

激光清洗对合金钢焊接性能的影响

李靖飞, 温鹏, 马翔宇, 马殿响, 孟璇

山西航天清华装备有限责任公司 山西长治 046000

摘要: 研究激光清洗对合金钢焊接性能的影响规律, 为钢架结构件焊前清洗选取一种高效、绿色的清洗方式。选取两种除锈方式对不同表面状态下的钢板进行清洗。分析结果表明: 采用激光清洗的钢板表面可以满足焊缝质量I级要求, 而且激光焊前清洗还具有快捷高效、处理后对基材没有损伤、基材表层会形成硬化层等优势。

关键词: 钢架结构; 激光清洗; 表面状态; 焊缝

The effect of laser cleaning on the welding performance of alloy steel

LI Jingfei, WEN Peng, MA Xiangyu, MA Dianxiang, MENG Xuan

Shanxi Aerospace Qinghua Equipment Co., Ltd., Changzhi 046000, Shanxi, China

Abstract: The effect of laser cleaning on the weldability of alloy steel was studied, and an efficient and green cleaning method was selected for the pre-welding cleaning of steel frame structure. Two kinds of rust removal methods were selected to clean the steel plate under different surface states. The analysis results show that the laser cleaning steel plate surface can meet the requirements of weld quality level I, and the advantages of laser cleaning before welding are fast and efficient, no damage to the substrate after treatment, and the substrate surface will form a hardened layer.

Keywords: steel frame structure; laser cleaning; surface state; weld seam

1 序言

在钢架结构件的焊接装配过程中, 钢板表面清洗(焊前除锈除污)是一个绕不开的话题。激光清洗^[1]是近年兴起的一种高效、精确、环保、绿色清洗技术, 相较于传统的砂轮打磨^[2]、清洗液、喷砂喷丸等清洗方式, 激光清洗能够不损伤基材, 方便快捷清洗, 提高生产效率。本文采用波长为1064nm的连续激光清洗器对两种合金钢基材(HG785D/Q235)进行激光清洗(除锈), 然后对激光清洗后的钢材进行焊接试验。从宏观角度检查焊缝质量, 分析激光清洗对合金钢焊接性能的影响; 从微观角度分析钢板试件经激光清洗后其表面状态的变化

规律。

激光清洗一般是将激光波长为915~1080nm的激光, 先进行光学聚焦, 随后通过光束系统进行光斑整形, 进而形成具有一定能量分布的激光束, 辐射到带有锈蚀的基材表面。激光辐射到基材上, 基材瞬间产生很高的温度, 锈蚀吸收激光的能量后会产生振动、气化等一系列的物理化学反应, 进而将锈蚀去除^[3]。

2 激光清洗与传统清洗方式对比

常见的合金钢板清洗方式有手工砂轮打磨、清洗液、喷丸喷砂清洗、干冰清洗等方式^[4, 5], 虽

然传统清洗方式应用起来较为简便,但是也有其局限性。例如,手工砂轮打磨效率低且环境恶劣,容易对钢板表面造成损伤,且无法满足产品高清洁度的清洗要求。与传统的除锈方法相比,激光清洗具有明显的优势,脉冲激光清洗精度高、清洗效果好、成本低、清洗效率高等^[6];脉冲激光清洗不接触基材,对基材基本无损伤,无需后续清洁;激光清洗设备与传统的清洗设备相比,更加人性化,根据不同行业、不同工作人员的需求,有不同类型的激光清洗设备,不仅便携可移动,还可以实现自动化,改善工作人员的工作环境^[7]。除此之外,激光清洗可以局部定点除锈,适用范围更广泛。

3 试验设计与分析

根据钢架结构特点,钢架结构件主要以合金钢、碳素钢钢板或钢棒为基材,试验选取厚度为8mm的HG785D与Q235钢板为研究对象。分别对清洗前不同状态的试板进行标号,具体见表1。对编号试板进行激光清洗和手工砂轮打磨,记录清洗时间,对比不同清洗方式工作效率;通过低倍显微镜观察宏观组织,观察对比试板表层磨损状态;通过高倍显微镜观察微观金相组织,分析试板表面金相组织变化规律;最后通过焊接试验,观察焊缝是否存在缺陷。

表1 试板表面状态及编号

状态	试料	除锈方式	编号
正常状态	Q235 (2块)	激光清洗	QAZ-1
	HG785D (2块)		QAZ-2
锈蚀严重	Q235 (2块)	激光清洗	EDC-1
	HG785D (2块)		EDC-2
油漆	Q235 (2块)	激光清洗	RFV-1
	HG785D (2块)		RFV-2
油污	Q235 (2块)	激光清洗	WSX-1
	HG785D (2块)		WSX-2
正常状态	Q235 (2块)	手工打磨	TGB-1
	HG785D (2块)		TGB-2

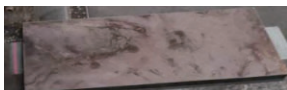
焊后对焊接接头用10倍放大镜检查所有焊缝外观质量,判断其是否满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

3.1 试板制备

试验中采用的基材材料为高强钢HG785D和低

碳钢Q235。HG785D钢主要成分是Fe、C、Mn、Cr,此外还有一些微量元素Si、Ni、S、P等。Q235钢主要成分是Fe、C、Mn,此外还有少量的Si、S、P、H等杂质元素。两种材质钢板的锈层成分主要是 Fe_2O_3 及少量未分解的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ^[8]。试板样品尺寸均为250mm×100mm×10mm,每次试验清洗的面积为250mm×40mm。具体每种试板表面状态制备见表2。

表2 清洗前表面制备

表面状态	制备方式	清洗前状态
正常	领料	
腐蚀严重	在水中腐蚀24h,然后放置户外干燥通风处8h	
油漆	在除锈过后的表面喷砂,并喷涂铁红环氧底漆	
油污	将正常状态下的钢板涂上普通工业机油	

3.2 试验设备

本次试验激光清洗设备选用了由中制高科生产的ALT-LC-NP-1000型激光清洗器,如图1所示。最大功率为500W,最大扫描宽度为110mm,该激光清洗器为手持式激光头。为了本次试验中聚焦扫描稳定,试验过程中采用ABB系统的简易机器人,如图2所示。



图1 ALT-LC-NP-1000型激光清洗器



图2 ABB系统的简易机器人

3.3 激光清洗器工作参数

清洗前先在备用试板上找到最佳工艺参数，主要原因是功率相同时，当扫描频率较小时，单脉冲能量较大，容易导致清洗后基材表面产生烧蚀现象；扫描频率过大时，单脉冲能量过小，无法将锈蚀清除干净。因此，为了保证激光功率密度达到清洗阈值，能够稳定地将锈蚀层彻底清除干净，达到理想的清洗效果，要选择合适的激光功率和扫描频率^[9]，具体工作参数见表3。

表3 激光清洗器工作参数

功率 /W	扫描速度 / (mm/s)	清洗范围 / mm	脉宽 / μs	缓升时间 /s	定位精度 / mm	清洗深度 / mm	扫描频率 / kHz
500	6000	40	3	10.0	0.02	0.05~0.1	80

3.4 试验结果分析

对不同表面状态下的钢板试验件进行激光清洗，分析激光清洗对焊前组织的影响。最后进行焊接试验，观察接头焊缝外观质量。

(1) 正常状态 对于正常试板，其表面锈层为0.24~0.5mm，通过观察激光清洗效果，QAZ-1与QAZ-2中间除锈效果明显，表面没有出现多余物（见表4）。然后进行角接试验观察焊缝表面状态，用10倍放大镜检查焊缝外观质量，可以满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

表4 正常状态（激光清洗）

状态	材料	编号	清洗效果	焊接效果
正常	Q235钢	QAZ-1		
	HG785D 钢	QAZ-2		

(2) 锈蚀严重 对于锈蚀严重试板，其表面锈层为0.5~1mm，通过观察激光清洗效果，EDC-1与EDC-2中间除锈效果明显，表面没有出现多余物（见表5）。然后进行角接试验观察焊缝表面状态，用10倍放大镜检查焊缝外观质量，可以满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

表5 锈蚀严重

状态	材料	编号	清洗效果	焊接效果
锈蚀严重	Q235钢	EDC-1		
	HG785D 钢	EDC-2		

(3) 油漆 根据工艺要求漆层厚度在35~60μm，激光清洗后RFV-1与RFV-2中间除锈效果明显，表面没有出现多余物。然后，进行角接试验观察焊缝表面状态，用10倍放大镜检查焊缝外观质量，可以满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

表6 油漆

状态	材料	编号	清洗效果	焊接效果
油漆	Q235钢	RFV-1		
	HG785D 钢	RFV-2		

(4) 油污 通过观察激光清洗效果，WSX-1与WSX-2中间除锈效果明显，表面没有出现多余物。然后进行角接试验观察焊缝表面状态，用10倍放大镜检查焊缝外观质量，可以满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

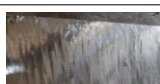
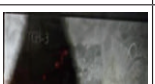
表7 油污

状态	材料	编号	清洗效果	焊接效果
油污	Q235钢	WSX-1		
油污	HG785D 钢	WSX-2		

(5) 手工打磨 观察TGB-1、TGB-2与QAZ-1、QAZ-2表面状态，激光清洗处理过的样品表面几乎没有残留的锈蚀，手工打磨除锈样品的表面有少许的锈蚀未清除干净对比观察其微观形貌发现，手工除锈对基材的损伤比较严重，而激光清洗对基材基本上没有损伤。通过记录除锈时间，可以看出激光清洗效率（清洗时间10s）要高于手工打磨。然

后,进行角接试验观察焊缝表面状态,用10倍放大镜检查焊缝外观质量,焊缝表面有少量弧坑,基本满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。

表8 正常状态(手工打磨)

状态	材料	编号	清洗效果	焊接效果	时间/s
手工打磨	Q235钢	TGB-1			60
	HG785D钢	TGB-2			60

3.5 激光清洗微观分析

从微观角度观察激光除锈对基材的影响,针对激光清洗后试件QAZ-1的清洗区域进行金相观察分析,如图3所示。

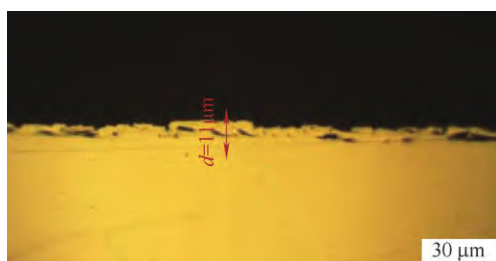


图3 激光清洗后表层微观形貌

观察图3可知,脉冲激光清洗后,钢板母材表面形成一层薄薄的褶皱状的硬化层^[10],约为11μm。虽然硬化层的厚度极小,但是明显提高了样品的表面硬度。采用10倍放大镜观察激光清洗后的试件焊缝,发现其熔透性较好,且气孔、夹渣等焊接缺陷较少。因此,脉冲激光除锈不但能将锈蚀清除干净,而且能够提高钢板焊接效率及焊缝质量,并对提高母材的耐蚀性以及表面强化都具有非常重要的研究意义。

3.6 激光清洗与手工打磨效果对比

上述试验结果表明,激光清洗后的钢板表面焊缝质量可以满足QJ 176B—2016《地面设备熔焊技术条件》中I级要求。通过对比试验发现,激光清洗不仅效率比手工砂轮打磨要高,而且激光清洗对基材表面没有造成损伤,甚至形成一层硬化层,对基材具有保护作用。

4 结束语

本试验选取了HG785D和Q235两种钢板,采用

激光清洗与手工砂轮打磨两种除锈清洗方式,通过控制变量试验验证了不同焊前清洗方式对合金钢焊接性能的影响。试验结果表明,采用激光清洗后进行焊接接头试验得到的焊缝内部气孔较少,熔合状态较好,其可以满足焊缝质量I级要求。另外,激光清洗还具有效率高、对基材没有损伤、清洗后表层会形成很薄的硬化层,以及对合金钢、碳素钢具有重要保护作用等优势,为指导钢架结构件生产过程中焊接工艺制定提供了参考。

参考文献:

- [1] 张瑄珩,王健超,张伟,等.金属材料激光清洗技术发展现状:“上海市激光学会2015年学术年会”论文集[C].上海:上海市激光学会,2015.
- [2] 翟燕玲,宋统战.机械打磨在钢结构制作中的意义浅析[J].商品与质量:学术观察,2012(2):73-73.
- [3] 傅运香,郭文亮,冯治乾,等.不锈钢表面激光清洗技术研究[J].金属加工(热加工),2019(9):14-16.
- [4] 谭荣清,郑光,郑义军,等.激光除漆对基材力学性能的影响[J].激光杂志,2005,26(6):83-84.
- [5] 俞鸿斌,王春明,王军,等.碳钢表面激光除锈研究[J].应用激光,2014(4):310-314.
- [6] 李伟.激光清洗锈蚀的机制研究和设备开发[D].天津:南开大学,2014.
- [7] LI R, YUE J, SHAO X, et al. A study of thick plate ultra-narrow-gap multi-pass multi-layer laser welding technology combined with laser cleaning[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 81(1-4):113-127.
- [8] ZHANG F D, LIU H, SUEBKA C, et al. Corrosion behaviour of laser-cleaned AA7024 aluminium alloy[J]. Applied Surface Science, 2018, 435:452-461.
- [9] 陈一鸣.铝合金焊前激光工艺及评估[D].武汉:华中科技大学,2018.
- [10] ALSHAER A W, LI L, MISTRY A. The effect of short pulse laser surface cleaning on porosity formation and reduction in laser welding of aluminium alloy for automotive component manufacture[J]. Optics & Laser Technology, 2014, 64(4):162-171.

MW 20240729