

金属漆秋冬季节漆面暗疤问题分析及对策

田 军

(合肥长安汽车有限公司, 合肥 530031)

摘要: 漆面暗疤是秋冬生产线上出现的一种新油漆缺陷。本文从6个方面进行了探讨:点补漆的黏度、车身温度、打磨工具、打磨砂纸型号、喷涂工具以及操作人员的熟练程度,借助6-Sigma工具,它快速有效地识别了影响这一缺陷的关键因素,并最终锁定了漆面暗疤的原因,还分析和推断了这一油漆缺陷的机制和发生条件。最后,从3个方面制定了相应的对策:改善车辆进入温度、改善点补漆的黏度以及选择打磨砂纸型号,并固化了相应的永久性措施,从根本上消除了漆面暗疤的问题。

关键词: 漆面; 暗疤; 涂装过程

中图分类号:TQ639 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)08-0033-04

Analysis and Countermeasures of Metallic Coating Darkness Problem in Autumn and Winter

TIAN Jun

(Hefei Changan Automobile Co., Ltd., Hefei 530031, China)

Abstract: The paint surface dark scar defect is a new paint defect that occurred in a production line during autumn and winter. The article explores six aspects: the viscosity of spot repair paint, vehicle body temperature, grinding tools, grinding sandpaper models, spraying tools, and the proficiency of operators. With the help of 6-Sigma tools, it quickly and effectively identifies the key factors affecting this defect, and finally locks in the causes of the paint surface dark scars. It also analyzes and infers the mechanism and occurrence conditions of this paint defect. Eventually, corresponding countermeasures are formulated from three aspects: improvement of vehicle entry temperature, improvement of spot repair paint viscosity, and selection of grinding sandpaper models, and corresponding permanent measures are solidified to fundamentally eliminate the problem of paint surface dark scars

Key words: coating; darkness; coating process

0 引言

长安汽车某涂装车间中涂面漆喷涂工艺为3C2B模式,某新能源新颜色油漆投产后,首个秋冬季节,面漆检查班组反馈,在对面漆质量检查过程中,发现漆面有暗疤(见图1所示),严重影响交付,漆面平均故障3%左右,在线修复无法处理,需安排离线修复或者返

工处理,影响交付效率,增加员工作业负荷和能耗成本。

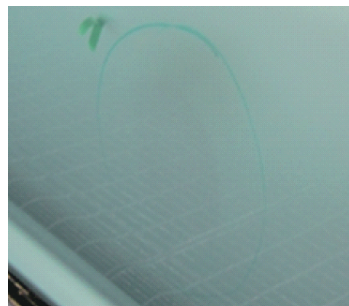


图1 漆面暗疤故障缺陷

收稿日期:2024-01-16

作者简介:田军(1983—),男,硕士,高级工程师,主要从事涂装生产线工艺规划设计、技术改造,现场工艺、质量问题处理,新能源车导入问题处理等工作。E-mail:978307132@qq.com。

1 漆面暗疤发生背景

车间该新能源车型全新颜色 4 月份开始投产并调试,从投产调试至 8 月份从未发生过此故障,但自 9 月开始,生产现场陆续出现此类故障。工程师在接到现场交付班组的问题反馈后,奔赴现场处理问题。过程中发现问题出现的最高峰在 9:30—10:30,其他时间段此故障逐渐趋于平稳,根据车间现场工艺时间进行反向推测,此时间段车辆对应面漆喷涂时间为早上 8:00 开班至 9:00,此时间段故障率最高,其他时间段故障率略有下降,但未杜绝此类问题。

2 漆面暗疤发生原因排查

由于漆面暗疤发生在面漆喷涂后出现故障,中涂层并无此类故障产生,因此对故障的排查和分析围绕在中涂涂层的故障处理、面漆涂层的喷涂 2 个环节中的人、机、料、法、环方面。

人:打磨员工和喷涂员工经过培训合格后上岗,并经过认证;但考虑到人的操作一致性无法保证其没有任何问题,因此人的问题需要进一步分析。

机:手工喷涂工具分为罐枪和空气喷枪,不同喷涂工具的影响需要进一步分析;打磨工具分为气动打磨机和湿打磨砂纸(安装在手托上),需进一步分析。

料:点补中涂漆黏度工艺未明确规定,暂时执行中涂油漆黏度,对故障产生的贡献度无法确定,需要进一步分析。

法:现场使用 400# 砂纸、600# 砂纸,不同型号砂纸对漆膜的影响需进一步分析。

环:打磨室、喷涂室内有相应的温湿度工艺要求,且现场正常记录,均在工艺范围内;但打磨至喷涂转接区域,从一楼打磨结束至二楼进入喷房前所处的环境温度为非工艺要求参数,其对故障影响不确定,需要进一步分析。

在分析过程中,为了准确判定被分析项是否为关键因子,使用了 6-Sigma 工具中的双比率假设检验,比如分别从 A、B 两种工艺条件下随机抽取相同或不同的产品数量,其中 A 工艺条件下不良率为 X_1 ,B 工艺条件下不良率为 X_2 ,在 $\alpha=0.05$ 的条件下,判定 A 工艺是否比 B 工艺有更好的不良率,如 $P\text{-value}>0.05$,接受原假设,A 工艺与 B 工艺不良率不同表现不显著,即不能判定二者不良率不同;如 $P\text{-value}<0.05$,拒绝原假设,可判定 A 工艺与 B 工艺不良率不同。

2.1 环境温度

由于涂装工艺仅对面漆喷涂间有最低工艺温度要求,而对进入喷涂前车辆所处的车间环境温度无相关要求。因此,为了分析环境温度对车身故障的影响,分别对早上开班时间(8:00—9:00)、中午开班时间(12:

40—13:40)、晚上收班时间(17:00—18:00)3 个时间段进车时的室外温度(车间统一位置:面漆扫描电脑主机柜)使用经过权威部门鉴定过的温湿度仪进行检测,车体后续正常操作,在车体经过喷涂、烘干后,由检查人员记录故障数据,见表 1。

表 1 不同进车温度下故障数据

进车时间	环境温度/°C	11月3日	11月4日	11月5日
8:00—9:00	16~18	15	12	13
12:40—13:40	18~20	8	7	8
17:00—18:00	20~22	1	0	1

通过表 1 数据分析,假设检验 $P=0<0.05$,拒绝原假设,可判断进车时周边环境温度过低是影响漆面暗疤的形成因子之一。

2.2 点补工具

工艺规定色漆喷涂前设定中涂点补工位,即喷涂人员使用手工喷枪对中涂缺陷经过打磨露底部位进行二次喷涂中涂作业,完成此步骤后,车壳进入色漆、清漆喷涂。现场观察点补中涂有下压式罐枪和手持式空气喷枪 2 种,两种喷枪结构不同,出漆量不同,可能会影响喷漆漆膜雾化效果。现场分别使用上述 2 种喷枪对打磨部位进行点补作业,记录车架号,并经过后续正常作业后统计分析漆面暗疤缺陷,见表 2。

表 2 不同点补工具故障数据

序号	喷枪	样本量	缺陷数
第一组	下压式罐枪	300	12
第二组	空气喷枪	300	10

通过表 2 数据分析,检验 $P=0.664>0.05$,无法拒绝原假设,可判断人工点补工具状态对漆面暗疤不良故障为非关键因子,对漆面暗疤的形成无绝对性影响。

2.3 点补中涂油漆黏度

现场点补中涂漆为调漆工从中涂油漆取用直接送至班组作为点补中涂漆使用,且工艺对点补中涂黏度无特别要求。因此在此验证中涂点补漆黏度对故障的影响数据。中涂车身用 600# 砂纸进行故障处理,并对位置进行标记,在后面工序中涂点补工位,安排喷漆工对打磨部位分别进行两种黏度中涂油漆喷涂,记录车架号,研究不同黏度中涂油漆对面漆后漆面暗疤的影响,结果见表 3。

表 3 两组不同黏度点补中涂故障数据

序号	点补中涂黏度/s	样本量	缺陷数
第一组	28	300	13
第二组	40	300	5

由表 3 数据可知, 检验 $P=0.026<0.05$, 判断点补漆黏度是影响漆面暗疤的关键因子之一。

2.4 打磨工具

现场中涂打磨工具分为手托打磨球(湿打磨)和袋式打磨机, 手托打磨球为全手工工具, 借助人体手腕的力量拖动打磨球上面的砂纸处理故障, 袋式打磨机则是使用压缩空气驱动转轮以及砂纸进行转动打磨故障, 效率更高, 但产生的粉尘量大。理论上两种工具不同可能影响打磨后漆膜均匀程度。分别使用打磨机和人工手托打磨球的方式对车体进行打磨, 记录车架号, 收集面漆后漆面暗疤的数据进行分析, 见表 4。

表 4 不同打磨工具处理后故障数据

序号	打磨工具	样本量	缺陷数
第一组	袋式打磨机	300	14
第二组	手托打磨球	300	12

由表 4 数据可知, 检验 $P=0.688>0.05$, 分析打磨工具对打磨后位置漆面暗疤故障存在非显著影响, 判定打磨工具为非关键因子。

2.5 打磨砂纸型号

中涂打磨现场使用 400#、600# 砂纸进行缺陷打磨, 作业指导书未明确规定不同砂纸对应的故障类型, 现场员工可根据故障大小或使用习惯自由选择使用; 为确定砂纸对故障的影响, 用不同型号砂纸对漆面暗疤进行打磨, 记录车架号, 并对故障数据进行分析, 见表 5。

表 5 不同型号砂纸处理后故障数据

序号	砂纸型号	样本量	缺陷数
第一组	600# 砂纸	150	2
第二组	400# 砂纸	150	15

通过表 5 数据分析, 打磨砂纸型号双比率假设检验 $P=0.006<0.05$, 判定打磨砂纸型号不同, 为漆面暗疤发生的关键因子之一。

2.6 打磨人员熟练程度

中涂打磨现场使用 600# 砂纸进行缺陷打磨, 现场调整班组异常和新进员工(经过培训后合格人员)对车体前罩部位进行打磨作业处理, 后续作业正常操作, 统计缺陷数据见表 6。

表 6 不同熟练程度员工打磨后故障数据

序号	操作人员	样本量	缺陷数
第一组	异常操作	150	12
第二组	经过培训新员工操作	150	13

通过表 6 数据分析, 双比率假设检验 $P=0.545>0.05$,

判定打磨人员熟练程度对故障存在非显著影响, 判定为非关键因子。

2.7 小结

通过对打磨暗疤不良故障原因初筛至打磨及喷涂工序过程中的人、机、料、法、环等因素, 确定环境温度、中涂涂料黏度、打磨砂纸型号为故障产生的关键因子。

3 漆面暗疤机理推测及相关对策制定

3.1 机理推测

面漆车身外表面固化后, 目视局部与周边区域颜色呈现色差陷疤, 缺陷形状跟打磨部位高度一致, 现场称之为“打磨暗疤”, 由于故障产生在色漆层, 经过生产线正常故障处理(研磨、抛光)后, 并不能随之消失, 只能离线操作, 通过砂纸、打磨机先破坏清漆、色漆层后, 重新喷涂色漆, 再喷涂清漆修复。

中面涂 3C2B 的溶剂型油漆涂层分为中涂涂层(进行一次烘烤)、色漆和清漆涂层(进行第二次烘烤); 中涂涂层下方是电泳涂层, 电泳涂层下方是钣金。电泳涂层主要起防腐作用, 厚度仅有 16~18 μm , 而中涂涂层起到填充作用, 厚度高达 35~40 μm 。

中涂涂层有故障部位, 需要进行打磨处理, 中涂涂层均一性被砂纸破坏, 油漆表面距离钣金厚度不一致, 厚度差最大可能达到 40 μm , 漆厚度越大, 则其导热系数越小, 因为漆膜越厚, 热量传递的距离就越长, 产生的温度差就越大。秋冬季节, 车身进喷房前, 环境温度低于喷漆室温度, 进入喷漆室后是一个升温过程, 热量由车身传递至电泳涂层, 由于中涂厚度不均匀造成涂层表面温度差异(见图 2), 在涂层上喷涂新的油漆后, 由于温度差异导致溶剂挥发不均匀, 涂层表面干湿不均, 造成铝粉排列方式差异, 烘干固化后形成色差。

漆面暗疤的本质即局部色差, 是由于铝粉在不同温度表面形成干湿不均匀导致排列上的差异, 烘干后使光源反射角度和反射强度存在差异而致^[1]。

3.2 对策制定

根据故障发生的机理和发生原因排查结果, 针对性地从进车温度改善、点补黏度改善、打磨砂纸选择等 3 个方面分别制定对策。

3.2.1 进车环境温度改善

车间工艺室将改造需求及方案报送工厂, 相关部门确认保温方案, 利用不生产期间, 对喷房前局部环境密封并增加保温层, 并借用喷房外溢热量对周边封闭环境进行升温。现场施工之后, 通过对新建室体内部温度、新建室体外部温度、喷漆间温度测量后进行比较, 具体情况见表 7。由表 7 数据可知, 封闭室体达到了保温、改善进车环境温度的效果。

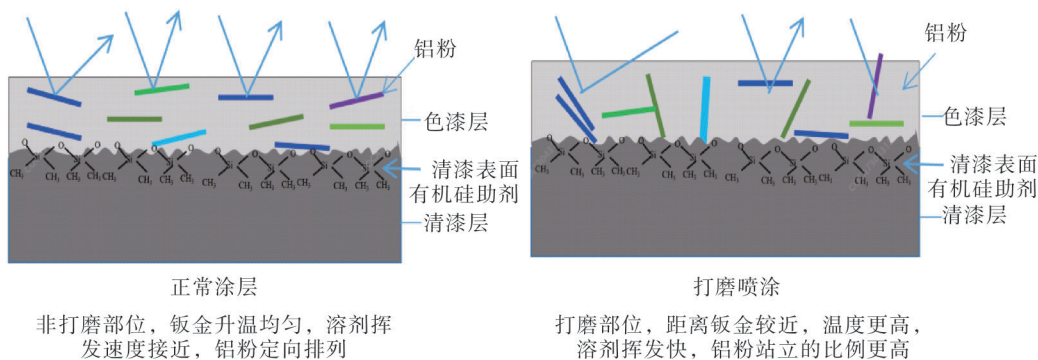


图2 打磨和非打磨部位涂层示意

表7 新建室体内外温度检测

新建室外温度/°C	新建室内温度/°C	喷涂间温度/°C
19.7	21.3	21.9
19.5	21.2	22.1
19.4	21.6	22.4
18.6	20.5	21.6
18.7	20.9	21.7
18.9	20.8	21.6
16.7	20.1	21.9
17.1	20.9	22.1
16.9	20.3	22.2

施工后又通过连续观察一周 8:00—9:00 的进车数量,统计故障数,跟施工前的数据进行对比,见表 8, 检验 $P=0<0.05$,表明封闭前后故障率发生了根本性转变,改善有效。

表8 封闭前后故障数据对比

分类	故障数	样本量
改善前	50	250
改善后	10	250

3.2.2 点补中涂黏度

通过原因分析,现场配制不同梯度黏度的中涂点补油漆,送至喷漆间,在环境恒温条件下进行喷涂验证,并根据故障数据和黏度数据,进行黏度-故障相关性分析,见图 3。

根据软件模拟出的拟合方程为 $Y=-959.1+89.88X-2.716X^2+0.02681X^3$, 其中, Y 为故障台数, X 为点补中涂黏度;当油漆黏度在 37~39 s 之间时,故障最少。中涂漆的黏度范围是 28~40 s,因此取 37~39 s 作为新的调整范围。

由于点补油漆和中涂油漆黏度不同,因此现场不能再通过取用中涂漆作为点补中涂使用,将点补中涂投入色漆循环小系统内,通过输调漆系统将油漆输送

至点补工位直接使用。

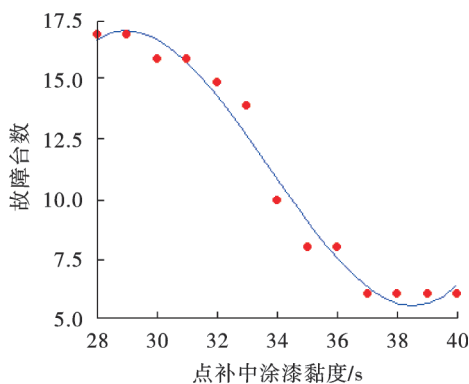


图3 黏度-故障相关分析

3.2.3 砂纸型号选择

根据原因分析阶段砂纸型号分析情况,使用 600# 砂纸与使用 400# 砂纸相比对故障率降低有效。但考虑到使用型号更小的砂纸处理故障对处理时长的影响,进行以下验证。正常情况下,中涂故障在中涂喷涂或者烘干过程中形成,漆面故障在打磨至漏出电泳漆即可全部消除。因此用秒表在车体前盖相同位置,统计打磨至电泳涂层所用砂纸的时间,结果见表 9。

表9 不同型号砂纸处理故障时间对比

序号	600# 砂纸时长/s	400# 砂纸时长/s
1	19.34	16.53
2	16.58	19.32
3	17.35	19.54
4	19.22	20.32
5	20.12	21.51
6	22.14	22.54
7	20.18	20.15
8	20.12	19.32
9	22.14	19.54
10	20.18	20.32

(下转第 41 页)