

基于 PFMEA 分析法解决 V80 车型 B 柱涂装灰粒问题

周金波

(上汽大通汽车有限公司无锡分公司, 江苏 无锡 214107)

摘要: 基于 PFMEA 分析法研究并解决了 V80 车型涂装过程中出现的 B 柱灰粒问题。首先, 结合帕累托图分析了 V80 车型 B 柱涂装灰粒问题的影响范围与频次, 确定国 VI 车型新增 B 柱尿素加注口小门涂装工艺是产生 B 柱灰粒异常问题的主要原因; 其次, 概述了新版 FMEA 的问题分析步骤与过程; 然后, 基于 PFMEA 七步法进行分析与研究, 得到尿素口小门涂装中的一个工步为高优先行动级; 接着, 利用鱼骨图对高优先行动级项进行展开分析, 选择最为有效的预防措施来应对风险项; 最后, 通过工装结构优化与工艺路径变更, 将优先行动级从 H 降至 L, 基本解决了 V80 车型 B 柱灰粒问题, 提升了产品的一次性涂装报交合格率, 满足了公司精益生产的需要。

关键词: 汽车涂装; PFMEA; 涂装灰粒; 质量问题

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-9548(2024)01-0026-06

Based on PFMEA Analysis Method to Solve the Ash Particle Problem of the B-Column Painting of V80-Vehicle

ZHOU Jin-bo

(Wuxi Branch, SAIC MAXUS Automobile Co., Ltd., Wuxi 214107, Jiangsu, China)

Abstract: The problem of B-column ash particles problem in the painting process of V80 based on PFMEA analysis were studied and solved. Firstly, the influence range and frequency of ash particles in B-column painting of V80 model were analyzed with Pareto diagram, and it was determined that the main cause of abnormal B-column ash particles was the painting process of urea door of national VI model. Secondly, the analysis steps and process of the new version of FMEA were summarized. Thirdly, based on the seven-step method of PFMEA, it was concluded that one step in urea door painting was high priority action. Then, the fishbone diagram was used to analyze the high priority action level items, and the most effective preventive measures were selected to deal with the risk items. Finally, through the optimization of tooling structure and process path change, the priority action level was reduced from H to L, which basically solved the problem of the B-column ash particle of the V80-vehicle, and improved the qualified rate of the one-time coating, met the company's lean production needs.

Key words: automobile painting; PFMEA; painting ash particles; quality problems

0 引言

汽车涂装不仅对基材有着更好的保护作用, 隔绝空气中水、酸碱物质以及紫外线等对基材的腐蚀, 从而提高车身的防腐能力, 而且还具有装饰作用, 让车身外

表面具有更高的亮度和光泽^[1]。一旦车身外表面漆层存在灰粒、纤维、漆渣等缺陷, 将十分显眼, 从而影响整车制造质量。同时, 此类缺陷需要消耗大量返修工时, 其中部分需要下线至点补区进行局部修复甚至返回主线重新整喷, 严重影响车间一次性报交合格率。针对涂装车间 V80 车型质量问题下线情况进行分析可知: 影响该车型一次性报交合格率的主要问题是 B 柱灰粒, 其灰粒问题约占下线问题的 55%。

收稿日期: 2022-12-26

作者简介: 周金波(1995—), 男, 硕士, 工程师。主要从事涂装工装夹具设计与管理工作。E-mail: zhoujinbo1995@163.com。

PFMEA 作为工艺可靠性保障技术^[2],广泛应用于汽车领域,其通过对产品制造过程的充分考虑与分析,从而识别出各种潜在的失效模式及其相关的起因与机理。孟凡刚等^[3]基于 PFMEA 分析方法解决了某车型尾门与侧围面差匹配的问题,确保了产品质量的稳定性;周建华等^[4]利用 PFMEA 分析了涡扇发动机转子系统的装配全过程,实现转子系统工艺故障模式数据库的有效管理;蒋立正等^[5]针对小功率卧式风机电机装配线,使用七步法对转子轴承压装工位进行 PFMEA 分析,有效解决了压装过程产生的质量问题。因此,本文采用 PFMEA 分析法作为技术解决思路,针对涂装过程中 V80 车型 B 柱灰粒问题进行系统性分析与研究,以期通过关键举措的实施,降低灰粒问题频次,进一步提高产品涂装质量的可靠性。

1 问题概述

2021 年 6 月至 9 月,涂装车间 V80 车型所出现的下线车问题累计 1 519 次(产量 18 754 台),下线车频次占比为 8.1%,可见问题发生的频次极高,属于需要高度关注的质量缺陷问题,同时严重影响涂装车间的整体生产节拍。因此,针对 V80 车型下线车问题,进行了以下分析:首先,由图 1 可知,影响 V80 车型一次性报交合格率的主要问题是 B 柱灰粒,占下线问题车辆的 55%;其次,针对 B 柱灰粒问题车型配置进行分析,可知该问题均出现在国 VI 车型上,且均分布在左 B 柱区域;然后,对比 V80 的国 VI 车型与国 V 车型发现,国 VI 车型在车身左 B 柱区域新增了尿素加注通道^[6]以应对车辆排放标准的升级,故此处新增了左 B 柱尿素加

注口(简称:尿素口)小门涂装工艺;最终,锁定尿素口小门涂装过程是产生 V80 车型 B 柱灰粒异常问题的主要原因。

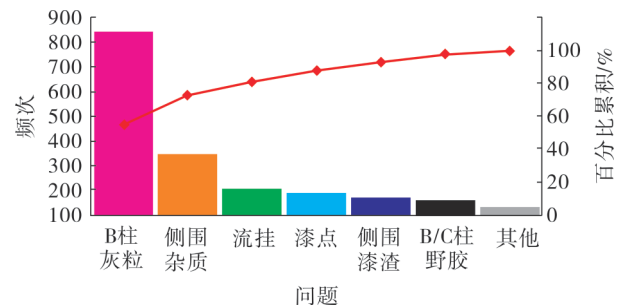


图 1 V80 车型下线车问题分析

2 PFMEA 分析法概述

过程潜在失效模式及影响分析(PFMEA)作为五大质量工具之一,是一种科学的质量管理方法,具有强大的质量缺陷预防功能^[7]。此分析法可用来识别和分析在生产制造过程中可能出现的失效模式,以及失效模式对产品所带来的影响,进而制定有效的控制措施进行风险控制,同时将上述过程所形成文件作为过程控制计划的输入,从而使产品失效风险降至最低。本文使用的是 2019 版 FMEA,其融合了 AIAG 清晰表格和详细打分表及 VDA 五步法结构化两者的优点^[8],创建了 AIAG-VDA 七步法(规划准备、结构分析、功能分析、失效分析、风险分析、优化和结果文件化),强调了 FMEA 工具的层级化,具体分析步骤及过程见图 2。

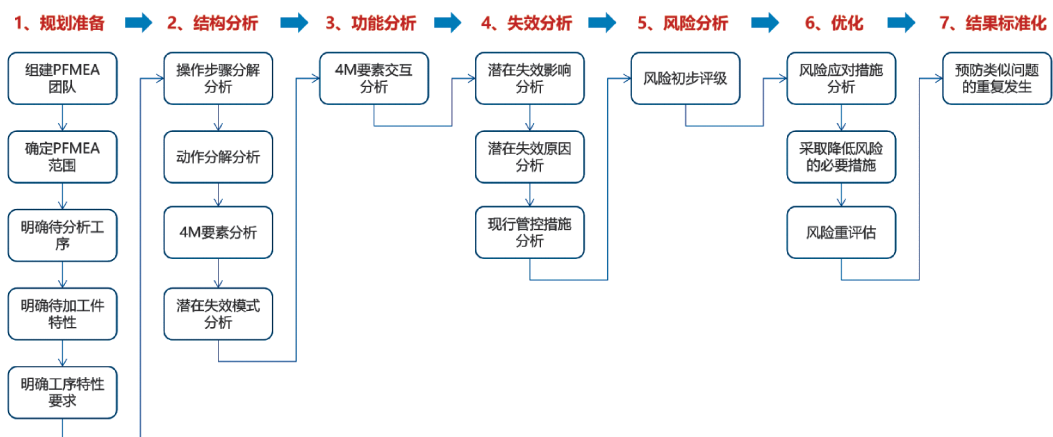


图 2 PFMEA 分析步骤及过程

3 V80 车型 B 柱涂装灰粒问题的 PFMEA 分析

3.1 规划准备

规划准备用于描述 PFMEA 项目评审中包括或不包括的产品/过程。首先,组建了 PFMEA 分析团队,其

中涵盖了涂装车间生产、设备、工艺部门,通过跨部门协作对 V80 车型 B 柱灰粒问题进行系统性的研究与验证;然后,确定将尿素口小门涂装过程作为 PFMEA 分析范围;最后,结合灰粒问题特性,锁定尿素口小门

面漆工序是 PFMEA 分析的关键工序,其 PFMEA 表头 见表 1。

表 1 PFMEA 表头

公司名称	上汽大通汽车有限公司无锡分公司	PFMEA 项目名称	V80 车型尿素加注口小门涂装 PFMEA
工厂地点	无锡	部件名称	V80 车型尿素加注口小门
车型年/平台	V80	PFMEA 编号	V80-PFMEA-0901
PFMEA 开始时间	2021 年 9 月	过程负责人	周金波
最新修订时间	2022 年 2 月	保密等级	内部使用

3.2 结构分析

3.2.1 尿素口小门面漆工序分析

尿素口小门面漆工序的技术要求如下:1)打开尿素口小门,小门未开启前是通过工装临时固定闭合过线的;2)人工喷涂尿素口小门内板,内板属于非包覆区,要求喷涂均匀;3)人工喷涂尿素口加注内腔;4)关闭尿素口小门,将小门重新固定在工装上,避免后续过线时打开;5)机器人喷涂尿素口小门外板。

3.2.2 结构树及结构化分析表

结合尿素口小门面漆工序分析,得到相关部分的结构树,见图 3。通过结构化分析,增加了过程步骤与 4M 元素(人/机/料/环)分析,见表 2。

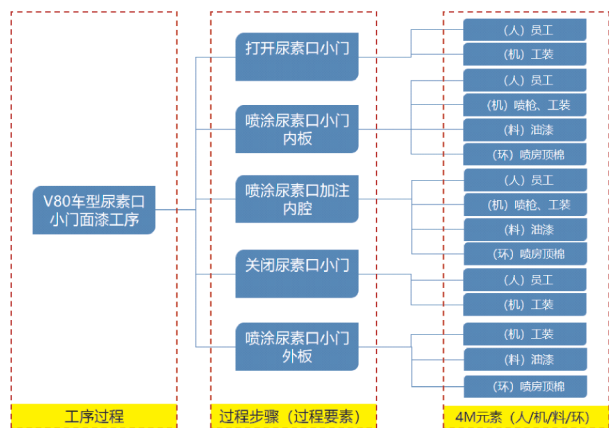


图 3 尿素口小门面漆过程的结构树

3.3 功能分析

过程功能分析用于确保过程的预期功能得到适当分配,这一步是失效分析步骤的基础。进一步引入过程步骤的预期用途从而实现功能的可视化,见表 3。

3.4 失效分析

过程失效分析用于识别失效起因、模式和影响,并展示它们之间的关系,以进行后续的风险评估。通过建立 V80 车型尿素口小门面漆过程的失效链,阐述其中每个过程功能的潜在失效影响、失效模式和失效起因,见表 4。

表 2 尿素口小门面漆结构化分析

过程步骤	作业要素
打开尿素口小门	人:作业员
	机:工装
喷涂尿素口小门内板	人:作业员
	机:工装、空气枪
	料:水性色漆油漆
	环:喷房顶棉
喷涂尿素口加注内腔	人:作业员
	机:工装、空气枪
	料:水性色漆油漆
	环:喷房顶棉
关闭尿素口小门	人:作业员
	机:工装
喷涂尿素口小门外板	机:工装
	料:水性色漆油漆 环:喷房顶棉

表 3 功能分析

过程项目	过程步骤的功能和 产品特性	作业要素的功能和 过程特性
内部工厂: 规定节拍内 完成车辆过 线,无离线 返修和报 废;客户工 厂:客户工 厂不会停线 处理此问题	打开小门	作业人员正确操作
	开门过程未产生灰粒	合格工装
	提高车辆外观的能力	作业人员正确操作
内部工厂: 规定节拍内 完成车辆过 线,无离线 返修和报 废;客户工 厂:客户工 厂不会停线 处理此问题	提高车辆外观的能力	合格工装、 空气枪压力
	提高车辆外观的能力	水性色漆黏度
	控制手工段灰尘、纤维等杂质, 保证面漆喷房洁净度	喷房顶棉
内部工厂: 规定节拍内 完成车辆过 线,无离线 返修和报 废;客户工 厂:客户工 厂不会停线 处理此问题	提高车辆外观的能力	作业人员正确操作
	提高车辆外观的能力	合格工装、 空气枪压力
	提高车辆外观的能力	水性色漆黏度
内部工厂: 规定节拍内 完成车辆过 线,无离线 返修和报 废;客户工 厂:客户工 厂不会停线 处理此问题	控制自动段灰尘、纤维等杂质, 保证面漆喷房洁净度	喷房顶棉
	关闭小门	作业人员正确操作
	关门过程未产生灰粒	合格工装
内部工厂: 规定节拍内 完成车辆过 线,无离线 返修和报 废;客户工 厂:客户工 厂不会停线 处理此问题	提高车辆外观的能力	水性色漆黏度
	控制手工段灰尘、纤维等杂质, 保证面漆喷房洁净度	喷房顶棉

表 4 功能分析

过程步骤的失效模式(FM)	作业要素的失效原因(FC)	失效影响(FE)	失效影响的严重度(S)
小门打开不到位	操作不正确	内部工厂:2;客户工厂:1;用户:1	2
小门与工装刚蹭产生灰粒	工装结构与工装积漆问题	内部工厂:部分在线返修(3)、部分离线返修(5); 客户工厂:2;用户:1	5
色漆流挂/漆薄缺陷/碰伤	操作不正确	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	4
工装表面灰粒吹落	工装积漆	内部工厂:部分在线返修(3)、部分离线返修(5); 客户工厂:2;用户:1	5
色漆流挂缺陷	油漆黏度低	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	5
纤维/灰尘	喷房顶棉堵塞或者破损	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	4
色漆流挂/漆薄缺陷/碰伤	操作不正确	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	5
工装表面灰粒吹落	工装积漆	内部工厂:部分在线返修(3)、部分离线返修(5); 客户工厂:2;用户:1	5
色漆流挂缺陷	油漆黏度低	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	5
纤维/灰尘	喷房顶棉堵塞或者破损	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	4
小门关闭不到位	操作不正确	内部工厂:2;客户工厂:1;用户:1	2
小门与工装刚蹭产生灰粒	工装结构与工装积漆问题	内部工厂:部分在线返修(3)、部分离线返修(5); 客户工厂:2;用户:1	5
色漆流挂缺陷	油漆黏度低	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	5
纤维/灰尘	喷房顶棉堵塞或者破损	内部工厂:4;客户工厂:2;用户:4	4

为了更好地说明表 4 中各严重度数值的影响,特附上严重度评价标准,见表 5。

表 5 严重度评价标准(S)

分级	当前过程(内部工厂)	下一个过程(客户工厂)	最终用户(最终用户)
10	失效可能危及操作人员(机器或装配); 可能长期影响生产人员健康	失效可能危及操作人员(机器或装配); 可能长期影响生产人员健康	影响车辆和或其他车辆的安全运行;影响操作人员或乘客、道路使用者或行人的健康
9	失效可能导致工厂不符合法规	失效可能导致工厂不符合法规	不符合法律法规
8	100%受影响的产品可能不得不报废	停线时间大于全部生产班次;可能的话停止发货;要求现场返修或替换组件(组装到最终用户)而不是不符合法规	在预期的使用寿命期间正常行驶所必需的基本车辆功能丧失
7	部分生产批量可能不得不报废, 可能长期影响生产人员健康	停线时间 1 h 到全部生产班次;可能的话停止发运;要求现场返修或替换组件(组装到最终用户),而不是不符合法规	在预期的使用寿命期间正常行驶所必需的基本车辆功能降级
6	100%生产批量可能不得不做 离线返工后再被接受	停线达到 1 h	便利性功能丧失
5	部分生产批量可能不得不做 离线返工后被接受	不到 100%产品受影响;极有可能需要对其他不良品进行分选;没有停线	便利性功能降级
4	100%生产批量在再加工前, 可能不得不在线返工	不良品触发重要的反应计划; 不太可能有其他不良品,不需要分选	感知质量(外观、噪音或触感)不被大多数客户不能接受
3	部分生产批量在再加工前, 可能不得不在线返工	不良品触发较小的反应计划; 不太可能有其他不良品,不需要分选	感知质量(外观、噪音或触感)不被多数客户不能接受
2	对过程、操作、操作员造成轻微的不便	不良品没有触发反应计划;不太可能有其他不良品,不需要分选;要求反馈给供应商	感知质量(外观、噪音或触感)不被某些客户不能接受
1	无明显影响	不良品没有触发反应计划;不太可能有其他不良品,不需要分选;不需要反馈给供应商	无明显影响

3.5 风险分析

过程风险分析是通过严重度、频度和探测度评级进

行评估风险,并对需要采取的措施进行优先排序。由于尿素口小门面漆过程所产生的缺陷,只能通过后道目视

检查灰粒缺陷进行检验,同时,针对作业要素的失效原因缺少有效的预防性控制措施。借助 AP 对照表进行风

险分析,确定了 1 个高风险项——关闭尿素口小门操作时小门与工装刚蹭,见表 6,其 AP 达到 H 级。

表 6 风险分析

失效影响(FE)	失效影响的严重度(S)	过程步骤的失效模式(FM)	作业要素的失效原因(FC)	当前针对 FC 的预防性控制措施(PC)	FC 发生度(O)	当前针对 FC 或 FM 的探测性控制措施(DC)	FC/FM 探测度(D)	PFMEA AP
内部工厂:部分在线返修(3),部分离线返修(5); 客户工厂:2;用户:1	5	小门与工装刚蹭产生灰粒	工装结构与工装积漆问题	NA	8	后道目视检查灰粒缺陷	6	H

注:①发生度 8 级是指此问题在制造过程中发生率高,每天发生 3 次以上;②探测度 6 级是指此问题需要下工序人工定性/定量测量。

3.6 过程优化

过程优化步骤用于确定降低风险的措施并评估这些措施的有效性,其目标在于通过改善 V80 车型尿素口小门面漆过程,确定降低风险的措施。

3.6.1 要因分析

通过风险对照与分析,确定其行动优先级(AP)达

到 H 级,尤其是失效原因的频度(O)达到了 8 级,无法满足 V80 车型涂装质量要求。因此,采用鱼骨图分析灰粒问题的根本原因,见图 4。同时对鱼刺图梳理归纳得到的 9 个末端因素进行逐一验证分析,见表 7。

通过表 7 中对 9 个末端因素的验证与确认,得到了 3 个要因,见表 8。

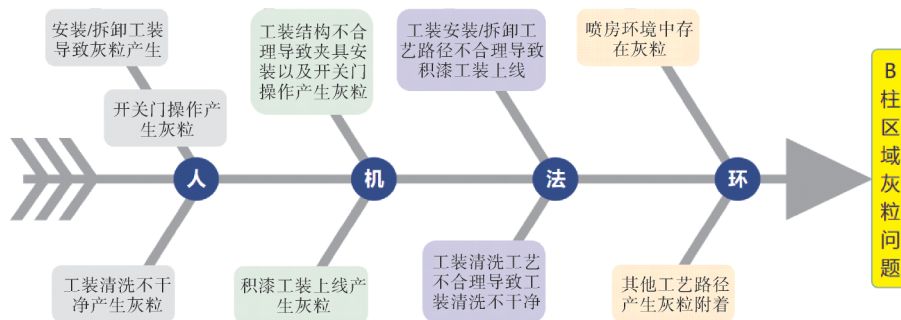


图 4 鱼骨图

表 7 末端因素分析

序号	末端因素	确认内容	确认方法	确认结果	是否要因
1	安装/拆卸工装导致灰粒产生	是否产生灰粒	现场随机挑选 30 台车测试	安装/拆卸工装产生灰粒,但工装安装后过前处理可清除	非要因
2	开关门操作产生灰粒	开关门操作是否产生灰粒弹落	现场随机挑选 30 台车测试	干净状态工装开关门操作不产生灰粒	非要因
3	工装清洗不干净产生灰粒	是否残留灰粒	工装清洗后挑选 30 个检查	工装安装后过前处理可清除清洗残余的灰粒	非要因
4	工装结构不合理导致工装安装以及开关门操作产生灰粒	更改工装结构是否产生灰粒弹落	不同工装对比验证	原工装循环 4-5 次即存在灰粒弹落外板;磁铁工装循环 10 次存在灰粒掉落内板	要因
5	积漆工装上线产生灰粒	各种积漆状态下的工装是否产生灰粒	现场安装 30 台车测试	清洗干净的工装不产生灰粒,仅循环喷漆 3-9 次的工装产生少量灰粒,循环喷漆 10 次以上的工装产生大量灰粒	要因
6	工装安装/拆卸工艺路径不合理导致积漆工装上线	调整工装安装/拆卸工艺路径后是否可避免	对工装进行工艺路径测试	调整工艺路径可避免积漆工装上线	要因
7	工装清洗工艺不合理导致工装清洗不干净	是否残留灰粒	调整清洗工艺测试	仍有部分灰粒残留	非要因
8	喷房环境中存在灰粒	是否存在灰粒	喷房保洁后测试	喷房保洁后尿素口区域仍有灰粒问题产生	非要因
9	其他工艺路径产生灰粒附着	是否存在灰粒前道附着	擦净区域严格排查灰粒	排除其他工艺灰粒附着,尿素口区域仍有灰粒问题发生	非要因

表 8 要因对策

序号	要因	整改对策
1	工装结构不合理导致工装安装以及开关门操作产生灰粒	调整工装结构从而避免开关门操作产生灰粒
2	积漆工装上线产生灰粒	优化工装上线与下线的工艺路径,控制积漆工装上线
3	工装安装/拆卸工艺路径不合理导致积漆工装上线	优化工装上线与下线的工艺路径,控制积漆工装上线

3.6.2 针对要因进行优化

1) 工装结构优化

由于尿素口小门内外区域均属于非包覆区,仅有内侧一圈是用于固定锁扣装置的包覆区,见图 5 的红色区域。原工装结构是利用弹簧卡舌固定锁孔上端以实现临时固定,在实际使用过程中,经过多次循环喷漆后的弹簧卡舌在开闭尿素口小门时操作困难,且易将弹簧卡舌表面上的积漆刮落甚至弹落到车身外表面,造成 B 柱灰粒异常问题。鉴于此,为了解决尿素口小门开闭过程中产生的灰粒掉落问题,采用磁铁固定的方式代替原弹簧卡舌固定,具体结构见图 6,通过磁铁吸附内侧包覆区实现有效固定小门,其中磁铁选用耐高温磁铁以避免工装重复过烘房时所导致的磁力消退情况,同时,磁铁结构与小门之间的固定方式不会产生灰粒的掉落。



图 5 尿素口小门内侧包覆区



图 6 工装结构优化前后对比

2) 工艺路径优化

原工装工艺路径为焊装车间表调工段安装至总装车间内饰工段拆卸,涉及到焊装、涂装、总装三大车间,所涉及的工位范围较广、影响因素较多,且此类喷漆工

装属于涂装车间使用范畴,流经其他车间后无法更为有效地对其实施管控,尤其是对于积漆工装上下线的管控。因此,采取了尿素口小门工装内流转的优化方式,即焊装车间无工装过线(划线复检)、涂装车间入口工位安装工装、涂装车间出口工位拆卸工装后贴胶带过线、总装车间无工装过线(胶带临时固定)的工艺路径,即此类喷漆工装完全在涂装车间内部进行使用与流转,有效控制了积漆工装上线,实现了工装装拆、工装转运、工装清洗、工装隔离等过程的闭环。

3.6.3 风险重评估

通过工装结构优化解决了灰粒弹落,又通过工艺路径更改实现了工装上线源头的控制,同时,经过“1+10+100+...+n”台次的阶梯式实车测试,累计循环验证了 3 000 台,结果表明 V80 车型 B 柱区域灰粒问题得到基本解决,其频度(O)由 8 级降至 1 级,而行动优先级 AP 也达到 L 级,有效解决了这一失效模式。

3.7 结果文件化

为了避免同样的问题重复发生,通过将优化方案中的系统与流程固化使得改善结果持续下去。首先,将新工装标准化设计图纸存档,保证工装后续批量定制的一致性;其次,通过长期工艺更改单确定优化后的工装工艺路径,实现对上线工装积漆状态的可控性;然后,制定新型工装相关作业指导书,并确保新员工上岗前接受作业标准培训与技能培训;最后,制定新型工装相关 PM(预防性维护),确保工装问题损失为零的目标。

4 结语

本文基于 PFMEA 分析法深入分析了 V80 车型涂装过程中出现的 B 柱灰粒问题,找到根本原因并制定了相对应的措施,大大提高了产品涂装质量的可靠性。通过实施效果可知,V80 车型 B 柱涂装灰粒问题已经基本解决,不仅提高了 V80 车型的一次性涂装报交合格率,而且减少了灰粒问题的返工成本。此外,在整个产品生命周期的各个阶段,都可以采用 FMEA 分析法发现产品的各种缺陷和薄弱环节,为类似问题的解决提供了有效参考。

参考文献:

[1] 贾学富,冯双霞,贾帅锋.涂装车间纤维缺陷的分析和控制[J].上海涂料,2022(2):55-59. (下转第 36 页)