

工程机械外观耐久性提升工艺研究应用

于伟, 李连成, 刘赛, 王书生
(徐州重型机械有限公司, 江苏 徐州 221004)

摘要: 简要论述了工程机械产品外观耐久性提升工艺研究的重要性, 分析了产品车外观质量现状, 并重点结合实际经验, 以起重机产品为例, 从结构防腐设计规范、涂装工艺改进、表面处理工艺研究应用、入库防护工艺优化、质量管理体系搭建 5 个方面, 论述了工程机械产品车外观防腐性能提升的工艺研究方法与质量管理方案。

关键词: 工程机械; 耐久性提升; 结构防腐设计; 涂装工艺; 质量管理

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)03-0028-04

Research and Application of Durability Improvement Technology on Construction Machinery Appearance

YU Wei, LI Lian-cheng, LIU Sai, WANG Shu-sheng
(Xuzhou Heavy Machinery Co., Ltd., Xuzhou 221004, Jiangsu, China)

Abstract: This paper introduced the importance of research on durability improvement on construction machinery products and analyzed the present appearance quality of the product. Based on practical experience, process research methods and quality control schemes for improving the anti-corrosion performance of the construction machinery were discussed from structure anti-corrosive design, the improvement of coating process technology, the research and application of surface treatment process, the optimization of storage protection technology and quality management system building, taking the crane product as an example.

Key words: construction machinery; durability improvement; structure anti-corrosive design; coating process technology; quality management

0 引言

近几年国内多家工程机械企业抢抓机遇、实施国际化战略, 抢占国际市场份额, 公司海外市场的收入占比逐年提高。随着海外市场不断开拓, 产品车销量增长迅速, 区域环境和用户群体覆盖越来越广。与此同时, 客户对产品的外观质量要求也越来越高, 尤其是欧美高端市场, 产品车零部件锈蚀、老化问题易造成用户抱怨, 影响企业的市场形象。基于此, 聚焦市场产品车锈蚀问题, 开展工程机械产品外观耐久性提升工艺研究, 系统性提高产品车整体防锈能力, 以满足多种区域环境下使用, 支撑海外市场突破。

收稿日期: 2023-03-06

作者简介: 于伟(1986—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事环保绿色涂料与涂装工艺研究工作。E-mail: 15252007715@139.com。

1 产品外观质量现状

为系统排查产品车部件的锈蚀、老化问题, 可通过产品车库存期间早期锈蚀排查、市场外观调研、自然曝晒试验等方式, 评估产品车涂装、表面处理工艺部件的锈蚀风险, 便于锈蚀问题分析解决。

1.1 产品车锈蚀问题统计

产品车辆因型号不同、外观部件分布差异, 因此, 需确保锈蚀统计方法一致性与数据的可靠性。以单台产品车的外观部件及其附属部件为主体, 按照部件结构形式、锈蚀类别进行部位划分。例如: 起重机驾驶室部件划分为 5 个统计部位, 包括室体外外观油漆面、灯支架、雨刮器、护栏、脚踏板。

对在 C3 大气腐蚀环境下库存不同周期产品车的锈蚀缺陷统计(表 1)可得出: 通过统计库存 1 年期间产品车暴露出来的锈蚀缺陷, 可快速排查产品车的早

期锈蚀风险点。

对起重机产品车的锈蚀缺陷按照锈蚀类别或主要产生原因进行分析,可得出外观锈蚀主要有7类锈蚀缺陷,包括:漆膜磕碰锈蚀、焊缝隙锈蚀、内腔及孔洞锈蚀、发黑表面锈蚀、漆膜表面锈蚀、镀层表面锈蚀、QPQ工艺件(氮碳氧复合处理技术)表面锈蚀。其中,漆膜磕碰锈蚀、焊缝隙锈蚀、内腔及孔洞锈蚀占比达到80%以上。以上述7类锈蚀缺陷为切入点,制定系统举措,从技术层面与管理层面同步切入,进行工艺技术与质量攻关。

1.2 产品车漆膜外观数据检测统计

考虑产品车各类零部件涂装工艺的不同,检测部件漆膜外观数据时,覆盖氨基烘漆涂层、双组分聚氨酯面漆涂层、聚酯粉末涂层3种涂装工艺部件,并覆盖不同颜色部件的检测。

根据起重机漆膜外观调研数据(表2)、漆膜自然曝晒试验样件检测数据(表3)可得出:工程灰色漆膜的耐老化性能优于工程黄色,漆膜2年内失光率小于10%(60°光泽)、色差小于3.0,基本可满足客户对于漆膜保光、保色外观性能需求。

表1 起重机库存期间锈蚀数据统计

库存时间	锈蚀数量统计		锈蚀情况
	锈蚀部件数量/类	锈蚀点数量/个	
6个月	7	7	锈蚀点主要集中在漆膜点状磕碰锈蚀、电镀件锈蚀、QPQ工艺件表面锈蚀、发黑工艺件锈蚀
1年	8	10	新增锈蚀点主要为焊缝隙锈蚀、内腔及孔洞部位漆膜锈蚀
2年	10	16	早期锈蚀逐渐蔓延,漆膜表面锈蚀显现
3年	12	18	锈蚀部位少量增加,但锈蚀面积、锈蚀等级增加

表2 起重机漆膜外观调研数据

部件	部件涂料体系	部件颜色	6个月		1年		2年	
			色差	失光率/%	色差	失光率/%	色差	失光率/%
驾驶室	氨基烘漆	工程黄	1.82	1.15	2.14	3.91	2.85	5.37
基本臂	双组分聚氨酯面漆	工程黄	1.85	3.33	2.23	4.43	2.94	7.34
空调	聚酯粉末	工程黄	2.04	2.26	2.44	5.47	3.02	7.52
油箱	双组分聚氨酯面漆	工程灰	0.70	2.02	1.11	4.24	1.67	6.13
挡泥板	聚酯粉末	工程灰	0.85	2.35	1.27	5.24	1.97	7.29

表3 漆膜自然曝晒试验数据

曝晒试板	曝晒周期/月	色差	失光率/%
工程黄、双组分聚氨酯面漆试板	6	1.03	3.83
	12	1.30	3.16
	18	2.06	3.51
	24	2.22	7.84
工程灰、双组分聚氨酯面漆试板	6	0.21	2.38
	12	0.72	6.04
	18	1.04	6.58
	24	1.58	7.05

2 产品耐久性提升工艺研究与质量管理方案

根据产品车库存锈蚀表现、客户外观质量标准,以提高外观质量一致性为目标,通过产品结构防腐设计规范、涂装工艺改进、表面处理工艺研究应用、整机防护工艺优化,结合质量管理手段的完善,实现产品车外观耐久性整体提升。

2.1 产品结构防腐设计规范

产品设计者在结构设计时,首先要考虑部件服役期间所处的腐蚀环境级别、气候类型,确定零部件结构设计的耐久性年限要求,以确保产品零部件结构设计达到所要求的功能、充足的稳定性、强度和耐久性。

结构整体设计应易于进行表面处理、涂装、涂层检测和防腐维修,秉承涂装可行、缝隙焊接密封处理、防止水滞留、尖锐边缘圆形处理、箱型构件密封处理、缺口易于涂装、加强筋完全焊接等基本原则。结构组件的形状、连接方式、建造过程以及任何后处理方式都不应促进腐蚀。以起重机产品为例,通过结构防腐设计优化、尖锐边缘倒角处理,减少半封闭腔体、尖锐楞边,规避涂装锈蚀风险、降低涂装防腐难度,如图1~2所示。

2.2 涂装工艺改进

2.2.1 涂层防护体系设计

在选定防护涂料体系及零部件涂装工艺时,工艺设计者首先也要考虑部件服役期间所处的腐蚀环境级

别、气候类型及产品设计规定的耐久性年限。以此为涂装工艺设计前提,结合前处理工艺的选择,选择耐腐蚀性能适宜的防护涂料体系及涂装工艺。

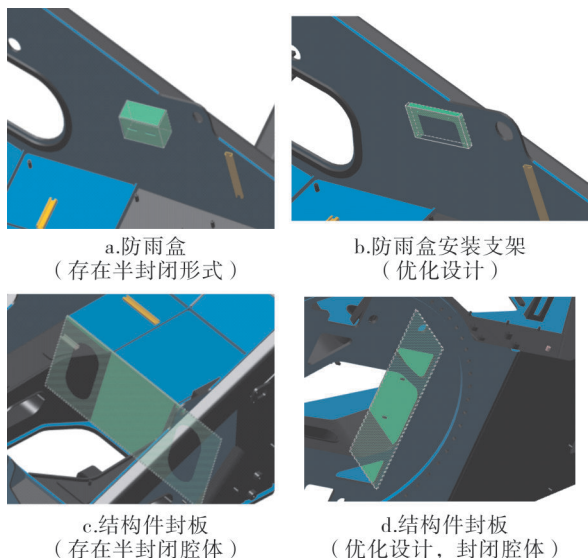


图1 结构件防腐设计优化



a.结构件尖锐楞边倒角 b.结构件尖锐楞边倒角后涂装

图2 结构件防腐设计优化

根据 ISO 12944-2《金属和合金的耐腐蚀性大气腐蚀性分类》中大气环境腐蚀性分类及涂层体系耐久性年限的规定,工程机械产品涂装防护工艺设计主要参照 C3 中等大气腐蚀环境级别、涂层中等(M)耐久性。但针对客户 C4、C5 大气腐蚀级别下产品车特殊使用工况,要达到中等及以上耐久性年限,需采用重防腐涂料涂层配套体系,满足客户个性化定制需求。目前,工程机械行业重防腐涂装体系主要为成熟的环氧富锌底漆、环氧云铁中涂漆与聚氨酯面漆三涂层体系。随着新材料的发展,石墨烯环氧富锌涂料开发日渐成熟、价格成本下降,具备替代传统环氧富锌底漆与云铁中间漆体系的可行性,减少一道涂层施工工序,降低涂装生产综合制造成本。

2.2.2 涂装前处理工艺优化

涂装前处理是涂装的重要工序,选择适当的前处理工艺,可显著提高涂层的性能和发挥涂层的作用。据英国帝国化学工业公司介绍,涂层寿命受 3 方面因素

制约,其中表面处理占 60%,涂装施工占 25%,涂料本身质量占 15%。

工程机械零部件的表面处理方式主要分为机械加工处理(如打磨、抛丸^[1]、喷丸、喷砂)和化学处理(如磷化、硅烷化^[2]、陶化处理)。大型结构件表面处理一般采用机械抛丸、喷砂处理,通过调整抛头出丸量、弹丸速度、丸料规格选型、处理时间等工艺参数优化,达到清除工件表面锈蚀、氧化皮、焊接飞溅物或加工毛刺,使工件表面获得一定的粗糙度,提高工件的抗疲劳性等作用。为进一步提高工件前处理表面清洁度、增强涂层与工件间结合力,对生产线体实施技术改造,增加喷淋脱脂、硅烷或陶化化学处理工序,进一步提高工件防腐性能。

2.2.3 涂装施工工艺改进

为提高涂装施工质量、降低人工喷涂劳动强度,工程机械涂装施工引入工业柔性机器人喷涂技术,解决了人为喷涂厚度不均的问题,大大提高了喷涂质量,并将喷涂人员从接毒作业环境中解放出来。起重机伸臂结构件因结构形式相对简单,率先实现机器人高压混气、自动喷涂工艺应用^[3]。通过对人工喷涂作业面分解,采用离线编程、在线示教模式建立工件喷涂轨迹模型,对喷涂气压、出漆量、喷涂距离、喷涂搭接、移动速度等工艺参数进行验证,实现自动喷涂率达 90% 以上,涂料利用率提升至 70% 左右,提高了漆膜质量一致性。

2.3 表面处理工艺研究应用

根据产品车库存 1 年期间内发生锈蚀的统计数据,非涂装件锈蚀问题主要集中在发黑工艺件、电镀锌工艺件、QPQ 工艺件。

发黑工艺件表面氧化物膜层仅 0.5~1.5 μm ,耐蚀性差,产品外露零件不宜采用发黑氧化处理工艺,因此,对发黑工艺件进行达克罗工艺替代,解决发黑工艺件锈蚀问题。

电镀锌工艺是工程机械零部件(如标准紧固件、油管等)主要采用的一种表面处理工艺,该工艺是通过电解作用,使镀液中锌离子在工件表面沉积出来,形成镀层,镀层厚度一般为 15~20 μm ,该工艺成熟,但质量稳定性受到生产厂家工艺、质量管理水平等的影响较大,因此,电镀件作为采购件,必须明确其外观质量、镀层厚度、结合强度、耐蚀性等技术要求与检验方法。

QPQ 工艺是指工件经过盐浴氮碳共渗和盐浴氧化处理以后,再进行抛光和盐浴氧化的复合处理工艺过程,该工艺主要应用于不经常发生磨损、粗糙度要求 $\geq 1.6 \mu\text{m}$,不留加工余量,处理后无需再加工的销、轴类件。作为一种化学热处理特殊过程,QPQ 工艺件

质量验收必须明确其工艺过程及控制要求、外观质量、表面涂层深度、致密性、硬度、耐腐蚀等技术要求与检验方法。对库存期间发生早期锈蚀的 QPQ 工艺件,抽验其理化性能,发现不同批次零件表面处理质量呈现波动性,也提醒主机厂对于化学热处理工艺采购件的质量管理必须更关注过程控制。

2.4 整机防护工艺优化

目前,工程机械行业为提高涂装生产效率、降低制造成本、减少涂装危废产生,相当一部分企业已实施了整机免喷涂、局部修补工艺。该工艺实施后,整车大量非涂装工艺件包括:电镀锌工艺标准件、电镀锌工艺管路、电镀硬铬工艺油缸、QPQ 工艺销轴等均直接暴露在大气环境下,基本可达到 C3 大气腐蚀环境下 5 年耐久性。但出口车如采取海洋运输方式,运输途中经受 C4 及以上大气腐蚀环境影响,会加速电镀工艺件腐蚀。因此,为加强出口车海洋运输过程防护、湿热地区、海洋气候环境工况下产品车外观防护,可对电镀件等非涂装工艺件实施清漆防护、硬膜防锈油防护^[4]等工艺,并配合实施包装运输防护。

2.5 质量管理体系建立

工程机械零部件数量多、结构复杂,且大部分零部件均为外协、外购件。各供应商在涂装表面处理设备、工艺流程、现场管理等各方面的工艺保障能力参差不齐,因此,需联合供应商开展产品防腐蚀能力质量提升工作。

根据主机厂涂装、各类表面处理工艺件质量验收标准,对供应商进行标准宣贯,双方明确质量指标。建立供应商涂装、表面处理工艺能力评价机制,制定工艺能力的评价标准和工作方法,督促供应商工艺保障能力提升,必要时进行生产线体改造,从技术、装备层面保障涂装及表面处理工艺件的质量。建立供应商质量抽验管理模式,常态化开展外协、外购件涂装表面处理质量管控。不定期前移至供应商生产现场,抽检其前处理工艺、涂料使用、工艺流程等的执行情况,并现场制备样件,通过盐雾加速腐蚀试验,快速验证供应商涂装、表面处理质量达标情况。

同时,在工厂内部建立全工序涂装质量保证能力认证、工艺纪律检查、现场稽查等多维度管理模式,从质量管理层面,确保涂装工艺要求、工艺操作规范、质量标准等的贯彻执行。

3 结语

随着海外市场的拓展,工程机械客户群体对产品外观质量也提出了更高要求。为满足多种区域环境下使用,本文结合实际工作经验,提出通过聚焦国内外市场产品锈蚀问题,对早期锈蚀、漆膜老化数据统计,快速验证并预测产品车防腐蚀及耐久性能长期表现,为

工厂及时发现、解决问题提供数据支撑。以涂装表面处理工艺技术改进、质量管理水平提升为抓手,拉动自制、外协外购整个制造体系的涂装表面处理工艺保障能力提升,系统性提高产品车整体防腐蚀和耐久性能。

随着材料科学发展和表面处理技术进步,工程机械产品可在成本允许情况下,积极采用防腐蚀新材料、新技术。通过涂装生产线智能化改造升级,打造高端制造工艺装备保障能力^[5],实现产品外观防腐蚀和耐久性能迭代升级,支撑企业高端化、绿色化、国际化产业转型升级,促进我国工程机械产业迈向全球价值链中高端。

参考文献:

- [1] 王春英,董超.工程机械结构件涂装前处理工艺与设备[J].电镀与涂饰,2013(9):79-83.
- [2] 李在兴,李丽.环保型硅烷金属表面处理剂及工艺方法[J].现代涂料与涂装,2014(6):22-23.
- [3] 牛光昆.涂装机器人系统工艺调试过程简介[J].汽车工艺与材料,2015(6):74-78.
- [4] 汪丹,江丽,于伟,等.起重机械整机入库防护工艺浅谈[J].上海涂料,2015(9):45-47.
- [5] 张瑞.工程机械涂料与涂装的发展趋势分析[J].涂料工业,2020(3):82-84. ◆

(上接第 6 页)

- [27] Liu H W, Chen C Y, Yuan X T, et al. Corrosion inhibition behavior of X80 pipeline steel by imidazoline derivative in the CO₂-saturated seawater containing sulfate-reducing bacteria with organic carbon starvation[J].Corrosion Science,2022,203: 110345.
- [28] Jun X P, Yu T L, Qian L, et al. Single-layer graphene prevents Cassie-wetting failure of structured hydrophobic surface for efficient condensation[J].Journal of Colloid and Interface Science,2022,615:302-308.
- [29] Carrmb M, Carrmen M, Dana S, et al.Characterization of self-assembled monolayers (SAMs) on silicon substrate comparative with polymer substrate for Escherichia coli O157 : H7 detection[J].Applied Surface Science,2009,255(22):8953-8959.
- [30] 王媛,亢茂青,赵雨花,等.新型含硫二醇扩链剂的合成与表征[J].聚氨酯工业,2017(2):12-15.
- [31] 李海英,张浩力.新型偶氮苯硫醇衍生物自组装膜的制备与结构表征[J].物理化学学报,1999(3):198-203.
- [32] 李婷,张颖君,窦宝捷,等.丙烯酸树脂的制备及其在环氧树脂涂层中的应用研究[J].塑料工业,2022(2):58-62. ◆