

表面熔覆增材技术在铸铁耐磨表面的应用研究

赵建平¹, 刘玉媛², 张杰¹, 王鑫³, 冯丰¹, 薛晓斌³, 李焕英¹

(1. 陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105; 2. 中国船舶集团有限公司, 北京 100097;

3. 天津修船技术研究所, 天津 300456)

摘要: 针对铸铁气缸盖表面耐磨性能提升需求, 开展了熔覆材料体系优选、回火温度对熔覆层硬度的影响, 熔覆加工参数优化以及裂纹、气孔缺陷控制技术等方面的研究。最终得到满足技术指标要求的熔覆层, 为后续表面熔覆增材技术在铸铁耐磨零件表面的应用奠定了技术基础。

关键词: 表面熔覆; 增材技术; 铸铁耐磨零件

中图分类号: TK426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2021)02-0051-03

Application Research of Surface Cladding Additive Technology on Wear Resistant Surface of Cast Iron Parts

Zhao Jianping¹, Liu Yuyuan², Zhang Jie¹, Wang Xin³, Feng Feng¹, Xue Xiaobin³, Li Huanying¹

(1. Shaanxi Diesel Heavy Industry Co., Ltd., Shaanxi Xingping 713105; 2. China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100097; 3. Tianjin Shiprepairing Technology Research Institute, Tianjin 300456)

Abstract: In order to improve the surface wear resistance of cast iron cylinder head, research was carried out on the optimization of cladding material system, the influence of tempering temperature on the hardness of cladding layer, the optimization of cladding processing parameters and the control technology of cracks and blowholes. Finally, the cladding layer which meets with the technical requirements was obtained. It lays a technical foundation for the further application of surface cladding additive technology to the surface of wear-resistant cast iron parts.

Key words: surface cladding; additive technology; wear-resistant cast iron part

0 引言

随着 IMO 排放法规日益严格, 船舶柴油机进入排放控制区必须使用 $w(S) \leq 0.1\%$ 的低硫燃油。而使用低硫燃油易导致气阀与气缸盖阀座、活塞环与气缸套等运动部件的异常磨损, 这就要求提高零件表面耐磨性能。

近年来, 表面熔覆增材技术因其稀释率低、热影响区小、所获得的深层强度高以及耐磨性好等优点得到迅速发展, 成为制造领域的前沿技术^[1]。利用该技术在基体表面形成具有梯度结构的功能性材

料, 可使材料同时满足芯部强韧和表面耐磨的要求。

本文以铸铁气缸盖为研究对象, 开展表面熔覆增材技术及工艺研究, 在不改变气缸盖整体结构的前提下, 实现表面硬度显著提高。

某型柴油机气缸盖材料为特种铸铁, 采用无硬化处理的气阀座, 即气阀座与气缸盖铸造为一体, 阀座硬度低于气阀硬度。该柴油机使用低硫燃油时频繁出现气缸盖排气阀座异常磨损故障。经排查分析, 磨损原因及机理为: 柴油中的硫化物燃烧后会在阀座表面形成具有润滑减磨作用的物质, 使接触面的摩擦系数减小, 有效避免气缸盖排气阀座的磨

收稿日期: 2020-08-08; 修回日期: 2020-09-07

作者简介: 赵建平(1962—), 研究员级高级工程师, 主要研究方向为大功率发动机性能改进和开发设计, zhaojianping@sxinfo.com.cn。

损。而使用低硫燃油时,高温、高接触应力条件下,阀座与阀盘粗糙面的微凸点碰撞形成微焊点,阀盘与阀座分离时微焊点撕裂,发生材料剥落,形成黏着磨损。高温使剥落的材料氧化,形成硬质颗粒,这些微颗粒会嵌入阀座表面,进一步增大摩擦系数,加剧磨损,最终导致气缸盖阀座异常磨损^[2]。

根据磨损原因及磨损机理,可采用提高阀座表面硬度以与气阀硬度相匹配,或增加燃油中硫含量等措施来解决阀座异常磨损问题。但是,根据IMO排放法规,柴油机使用低硫燃油已成为必然趋势。因此,本文基于阀座与排气阀性能匹配要求,通过光纤激光表面熔覆增材技术对阀座部位实施精确强化,使硬化层深度达0.5~0.8 mm,硬度大于HRC40 (HV377),以解决阀座异常磨损问题。

1 表面熔覆增材技术研究

1.1 熔覆材料体系初选

镍基(NJ)和钴基(CJ)材料可以提高熔覆层的高温工作性能;铁基(FJ)熔覆层与特种铸铁基材的物理性能更接近,易于获得无裂纹的熔覆层。因此,选择镍基、钴基、铁基三种材料体系进行初选试验。试验后采用着色渗透探伤检测裂纹缺陷;采用线切割取样观察熔覆层横截面的方式观察气孔情况。试验结果见表1及图1。

表1 熔覆材料优选试验结果

序号	熔覆材料	裂纹情况	气孔情况
1	NJ-1	无裂纹	结合处有少量气孔
2	NJ-2	无裂纹	结合处有少量气孔
3	NJ-3	有裂纹	结合处有少量气孔
4	NJ-4	有裂纹	气孔较多
5	NJ-5	有裂纹	结合处有少量气孔
6	CJ-1	有裂纹	表面有气孔
7	CJ-2	无裂纹	气孔较多
8	FJ-1	有裂纹	表面气孔较多
9	FJ-2	有裂纹	气孔较多
10	FJ-3	无裂纹	气孔较多
11	FJ-4	有裂纹	气孔较多
12	FJ-5	无裂纹	气孔较多

裂纹和气孔均会降低熔覆层的使用性能。由于裂纹对熔覆层的性能影响更大,且通过材料或工艺手段进行控制和改善的难度也更高,因此,初步选择无裂纹的NJ-1、NJ-2、CJ-2、FJ-3、FJ-5作为进一步研究对象。

相对于排气阀而言,阀座工作温度较高。根据

气缸盖阀座及排气阀工作温度,分别设定回火温度为325℃及725℃,考察不同回火温度下熔覆层的硬度变化情况,并与未经回火处理的试样进行对比,结果见表2。硬度检测采用小负荷维氏硬度计,表中的洛氏硬度由维氏硬度折算而来;熔覆层深度参照GB/T 18683—2002中3.8“有效硬化层深度”的规定;深度测量方法采用显微硬度测量法^[3]。

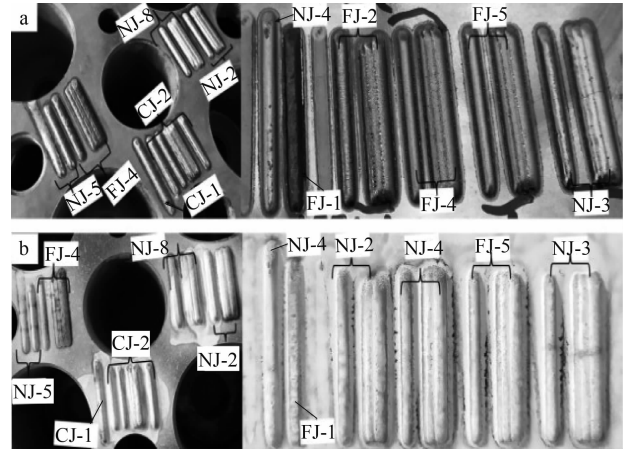


图1 熔覆材料优选试验结果

表2 回火温度对熔覆层硬度影响

序号	熔覆材料	处理方式	深度/mm	HV0.5	HRC
1	NJ-1	未回火	2.7	436.0	44.7
		325℃回火	2.7	439.0	44.8
		725℃回火	2.1	458.0	46.3
2	NJ-2	未回火	2.3	484.0	48.3
		325℃回火	2.5	486.0	48.3
		725℃回火	2.1	458.0	46.3
7	CJ-2	未回火	2.7	419.0	43.4
		325℃回火	2.5	412.0	42.7
		725℃回火	2.1	423.0	43.6
9	FJ-2	未回火	2.7	368.0	38.7
		325℃回火			
		725℃回火	2.1	497.0	49.0
10	FJ-3	未回火	2.9	490.0	48.8
		325℃回火	2.4	609.7	55.7
		725℃回火	2.1	497.0	49.0
12	FJ-5	未回火	2.7	537.0	52.1
		325℃回火	2.7	499.0	49.1
		725℃回火	2.1	430.0	44.1

由表2可见:FJ-2熔覆层在未回火状态下硬度仅为HRC38.7,无法满足技术指标要求;NJ-1、NJ-2、CJ-2、FJ-3、FJ-5五种熔覆层在回火前及325℃和725℃回火后硬度均满足要求。结合1.1节中熔覆层气孔缺陷情况,选择气孔缺陷较少的NJ-1和NJ-2材料进行激光加工参数的进一步优化试验。

1.2 熔覆加工参数优化及裂纹、气孔缺陷控制

1.2.1 直线搭接熔覆层

对激光束的输出功率、扫描速度、光斑尺寸、搭接系数以及送粉速度等参数进行多轮次试验研究, 通过对比熔覆层的堆高、裂纹缺陷、气孔缺陷等参数, 获得直线扫描的优化参数范围。在此参数范围内, 采用 NJ-1 粉末能够稳定获得堆高 1 mm 以上, 无裂纹和气孔的搭接熔覆层, 见图 2。

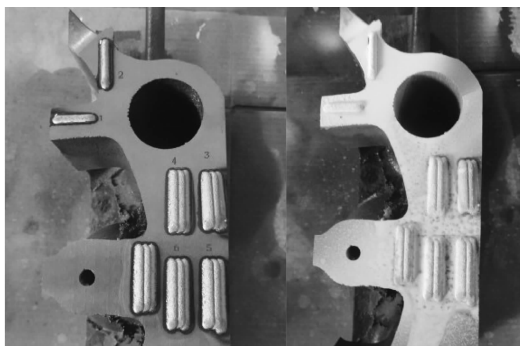


图 2 无裂纹和气孔的直线扫描搭接熔覆层

1.2.2 圆环搭接熔覆层

在制备圆环搭接熔覆层试样时发现: 由于圆环试样是封闭的, 易导致应力集中, 在首尾相接处产生裂纹。为此, 增加去应力退火工艺等措施, 获得了无裂纹的 NJ-1 熔覆圆环试样, 见图 3。



图 3 直接成形的熔覆圆环试样

在上述二种熔覆层制备过程中发现: 相同工艺参数条件下, 圆环试样中的气孔缺陷较直线试样多。通过调整送粉角度、改善保护气氛等工艺措施, 有效抑制了气孔缺陷的发生率。图 4 是 NJ-1 圆环熔覆试样磨削过程, 该试样总堆高达到 1.7 mm, 磨削过程未发现气孔。

对上述表面熔覆增材技术的研究可小结如下:

(1) 采用激光送粉熔覆工艺, 在特种铸铁上获得的镍基、铁基及钴基熔覆层的硬度和深度指标满足技术要求。经过 325 ℃ 及 725 ℃ 回火, 熔覆层硬度无明显降低。

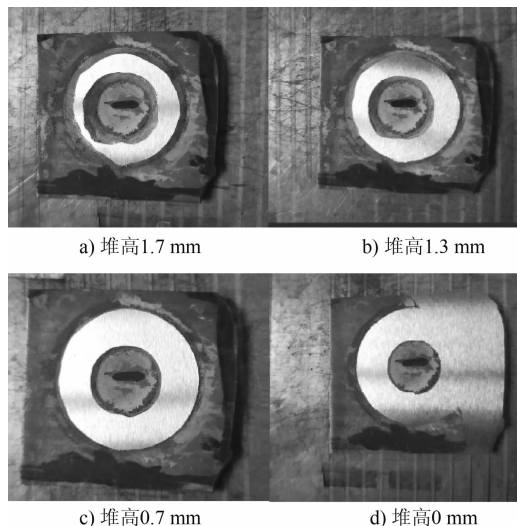


图 4 NJ-1 圆环熔覆试样磨削过程

(2) 通过优化激光工艺参数, 调整熔覆粉末成分等措施, 可以获得无裂纹的镍基试样。试样形式包括直线扫描搭接和圆环搭接。

(3) 镍基熔覆层中的气孔缺陷最少, 参数优化后镍基熔覆层中基本无气孔缺陷。

后续将持续进行熔覆粉末成分配比优化, 进一步提高熔覆层硬度及耐磨性; 并进行热震、冲击、疲劳等性能测试工作及模拟台架试验。

2 结语

研究结果证实了采用表面熔覆增材技术进行气缸盖阀座强化的可行性。获得了深度大于 1.0 mm 无裂纹、无气孔的硬化层, 平均硬度达到 HRC42 以上, 满足“硬化层深度达到 0.5 ~ 0.8 mm, 硬度大于 HRC40 (HV377)”的技术指标要求。为后续表面熔覆增材技术在铸铁耐磨零件表面的应用奠定了技术基础。

参考文献

- [1] 江吉彬, 程圆, 黄旭. 激光熔覆技术的研究现状及应用 [J/OL], 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2018 (8): 156-157 [2020-06-02]. <http://www.cqvip.com/QK/72191X/201808/epub1000001448295.html>.
- [2] 李焕英, 张晓红, 窦振寰, 等. 某型柴油机缸盖气阀座面异常磨损故障原因分析 [J]. 柴油机, 2017, 39 (4): 52-54.
- [3] 中国机械工业联合会. 钢铁件激光表面淬火: GB/T 18683-2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.