

汽车内铝饰条典型外观缺陷分析

孟佳, 顾国荣, 金喆民, 徐荣雷, 秦兴祖

(一汽-大众汽车有限公司, 长春 130011)

摘要: **目的** 分析汽车内铝饰条手感漆脱落、白印和边缘腐蚀等典型外观缺陷产生的原因, 从而避免此类问题的产生。**方法** 用光学显微镜和电子显微镜对漆层、金属基体以及涂层和金属基体之间的间隙进行观察和测量, 通过对生产工艺过程进行模拟, 研究不同工艺参数对涂层外观及性能的影响。**结果** 清漆 160 °C 下烘烤 30 min, 手感漆的附着力良好, 烘烤时间为 60 min, 手感漆容易脱落。通过对铝饰条生产工艺过程的模拟, 发现静置时间分别为 2 h、2 d, 在热水擦拭和温度交变的情况下, 铝饰条会产生与问题零件形态一致的白色印记, 并且该印记烘烤 (70 °C/5 min) 后消失。发生腐蚀的问题零件, 铝饰条和镀铬饰条之间存在的间隙为 135 μm, 边缘粗糙, 拉丝深度为 7.4 μm, 并且清漆和铝基体之间的间隙较大; 未发生腐蚀的合格零件, 铝饰条和镀铬饰条之间存在的间隙为 17 μm, 边缘光滑, 拉丝深度为 2.2 μm, 并且清漆和铝基体之间的间隙较小。**结论** 清漆烘烤时间过长, 会导致手感漆在清漆上的附着力变差。铝饰条上的白色印记可能是由静置时间过短、存在热水擦拭和温度交变的情况下综合所致。铝饰条和镀铬饰条之间存在较大的间隙, 铝饰条切边粗糙, 拉丝深度较深, 这会导致车门内铝饰条发生边缘腐蚀。

关键词: 铝饰条; 拉丝; 外观缺陷; 手感漆脱落; 白印; 边缘腐蚀

中图分类号: TU56+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)04-0119-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.04.020

Typical Appearance Defects Analysis of Aluminium Trim in Vehicle Door

MENG Jia, GU Guo-rong, JIN Zhe-min, XU Rong-lei, QIN Xing-zu

(FAW-Volkswagen Automotive Co., Ltd, Changchun 130011, China)

ABSTRACT: The work aims to avoid such defects of aluminum trim indoor as handfeel paint peeling off, white prints and edge corrosion by analyzing the causes. Optical microscope and SEM were used to observe and measure the paint, base metal, and gap between the paint and the metal. The effects of different process parameters on the coating appearance and performance were studied based on production process simulation. The handfeel paint had a good adhesion when the varnish was baked at 160 °C for 30 min, and peeled off easily when the varnish was baked for 60 min. By simulating the production process, we found that white prints in same morphology of those present in failure parts were present in aluminum trim provided with the standing time of 2 h, 2 d, hot water wiping and temperature alternating, and the white prints disappeared after being baked at 75 °C for 5 min. For corroded failure parts, the gap between Al trim and chromed trim was 135 μm, the edges were rough, wire-drawing depth was 7.4 μm and the gap between the paint and Al substrate was large. However, for uncorroded qualified parts, the gap between Al trim and chromed trim was 17 μm, the edge was smooth, the wiredrawing depth was 2.2 μm, and the gap

收稿日期: 2016-10-29; 修订日期: 2017-03-03

Received: 2016-10-29; Revised: 2017-03-03

作者简介: 孟佳 (1986—), 女, 工程师, 主要研究方向为表面防护技术。

Biography: MENG Jia(1986—), Female, Engineer, Research focus: surface protection technology.

通讯作者: 金喆民 (1977—), 男, 主管工程师, 主要研究方向为表面防护技术。

Corresponding author: JIN Zhe-min(1977—), Male, Engineer in charge, Research focus: surface protection technology.

between the paint and the Al substrate was small. Long-term baking of the varnish will lead to a poor adhesion of the handfeel paint to the varnish. The white print may be jointly caused by short standing time, hot water wiping and temperature alternating. The edge corrosion of the Al trim may be caused by large gap between the Al trim and chrome trim, rough edge and deep wire-drawing.

KEY WORDS: aluminum trim; wiredrawing; appearance defects; handfeel paint peeling off; white print; edge corrosion

汽车内铝饰条是指汽车内门板和仪表板等区域的装饰性防护条。中高端车型会采用铝合金装饰外板和塑料基体联合注塑成型，有时为了突出车身的华丽感则在铝饰条上增加镀铬亮条和氛围灯。汽车内铝饰条采用染色及拉丝工艺处理后，可以突出造型的流线型，增强汽车的动感，使汽车内饰更加美观，整体感强，因此对于汽车内饰条具有较高的表面质量要求^[1]。为了对铝合金装饰外板进行表面防护，需要对染色和拉丝处理后的铝材表面进行钝化和喷涂清漆处理，有时为了增加零件的触感舒适度和立体效果，则在清漆表面喷涂一层手感漆。

1 汽车内铝饰条的生产工艺

汽车内铝饰条（图 1），通常是由铝合金装饰外板和塑料基体联合注塑成型后，与镀铬饰条、氛围灯、透明面板和小卡子组装而成。其中铝合金装饰外板的加工工艺主要包括：打孔、印刷^[2-3]、烘干、拉丝、退墨、前处理、辊涂油漆、烘干、印刷手感漆、烘干、贴背胶及前面保护膜、落料及成形等工序。

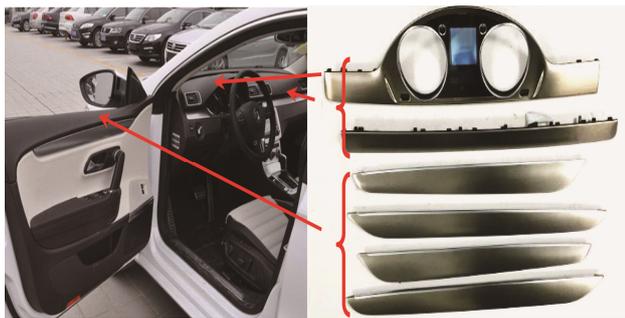


图 1 汽车内铝饰条
Fig.1 Aluminum trims inside

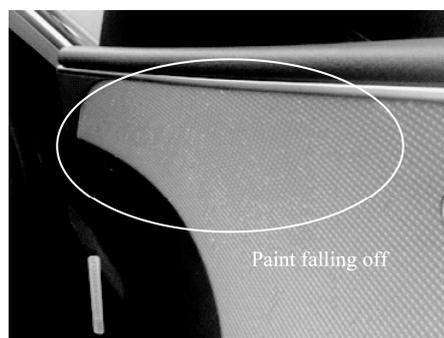
根据花纹图案的要求，可多次进行印刷、烘干、拉丝、退墨工艺，从而实现最终的花纹效果。在前处理工艺中，首先通过碱洗、酸洗使铝板表面得以清洁和活化，然后进行钝化处理，目的是提高铝板和漆层之间的附着力。辊涂工艺可以使零件表面均匀附着清漆层，印刷手感漆可使零件表面具有立体触感。背胶用于注塑时与塑料粘贴，贴正面保护膜为了防止零件表面在运输或加工过程中发生磕碰及划伤。

2 汽车内铝饰条典型外观缺陷分析

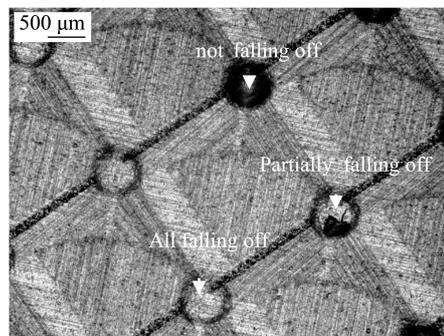
在生产现场及售后，由于生产加工工艺不当，汽车内铝饰条受外界温湿度变化或外力影响，会导致其外观发生变化。下面分别针对铝饰条手感漆脱落、表面白印及边缘腐蚀几种常见的外观缺陷进行原因分析。以下所讨论的清漆及手感漆均属聚氨酯涂料。

2.1 手感漆脱落问题

生产过程中发现同批次的一部分汽车内铝饰条存在油漆脱落的现象（见图 2a），油漆脱落位置的颜色较正常位置的颜色偏暗，且用手触摸后凸点不均匀，在光学显微镜下观察到部分圆点状手感漆呈部分脱落或完全脱落状态（见图 2b）。



a 生产中发现油漆脱落现象



b 脱落区域显微观察

图 2 油漆脱落

Fig.2 Paint falling off: paint falling off found in the production process; b) microscopic observation in the problem area

采用冷镶嵌法对已切取的零件剖面进行制样，通过光学显微镜观察脱落点的剖面形态，发现手感漆部分脱落（图 3a）或完全脱落（图 3b），但是底层清

漆与铝基体附着力良好，无变化。从图 3a 中的椭圆圈处可以发现，手感漆与清漆之间的附着力较差，导致手感漆边缘翘起，从而脱落。

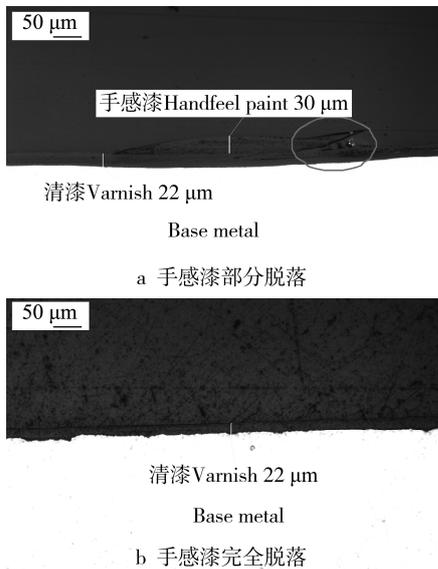


图 3 油漆脱落位置剖面

Fig.3 Section of the falling off position: a) handfeel paint partially falling off; b) handfeel paint all falling off

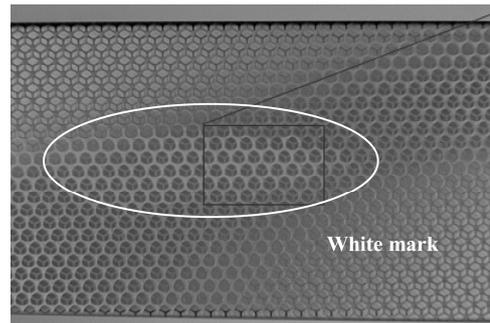
对生产现场展开原因排查后，发现该零件挂具在辊涂清漆后的烘烤工序中，偶尔会出现由于工作疏忽而未及时将零件从挂具上取下的现象，导致零件出现重复烘烤的情况。因此，根据该信息进行模拟实验，清漆烘烤温度为 160 °C，烘烤时间分别设定为 30 min 和 60 min。实验结果发现，烘烤 30 min 后的零件用 tesa 胶带进行附着力检验合格，烘烤 60 min 后的零件则出现手感漆脱落的现象。通过模拟实验发现烘烤时间过长，会导致手感漆在清漆上的附着力变差。烘烤温度和时间是影响清漆交联度的重要参数^[4-5]，烘烤温度越高，烘烤时间越长，清漆交联度越高，手感漆的附着力越差^[6-7]。

为了避免此类问题继续发生，生产现场安装了报警装置，烘烤一次结束后，报警装置启动，避免了由于工作疏忽而未及时将零件从挂具上取下的问题，从此生产现场未发现此类手感漆脱落问题。

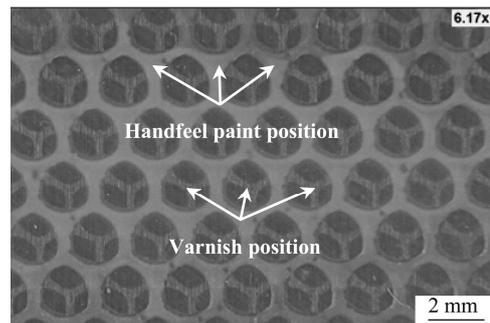
2.2 表面白印问题

在寒冷的冬季，总装车间发现同批次的大部分汽车内铝饰条均存在表面白印的问题（见图 4a），白印位置较正常位置发白，且透明度低，手感无明显变化。经烘烤（70 °C/5 min）后，白色印记消失。在光学显微镜下观察到发白区域为手感漆位置，清漆位置颜色及透明度正常（见图 4b）。

用光学显微镜对白印位置和正常位置的剖面形态进行观察，未发现白印位置和正常位置存在明显差异，见图 5—6。



a 生产中发现表面白印现象



b a图白印区域显微观察

图 4 表面白印

Fig.4 White mark in the surface: a) white mark found in the production process; b) microscopic observation in the problem area

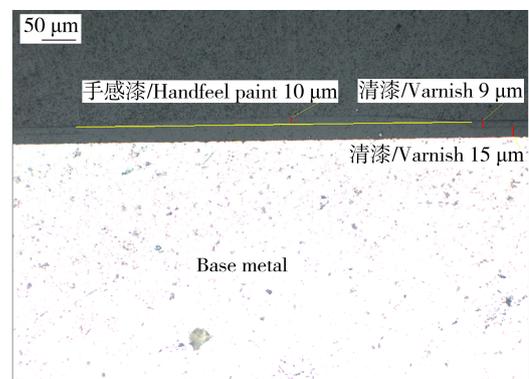


图 5 白印位置剖面

Fig.5 Sectional microscopic of white mark

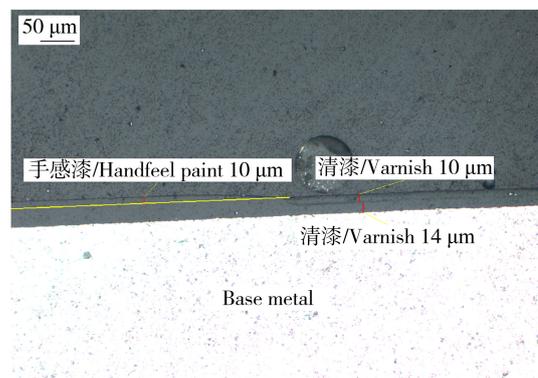


图 6 正常位置剖面

Fig.6 Sectional microscopic of normal area

按表 1 试验方案对铝饰条生产过程进行模拟^[8], 发现没有热水擦拭, 没有温度交变, 以及加长静置时间后, 均没有白色印记产生, 只有在静置时间过短、存在热水擦拭和温度交变的情况下, 铝饰条才会产生与失效零件形态一致的白色印记。该温度交变为 1 h 室温 (25 °C) 和 1 h 冬季室外温度 (-20 °C) 的循环。白色印记经烘烤 (70 °C/5 min) 后消失, 因此根据模拟实验结果可以发现, 白印的产生和静置时间不足、热水擦拭、温度交变等几个条件密不可分。静置时间过短, 手感漆没有完全交联, 经过热水擦拭后立即装袋, 水分来不及挥发。在存在温度交变的情况下, 促进水分子浸入未固化的手感漆中, 改变了光在手感漆中的折射率, 视觉上产生发白的现象^[9-10]。

由于在寒冷的冬季, 零件不可避免地在储运过程中经历温度交变, 因此根据以上模拟实验结果, 生产现场取消了热水擦拭工序, 增加了静置时间后, 再没有发现零件表面出现白印问题。

表 1 生产工艺过程模拟
Tab.1 Simulation of the production process

Process	Test type			
	1	2	3	4
Wire drawing	Y	Y	Y	Y
Pretreatment	Y	Y	Y	Y
Drying	Y	Y	Y	Y
Varnished	Y	Y	Y	Y
Drying	Y	Y	Y	Y
Handfeel painted	Y	Y	Y	Y
Drying	Y	Y	Y	Y
Standing	2 h	2 h	2 h	24 h
Paste protective film	Y	Y	Y	Y
Machining and plastic injection	Y	Y	Y	Y
Standing	2 d	2 d	2 d	4 d
Hot water wiping	Y	N	Y	Y
Standing	N	N	N	3~5 min
Bagging	Y	Y	Y	Y
Alternating temperature	Y	Y	N	Y
White mark exist or not	Y	N	N	N

注: Y 为实施或存在, N 为不实施或不存在。

2.3 边缘腐蚀问题

在沿海以及气候湿度较大的地区, 经常存在门板铝饰条发生边缘腐蚀的情况 (见图 7), 腐蚀印记沿拉丝方向扩展。实际生产时, 批量零件耐腐蚀性是通过盐雾试验、高温高湿冷凝水试验和标准气候组成的循环腐蚀试验来进行评价的, 技术要求是零件经历 3 周的循环腐蚀试验后, 外观不发生变化。在批量监控检验中, 也发现了和售后形态一致的腐蚀印记。

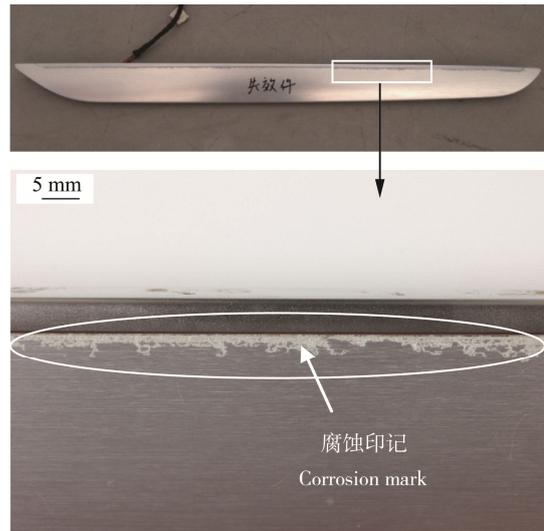


图 7 边缘腐蚀
Fig.7 Edge corrosion

对发生腐蚀的零件进行剖面显微观察, 发现漆层和基体之间或存在腐蚀产物, 或形成气泡 (见图 8)。

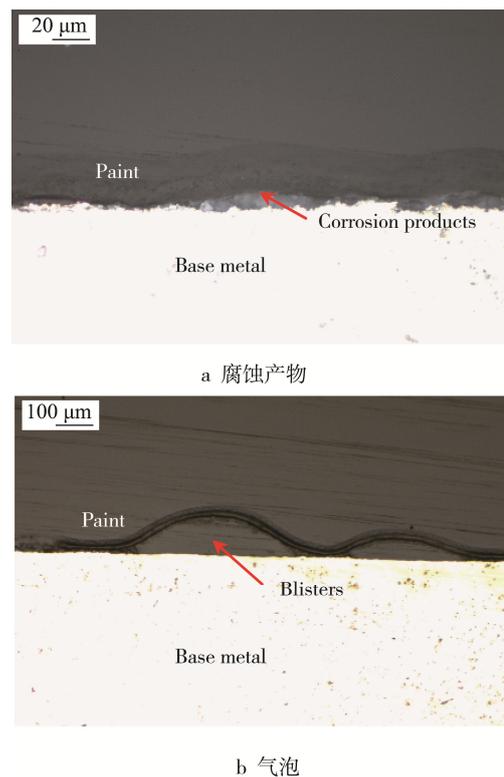


图 8 腐蚀印记剖面

Fig.8 Section of the corrosion mark: a) corrosion products; b) blisters

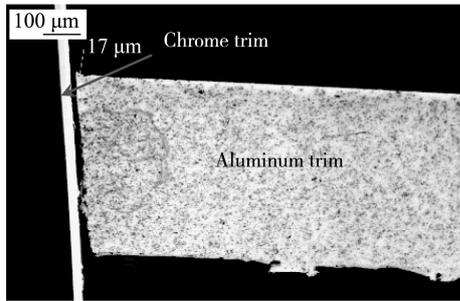
使用能谱对腐蚀产物进行成分分析, 发现主要为 O、Al 元素。说明腐蚀产物可能为 Al₂O₃, 即铝基体被腐蚀^[11-15]。同时 Cl 元素的存在对铝饰条的腐蚀起重要作用, 它会破坏铝表面的钝化膜, 导致铝腐蚀。试样经过喷金处理。

通过腐蚀循环试验对问题零件和合格零件的耐腐蚀性能进行检验, 发现问题零件和合格零件主要存

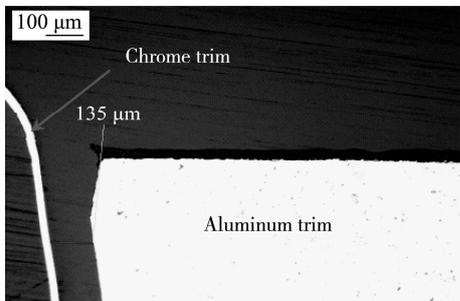
在以下几个方面的差异：

1) 合格零件的铝饰条和镀铬饰条之间的间隙为 17 μm (见图 9a)，问题零件的间隙为 135 μm (见图 9b)，合格零件的铝饰条和镀铬饰条间隙较小，问题零件的间隙较大，间隙较大容易沉积更多的水溶液。

2) 合格零件的边缘光滑 (见图 10a)，问题零件



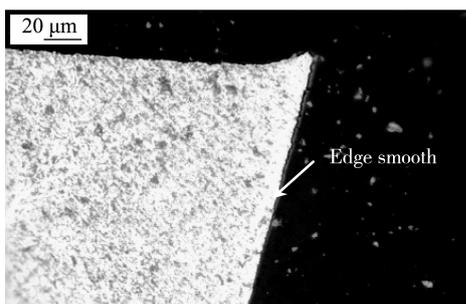
a 合格零件



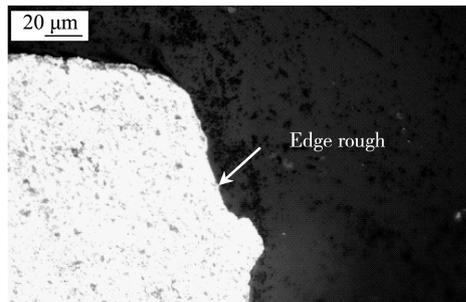
b 问题零件

图 9 铝饰条和镀铬饰条间隙对比

Fig.9 Gap between the aluminum trim and chrome trim contrast: a) qualified part; b) problem part



a 合格零件



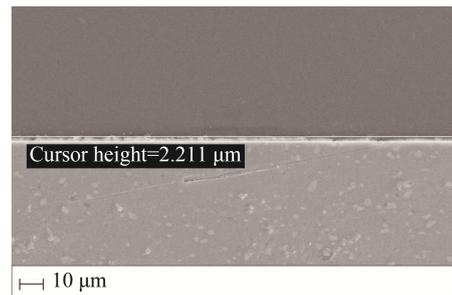
b 问题零件

图 10 切边形状对比

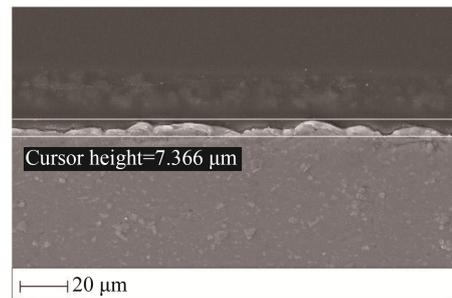
Fig.10 Cutting edge shape contrast: a) qualified part; b) problem part

件的边缘粗糙 (见图 10b)。边缘粗糙会增加与水溶液的接触面积，增大腐蚀几率。

3) 铝饰条表面采用直拉丝工艺，使用扫描电镜对垂直于拉丝方向的试样剖面进行观察，测得合格零件的拉丝深度为 2.2 μm (见图 11a)，问题零件的拉丝深度为 7.4 μm (见图 11b)。合格零件的拉丝深度较浅，问题零件的拉丝深度较深。较深的拉丝深度使漆层无法充分润湿拉丝沟槽，从而导致铝基体和漆层之间形成较大缝隙 (见图 12)。缝隙越大，水溶液越容易沿着拉丝方向浸入到缝隙中，并腐蚀铝基体。



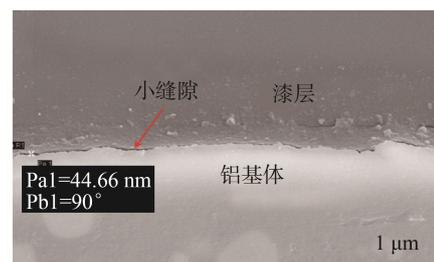
a 合格零件



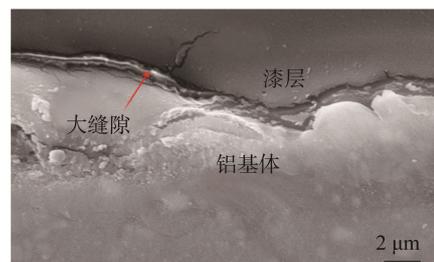
b 问题零件

图 11 拉丝深度对比

Fig.11 Drawbech deep contrast: a) qualified part; b) problem part



a 合格零件



b 问题零件

图 12 漆层和铝基体间隙对比

Fig.12 Gap between paint and aluminum base contrast: a) qualified part; b) problem part

此外,对两种零件的漆层厚度、漆层成分、铝合金材料进行了对比,发现均有差异。但是分别更改零件的漆层厚度、漆层成分、铝合金材料,不调整铝饰条与镀铬饰条间隙、边缘粗糙度和拉丝深度,腐蚀现象仍然存在。以合格零件为指导,在未改变

漆层厚度、漆层成分、铝合金材料的情况下,优化了问题零件的铝饰条与镀铬饰条间隙、边缘粗糙度和拉丝深度后,对该零件进行了3周的腐蚀循环试验后,仅在A位置发生轻微的边缘腐蚀,如图13所示。

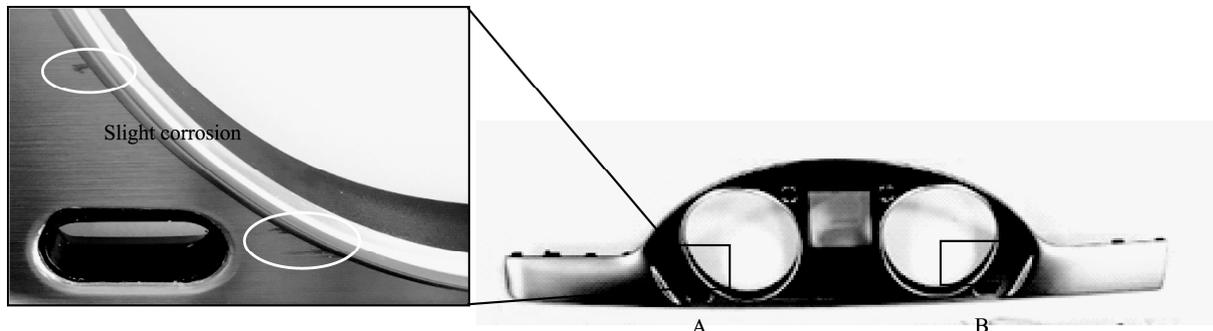


图13 试验后发生轻微腐蚀的零件
Fig.13 Slight corrosion part after test

取A位置(发生腐蚀位置)和B位置(未发生腐蚀位置)进行对比,发现二者拉丝深度均为 $2\mu\text{m}$,并且切边光滑。但是通过工业CT对以上位置进行扫描后发现,A位置(发生腐蚀位置)的镀铬饰条和铝饰条之间存在明显间隙(见图14a),B位置(未发生腐蚀位置)的镀铬饰条和铝饰条之间贴合较好,未发现明显间隙(图14b)。

3 结论

1) 烘烤温度和时间是影响清漆交联度的重要参数,烘烤温度越高,烘烤时间越长,清漆交联度越高,会导致置于清漆上层的手感漆附着力变差。

2) 静置时间过短,手感漆未完全交联,经过热水擦拭后立即装袋,水分来不及挥发。在存在温度交替的情况下,促进水分子浸入未固化的手感漆中,改变了光在手感漆中的折射率,视觉上产生发白的现象。避免静置时间不足、热水擦拭后立即装袋和温度交替等几个条件同时存在,可以避免铝饰条表面的手感漆在冬季出现表面白印的现象。

3) 适当减小铝饰条和镀铬饰条的间隙尺寸,减小铝饰条切边的边缘粗糙度,降低铝板拉丝深度,可有效避免铝饰条在潮湿环境中发生边缘腐蚀的现象。



a A位置



b B位置

图14 A/B位置间隙对比
Fig.14 Gap contrast of A/B position

通过分析发现,对于该问题零件,在切边光滑的条件下,较小拉丝深度对零件的耐腐蚀性有较大提升,同时间隙的存在也增加了零件发生边缘腐蚀的风险。

参考文献:

[1] 韦海东,刘兴邦.轿车侧装饰条设计及失效分析[J].机械研究与应用,2011(4):9—11.
WEI Hai-dong, LIU Xing-bang. Design and Failure Analysis of Vehicle Garnish Rail for Side Wall[J]. Mechanical Research & Application, 2011(4): 9—11.

[2] 郑德海.丝网印刷概述[J].印刷技术,1994(3):28—30.
ZHENG De-hai. Screen Printing Outline[J]. Printing Technology, 1994(3): 28—30.

[3] 李静伟.精细丝网印刷技术研究[D].无锡:江南大学,2009.
LI Jing-wei. The Technology Research of Fine Screen-printing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.

[4] 宛萍芳,于金鑫,王正,等.油漆涂层老化变黄分析[J].环境技术,2013(6):29—31.
WAN Ping-fang, YU Jin-xin, WANG Zheng, et al. Analy-

- sis on Aging and Yellowing of Paint Coating[J]. Environmental Technology, 2013(6): 29—31.
- [5] 张学敏. 涂装工艺学[M]. 北京: 北京工业出版社, 2006.
ZHANG Xue-min. Coating Technology[M]. Beijing: Beijing Industry Press, 2006.
- [6] LEY D A, FIORO D E, QUINN R J. Optimization of Acrylic Polyols for Low VOC Two-component Water Reducible Polyurethane Coatings Using Tertiary Isocyanate Crosslinkers[J]. Progress in Organic Coatings, 1999, 35(1—4): 109—116.
- [7] 翟金清, 黎永津, 陈焕钦. 水性双组分聚氨酯涂料的研究进展[J]. 涂料工业, 2002(11): 34—35.
ZHAI Jin-qing, LI Yong-jin, CHEN Huan-qin. The Research Progress of Two-component Water Reducible Polyurethane Coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2002 (11): 34—35.
- [8] 陈小文, 荆红德, 练世斌, 等. 2K PU 透明底漆漆膜发白现象的实验室模拟研究[J]. 涂料工业, 2005, 35(3): 36—38.
CHEN Xiao-wen, JING Hong-de, LIAN Shi-bin, et al. 2K PU Laboratory Simulation Research for Transparent Paint White Phenomenon[J]. Paint & Coatings Industry, 2005, 35(3): 36—38.
- [9] 秦总根, 涂伟萍. 聚氨酯涂料的常见病态及其预防方法[J]. 涂料工业, 2003, 33(6): 46—48.
QING Zong-gen, TU Wei-ping. Common Failure and Prevention Methods for the Polyurethane Coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2003, 33(6): 46—48.
- [10] 贺志鹏, 况春江. 100%固体聚氨酯防腐涂料的选择、施工和检测[J]. 全面腐蚀控制, 2002, 16(1): 15—16.
HE Zhi-peng, KUANG Chun-jiang. 100% the Selection, Construction and Test of the 100% Solid Polyurethane[J]. Total Corrosion Control, 2002, 16(1): 15—16.
- [11] 马腾, 王振尧, 韩微. 铝和铝合金的大气腐蚀[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004(3): 155—157.
MA Teng, WANG Zhen-yao, HAN Wei. A Review of Atmospheric Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2004(3): 155—157.
- [12] 李克, 孙宝德, 王俊. 铸铝合金在潮湿大气中的腐蚀及其微观机制[J]. 上海交通大学学报, 1999(7): 791—792.
LI Ke, SUN Bao-de, WANG Jun. Corrosion and Its Micro-mechanism of Aluminum Casting Alloy in Moist Atmosphere[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 1999(7): 791—792.
- [13] SERI O. The Effect of NaCl Concentration on the Corrosion Behavior of Aluminum Containing Iron[J]. Corrosion Science, 1994, 36(10): 1789—1803.
- [14] GRAEDEL T E. Corrosion Mechanisms for Aluminum Exposed to the Atmosphere[J]. Journal of the Electrochemical Society, 1989, 136(4): 204.
- [15] BLUECHER D B, LINDSTROEM R, SVENSSON J E, et al. The Effect of CO₂ on the NaCl Induced Atmospheric Corrosion of Aluminum[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2001, 148(4): B127.