粗打磨	细打磨	羽状边宽度/cm	结果
1	120 号砂纸机磨	800 号砂纸手磨	3	有针孔
2	120 号砂纸机磨	800 号砂纸手磨	6	少量针孔
3	120 号砂纸机磨	800 号砂纸手磨	9	少量针孔
4	320 号砂纸机磨	2 000 号砂纸手磨	3	有针孔
5	320 号砂纸机磨	2 000 号砂纸手磨	6	少量针孔
6	320 号砂纸机磨	2 000 号砂纸手磨	9	少量针孔

验证表明不同的打磨材料对湿膜针孔不产生影响，但打磨羽状边宽度影响针孔的数量，羽状边宽度增大能减少针孔的产生，但不能完全消除针孔缺陷。

2.2 防锈底漆喷涂厚度对针孔的影响

漆膜厚度是影响针孔产生的原因之一。因湿膜状态下无法测量膜厚大小，试验通过控制防锈底漆的喷涂次数来控制点补漆厚度，按照喷涂控制的要求，点补防锈底漆需要喷涂打磨裸露金属部位及周边 3 cm 部位，喷涂枪距为 250~300 mm，枪速 800~1 000 mm/s，气压 0.4~0.6 MPa，喷涂次数为 1~2 次，总体膜厚在 5~15 μm，试验结果见表 2。

表2 防锈底漆喷涂厚度对针孔的影响

喷涂次数	膜厚	结果
1	5 μm, 偏薄	有针孔
2	10 μm, 正常	有针孔
3	15 μm, 偏厚	无针孔
4	20 μm, 过厚	无针孔, 打磨交接面有流挂

根据膜厚试验可知，在打磨到金属底材后点补防

锈底漆 3 次喷涂膜厚约 15 μm 以上时,有助于消除打磨后的湿膜针孔缺陷,但随之而来的是存在流挂风险。

2.3 防锈底漆流平性对针孔的影响

油漆的流平性可以改善油漆的渗透性,可以帮助漆膜在底材上固化前形成一个平整并且均匀的涂膜,是油漆的重要性能之一。油漆流平性较差时,施工到底材后表面漆膜没有充分地融合在一起,存在缝隙就会形成针孔,另一方面,油漆流平性太大时,施工容易出现流挂和盖不住缺陷的问题。现场一般采用调整油漆黏度的方式来调整油漆流平性,黏度使用福特杯测量,试验方法是将调整好不同黏度的油漆对打磨后的相同面积的试板进行喷涂验证,查看湿膜状态下的针孔数量来评判效果的好坏,试验结果见表 3。

表 3 防锈底漆流平性对针孔的影响

序号	黏度/s	喷涂次数	结果
1	30	2	20+针孔
2	35	2	20+针孔
3	40	2	10+针孔
4	45	2	3~5 针孔
5	50	2	无针孔
6	55	2	无针孔

由表 3 可以看出,随着防锈底漆黏度的提高,打磨后的湿膜针孔随之减少,当黏度达到 50 s 以上时,针孔问题基本消失,说明打磨至金属底材后用高黏度防锈底漆有助于抑制湿膜针孔的产生。

2.4 底材表面张力对针孔的影响

涂料湿膜的流平是依靠涂料的表面张力来推动的,表面张力与涂料自身的润湿性有关,当涂料润湿性欠佳时,无法充分渗透到孔隙中,会把空气包容在涂层下,在溶剂挥发后,空气膨胀逸出,同样形成针孔。

资料显示各种界面张力的作用关系可以用杨氏方程表示: $\gamma_{\text{液-气}} \cos\theta = \gamma_{\text{固-气}} - \gamma_{\text{固-液}}$, 式中, $\gamma_{\text{液-气}}$ 为液体、气体之间的界面张力; $\gamma_{\text{固-气}}$ 为固体、气体之间的界面张力; $\gamma_{\text{固-液}}$ 为固体、液体之间的界面张力; θ 为固体、液体之间的接触角。润湿效率 $BS = \gamma_{\text{固-气}} - \gamma_{\text{固-液}}$, 即 $BS = \gamma_{\text{液-气}} \cos\theta$ 。由此可以得出: 固液之间的接触角越小,润湿效率越高。

光学法是建立在直接观测液滴在固体表面的接触角的测量方法,是一种直接测量法,有着应用广泛和测量直接准确的特点。本次试验仪器使用 KRUSS DSA100 接触角测量仪,将纯水滴落在试板上,录像后通过软件进行拟合分析,平行测量 5 次取平均值。通

过测量不同打磨状态试板的接触角对比得出试板表面张力的大小,并引入其他涂料来进行对比,验证结果见表 4。

表 4 不同底材对接触角的影响(DIW) (°)

序号	试板状态	涂料 A	涂料 B
1	电泳板	72.8	72.2
2	电泳板轻打磨	121.2	92.4
3	电泳板打磨至金属底材	95.6	99.4

由表 4 可以看出,电泳板在经过打磨处理后表面湿润性发生变化,即表面张力被破坏。在电泳轻打磨下,涂料 A 的表面张力变化最大,涂料最难润湿,也进一步说明了在打磨状态下边缘位置最容易出现难润湿、易流挂和产生针孔的问题。

3 措施和结果

根据以上 4 个试验的结论,电泳打磨穿至金属底材后出现的湿膜针孔问题与打磨羽状边宽度、点补防锈底漆厚度、漆膜流平性、底材表面张力综合因素有关。通过扩大羽状边宽度,减少底材表面的起伏不平整,避免漆膜膜厚的波动;增加点补防锈底漆的厚度,对打磨位置进行点补遮盖缺陷,填补磨掉的膜厚,避免喷涂膜厚的不均匀产生针孔;提高点补漆黏度,使现场施工涂料的流平性更匹配得上打磨后状态;打磨后底材的表面张力变大问题在现场难以避免,按照以往经验,在打磨处采用溶剂或者酒精擦拭可以有效地降低油漆的表面张力。

在实际施工过程中也发现,对打磨位置点补太厚容易出现边缘流挂问题,员工把控难度大,点补漆黏度太高会影响外观,导致局部失光,而溶剂擦拭气味大,不利于现场员工操作。在综合考虑和多次现场实施验证后得出:羽状边宽度控制在 5~10 cm,点补防锈底漆厚度控制在 15~18 μm ,点补黏度在 40~45 s,且加入 1% 的流平助剂,底材上采用酒精擦拭更方便现场操作,通过以上措施可以将湿膜针孔消除。

4 结语

随着水性涂装工艺逐渐成为汽车涂装的主流工艺,实际生产过程中湿膜针孔问题也会越来越常见,本文结合打磨底材的材料及打磨羽状边宽度、防锈点补厚度、流平性、表面张力 5 个方面进行试验分析,提出可行性措施,解决了打磨到金属底材后的湿膜针孔问题。当然,针孔形成的原因是多方面的,在生产过程中也会有其他因素影响针孔的产生,这就需要现场人员和涂料供应商一起配合分析找到根本原因,才能有效地解决针孔问题。◆