

# 动力集中型动车组涂装前激光清洗工艺基础研究

王羽, 刘民军

(中车唐山机车车辆有限公司, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 动力集中型动车组采用耐候钢制造, 涂料防腐涂装前的基材表面质量是保证涂层质量的关键。激光表面作为一种新型非接触表面处理技术, 相比打磨和喷砂, 更符合国家绿色科技发展理念。通过样板工艺试验, 激光清洁后的基材表面具有良好的清洁度和粗糙度。另外在一定条件下, 表面处理间隔 24 h 涂装, 水性环氧金属涂料涂层附着力可达到 5 MPa 以上, 破坏模式均为涂层内聚破坏。

**关键词:** 激光技术; 表面处理; 动车组; 耐候钢; 防腐

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)04-0050-03

## Basic Research on Laser Cleaning Process before Painting of Power Centralized Multiple Unit

WANG Yu, LIU Min-jun

(CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan 063000, Hebei, China)

**Abstract:** The power centralized multiple unit is made of weathering resistant steel, and the surface quality of the substrate before the anti-corrosion coating is the key to ensure the coating quality. Laser surface treatment, as a new type of non-contact surface treatment technology, is more in line with the national green technology development concept compared to grinding and sandblasting. Through the sample process test, the surface of the substrate after laser cleaning has good cleanliness and roughness. In addition, under certain conditions, the adhesion of waterborne epoxy metal coating can reach more than 5 MPa after 24 hours of surface treatment, and the failure mode is cohesive failure of the coating.

**Key words:** laser technology; surface treatment; multiple unit; weathering resistant steel; corrosion prevention

### 0 引言

近年来, 国家发展绿色科技, 激光表面技术得到快速发展, 2022 年国家发布了《绿色制造 激光表面清洗技术规范》, 但现有研究报道多在激光除锈表面参数的基础研究, 对于涂装前应用的文章很少<sup>[1]</sup>。

本文基于 160 km/h 动力集中型动车组涂装制造, 结合该技术的发展趋势, 考虑涂料对于基材表面润湿、清洁度和粗糙度要求, 以及涂布间隔时间、温湿度等影响因素, 进行激光清洗在涂装前表面处理应用可行性研究。

收稿日期: 2023-04-29

作者简介: 王羽(1983—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事项目管理工。E-mail: wangyu@tangche.com。

### 1 原理

激光表面技术通过激光束作用于工件表面, 经过受热膨胀、共振冲击、燃烧气化、分解蒸发等使污物、氧化物或涂层脱离, 起到净化作用, 并形成一定的粗糙度, 具有非接触、无明显损伤、效果佳、效率高等优点。对于金属基材会不会有影响, 齐先胜等<sup>[2]</sup>研究了激光除锈技术对高速列车集电环性能的影响, 结果显示试件表面没有发生重熔和相变, 表面硬度和力学性能的变化程度也很小, 电阻率变化也符合使用规范要求。

相比较, 传统的抛丸、喷砂表面处理工艺, 或是清洗剂清洗工艺, 存在设备资本性投入大、人工作业量大、质量一致性差、工作效率低、损伤基材表面或外形、能耗高等问题, 以及环保运维管理投入大问题。

激光清洗涉及多种机制效应, 以振动效应、烧蚀效

应以及等离子体冲击效应为主。主要作用机理是振动效应,基本不会对基体的表面完整性造成破坏,而在损伤阈值条件下,激光清洗的机理则既有振动效应又有烧蚀效应,会对基体的表面完整性产生一定的破坏效应,从而形成一定粗糙度,满足涂料对于基材多面积润湿黏度与机械啮合作用的需求。激光表面效果见图1。

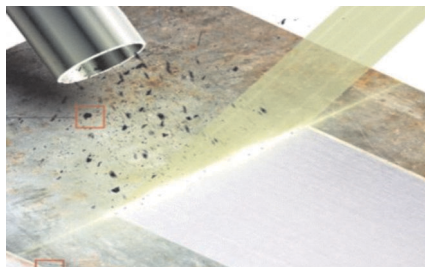


图1 激光表面效果

## 2 试验

试验样板采用 160 km/h 动力集中型动车组侧墙板板材,厚度为 2.5 mm,表面存在一定的腐蚀锈迹,见图2。采用手持式 1 500 W 功率可调激光清洗机进行表面清洗,参照 GB/T 8923.1—2011《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》,测试不同功率条件下的板材表面处理状态。



图2 激光表面前样板

另外,根据 Q/CR 283.5《铁路机车车辆 涂料及涂装》中 4.22 技术要求“表面处理后的钢材表面应在 4 h 内完成第一层涂装”,160 km/h 动力集中型动车组车体处理表面积约为 600 m<sup>2</sup>,在限定设备投入的情况下无法满足该要求。对此在一定间隔时间和温湿度条件下,涂布符合 Q/CR 581《铁路客车用涂料及涂装》标准要求的水性环氧金属防锈漆,涂层厚度为 60~100 μm;自然干燥 7 d 后根据 GB/T 5210—2016《色漆和清漆 拉开法附着力试验》和 GB/T 7124—2008《胶黏剂 拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)》进行性能测试。

## 3 激光表面测试

试验采用 1 500 W 功率可调激光清洗机,先后设

计工作功率为 200 W、650 W 和 1 300 W,使用 200 mm×300 mm×3 mm 样板,结果见图3。样板经过使用不同功率激光除锈后,表面外观如图4所示,样板表面在没有放大的条件下,没有可见的油脂和污物,以及氧化皮、铁锈,等同 St3 级或是 Sa3 级标准要求。由于试验样板没有涂层,本次没有做涂层去除项目考评。

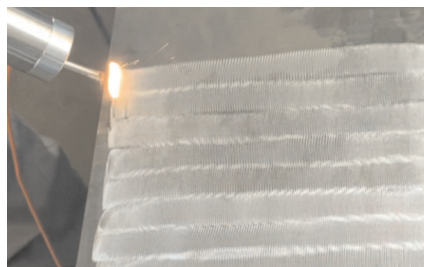


图3 耐候钢板激光表面

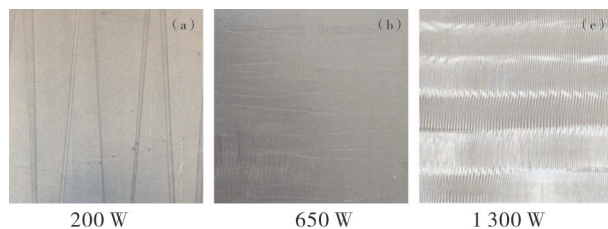


图4 不同功率条件的表面外观

由图4可知,1 300 W 功率的表面效果明显优于 650 W、200 W 的表面效果。通过使用手持式粗糙测试仪进行测量,1 300 W 功率条件下,利用人工极限移动速度进行表面测试, $R_a$  值能达到 5.0 μm 以上,大于 650 W 时的 2.0 μm,更大于 200 W 时的 0.8 μm。耐候钢板表面粗糙度见表1。

表1 耐候钢板表面粗糙度

工作功率/W	粗糙度/μm
200	0.8
650	2.0
1 300	5.0

## 4 粗糙度对涂层附着力影响测试

虽然目前激光清洗机因国内的科技发展,制造成本下降很大,逐渐进入高技术、常态化的发展模式,但是采购成本和能耗依然较高,为此,对不同功率条件处理的样板进行涂层附着力测试。

测试试验采用国产品牌水性环氧金属防锈漆,质量配比为 6.6:1,采用上壶式空气喷枪喷涂,涂层厚度

经过测试为 65~75  $\mu\text{m}$ ,符合 Q/CR 581 标准中车体表面用涂料产品配套涂料体系 B 防锈漆涂层厚度测试要求。

采用便携式拉拔试验机进行测试,具有良好清洁度的样板表面涂层附着力达到 4.22~5.81 MPa,断裂模式均为防锈漆层间破坏。表面锈蚀未完全处理到位的样板表面涂层附着力为 2.47~3.82 MPa,发生涂层与基材之间破坏。

根据测试结果,影响涂层与基材之间附着力的关键因素为:基材表面清洁度质量、涂料与基材之间的黏附性和内聚力。基材表面的粗糙度对于涂层的附着力影响性相对较小。

## 5 涂装测试

### 5.1 “4 h”标准起源

对于钢材表面处理行业标准中 4 h 内完成第一层涂装的概念,通过查询,“4 h”标准来源于上世纪国外造船厂新造和检修防腐施工工艺,起因是当时的施工为沿海、露天作业,多海盐水、潮湿的气候会造成钢材裸面快速腐蚀,需要船体表面机械处理后尽快完成防腐处理,另外由于部件表面处理,如果不及时进行涂装,存在二次灰尘与油污污染的质量隐患。随后国内外其他行业借鉴形成行规标准,推广应用于全球各气候环境,即我国南方高湿热的海南省区域需要执行,北方干冷的黑龙江省也要四季执行,这与不同环境、不同区域空气环境标准数据量化理论相矛盾,并且制定标准的施工环境与目前的国家对涂装制造环保管控中的“涂装需要在封闭环境下施工”不符。

### 5.2 试验测试

考虑大气环境中的温度和相对湿度对碳钢存在腐蚀,根据许多学者研究,碳钢的短期大气腐蚀锈层主要是铁的羟基氧化物( $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\beta\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ )和铁的氧化物( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ),具体腐蚀产物的种类与大气环境有密切关系。通过试验,锈迹的存在会影响涂层与基材表面的黏附附着能力。将经过表面处理的样板,分别放置在室内自然环境下、设定不同条件的高低温智能试验箱内,存放时间为 0 h、4 h、6 h、24 h,通过目测观察表面锈蚀状态。

通过测试,24 h 时间段存放的试验耐候钢样板表面无明显变化,表面涂层附着力大于 4 MPa,涂层破坏模式均为胶层或是涂层内聚破坏,无涂层与基材间黏附破坏模式,具体如下:

1)在 24 h 内,环境温度 5~40  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 100% 条件下,试验耐候钢样板表面无明显腐蚀。

2)在 24 h 内,环境温度 5~40  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 100% 条件下,试验耐候钢样板表面涂层拉拔附着力均大于

4 MPa,破化模式为测试胶体内聚破坏,无涂层与基材间黏附破坏模式;附着力分别为 6.47 MPa、9.21 MPa、4.99 MPa、8.50 MPa、7.31 MPa、7.40 MPa。

3)在 24 h 内,环境温度 5~40  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 100% 条件下,试验耐候钢样板表面涂层剪切力破坏模式均为涂层内聚破坏或是涂层与测试胶体混合破坏,无涂层与基材间黏附破坏模式;剪切力分别为 11.862 MPa、9.435 MPa、15.940 MPa、17.378 MPa、15.217 MPa、15.407 MPa、14.408 MPa、17.660 MPa。

4)在 6 h 内,环境温度 70  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 100% 条件下,试验耐候钢样板表面无明显腐蚀。

另外,考虑环境大气的湿度影响和阴雨的湿度影响,笔者模拟厂房环境,将喷砂后样板放置在通风的室内窗口边,经过 24 h 的放置,其中夜晚有小雨 4 h,通过肉眼观察样板表面没有明显变化,可见在一定的空气环境下,耐候钢自身具有一定的防腐性能,在未淋水的条件,经过机械表面处理后可超过 4 h 存放。

综上,钢材防腐行业表面处理,尤其大型车辆、船舶防腐制造和配件大批量防腐制造行业,可打破“4 h”限制,降低施工场地、施工人员数量的投入。时间间隔设定 8 h,相比“4 h”增加 1 倍,可减免人员投入 40% 以上,以原来 10 人 10 套设备减为 6 人 6 套设备计算,按照工资 5 000 元/月,喷砂工具 5 万元/套,可降低 24 万元/a 的投入,减少相应维护设备投入至少 20 万元。

另外,大型或大批量部件实际生产操作工艺时间按照 12 h 计算;需严格执行标准施工需采用分段(批次)表面处理-涂装方案,实际工艺周期需要至少 16 h,即 4 次喷砂+4 次清砂+4 次涂装+4 次干燥+8 次运转。定位“12 h”可降低能源消耗 75%,提升效率 75%。

## 6 结语与展望

激光表面处理技术能够为动车制造创建良好的涂装施工表面,具有很好的应用前景,但是还存在施工效率相对较低、采购成本较高,人们对此项技术的认知度随着科技的发展会逐步提升。

同时,对标准的应用,我们应该考虑设定标准的目的是在于指导和规范入门的从业者能够少走弯道,而不是“咬文嚼字”,应该因地制宜、从实际出发。

### 参考文献:

- [1] 杨毅飞,王莹,陈松培,等.表面处理国际标准的研究意见及建议[J].造船技术,2016(5):1-8.
- [2] 齐先胜,任志国,刘峻亦,等.激光除锈技术对高速列车集电环性能影响研究[J].激光技术,2019(3):168-173.