

主轴激光熔覆修复再制造技术研究

王升正, 魏子海, 邢炜

中国电建集团透平科技有限公司 四川成都 610045

摘要: 风机作为燃煤电站及钢厂的主要通风设备, 其平稳可靠性对于整个机组的运行十分重要, 随着运行工况的变化, 风机主轴磨损日益严重, 风机主轴磨损后局部形成沟槽, 尺寸公差无法保证, 易造成风机振动, 影响风机正常运行。激光熔覆技术可对磨损失效工件进行修复再制造。为探索激光熔覆技术对磨损风机主轴修复的可行性。测试了激光熔覆工艺修复后试样的硬度、力学性能、微观结构等性能。结果表明: 采用优化后的工艺参数: 激光功率2500W、扫描速度20mm/s、送粉速度2.5r/min进行激光熔覆修复后, 试样表面硬度为295HBW左右, 硬度有所提高, 抗拉强度为832MPa, 屈服强度为722MPa, 正向冲击吸收能量为93J, 侧向冲击吸收能量为74J, 背向冲击吸收能量为84J, 均满足母材相关要求。熔覆层无气孔裂纹等缺陷, 组织均匀。由此可见, 激光熔覆工艺修复风机主轴具有可行性。

关键词: 激光熔覆; 磨损; 修复

Research on laser cladding repair and remanufacture technology for spindle

WANG Shengzheng, WEI Zihai, XING Wei

China Electric Power Construction Group Turbine Technology Co., Ltd., Chengdu 610045, Sichuan, China

Abstract: After the main shaft of the fan wears out, grooves are easily formed locally on the main shaft, affects the normal operation of the fan. To repair, remanufacture and utilize it repair of worn fan spindle using laser cladding technology. Tested the hardness, mechanical properties, microstructure, and other properties of the repaired samples using laser cladding technology. The results indicate that using optimized process parameters: laser power 2500W, scanning speed 20mm/s, powder delivery speed 2.5r/min, conducted laser cladding repair. The surface hardness of the sample is about 295HBW, the surface hardness of the sample has been improved. The tensile strength of the sample is 832MPa, the yield strength is 722MPa, and the forward impact absorption energy is 93J, the lateral impact absorption energy is 74J, and the backward impact absorption energy is 84J, all meet the relevant requirements of the base material. The coating has no defects such as pores or cracks, uniform structure. It can be seen that the laser cladding process is feasible for repairing the fan spindle.

Keywords: laser cladding; abrasion; repair

1 序言

风机作为主要的通风设备应用于各行业, 主轴是风机及其他转动机械设备的關鍵部件, 其重要

性不言而喻。随着风机转速的提高及变频技术的应用, 风机主轴面临的工况越来越恶劣, 容易造成主轴磨损失效, 严重时造成风机振动甚至主轴断裂等

第一作者: 王升正, 硕士, 工程师, 研究方向为表面处理技术, E-mail: 294904831@qq.com。

后果。以往对于磨损主轴一般采用报废处理,近年来随着绿色修复再制造技术的发展,一般采用电刷镀、超音速喷涂、激光熔覆等技术进行修复^[1-3]。激光熔覆就是在极高能量密度的激光束作用下,将熔覆材料与基体材料同时快速熔化、快速凝固的过程。在这个过程中熔覆材料与基体材料同时熔化并发生反应,然后快速凝固形成具有冶金结合界面的熔覆层^[4]。通过选择合适的熔覆材料,激光熔覆技术可以在不同的基体材料上制备具有各种特性的表面熔覆层^[5]。激光和基材的作用时间很短,具有热输入量少,激冷激热对基体的影响小,工件的变形量小的特点,被广泛应用于设备零部件的修复和表面改性^[6-8]。

江南大学催宸等^[9]对42CrMo钢表面激光熔覆制备钴基熔覆层的工艺进行了优化研究。张德强等^[10]通过对层间激光停留时间的调控,减少熔覆层气孔、裂纹等缺陷的产生,提高熔覆层的显微硬度,结果表明,合适的停留时间可以提高熔覆层的质量,增加熔覆层的硬度。CHENG等^[11]探究了扫描速度和能量密度对42CrMo钢表面激光熔覆铁基熔覆层的显微硬度的影响。朱玖旭^[12]研究了控制激光熔覆裂纹方法,试验结果表明,熔覆前预热,提高Ni含量,增加过渡层可以有效控制熔覆层裂纹的产生。

经过前期的室内试验,研究了激光功率、扫描速度、搭接率等因素对熔覆层质量的影响,优选出最佳熔覆工艺参数。在此工艺下,采用与风机主轴相同材质的试板为基材,应用同步送粉工艺进行激光熔覆,模拟修复磨损的主轴。

2 试验材料与工艺

2.1 试验材料

本次试验所用试板与风机主轴材质相同的42CrMo钢,42CrMo钢化学成分及力学性能见表1、表2。试板经调质处理后加工成如图1所示,尺寸为400mm×300mm×20mm,模拟修复槽宽20mm,深2mm,如图1所示,修复槽两边倒角为45°。熔覆合金粉末采用硬度与母材接近、综合性能较好的自配铁基合金粉H8,其化学成分见表3。

表1 42CrMo钢化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Fe
0.39	0.28	0.57	1.03	0.19	余量

表2 42CrMo钢力学性能要求

抗拉强度 / MPa	屈服强度 / MPa	冲击吸收能量/J	断后伸长率 (%)	硬度 HBW
≥690	≥460	≥38	15	210~270

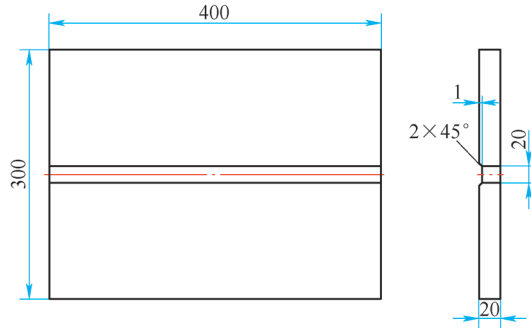


图1 试板示意

表3 铁基合金粉H8化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Ni	Mo	Cr	Fe
0.08	2	12	2	19	余量

2.2 试板熔覆及性能测试

激光熔覆设备采用额定功率为6000W的laser line激光器及ABB机器人。通过前期大量的试验,研究了激光功率、扫描速度、送粉速度对熔覆层厚度和硬度、修复工件力学性能的影响。最终优选出以下的工艺参数:激光输出功率2500W,扫描速度20mm/s,送粉速度2.5r/min,搭接率35%,保护气和送粉气均为99.999%高纯氩气。为模拟修复效果,在试板中间位置加工宽20mm、深2mm的沟槽,模拟磨损失效。激光熔覆前清理试板用酒精擦拭干净并保持干燥,H8合金粉在200℃下烘干1h。按照上述工艺参数在试板预制的修复槽处进行激光熔覆,熔覆3层将预制修复槽填充至略高于试板平面,满足后期整体加工要求,熔覆后试板如图2所示。



图2 熔覆后试板

试板激光熔覆模拟修复完成后,进行表面渗透检测,检测合格后利用熔覆好的试板加工制作成各

类测试试样进行相应的性能测试试验。分别测试分析了熔覆层硬度分布情况、试样拉伸力学性能、冲击性能、显微组织等。

3 结果分析与讨论

3.1 无损检测

熔覆完成后,清理熔覆层表面,待试板冷却到室温,进行渗透检测,结果如图3所示。无损检测结果表明,激光熔覆层表面较为光洁,熔覆层道与道之间搭接良好且与母材熔合良好,无裂纹、气孔、咬边等表面缺陷。



图3 试板无损检测结果

3.2 熔覆层硬度测试及显微组织测试分析

硬度作为金属材料的一项重要性能指标,往往是检测表征的重要参数,为满足轴类的综合性能要求,往往需要将主轴表面硬度控制在一定范围内。因此修复后熔覆层的硬度是重要性能之一。采用HB-3000C电子布氏硬度计测试了熔覆试板截面的硬度分布情况。分别选择3个垂直的区域进行测试(见图4),从熔覆层表面开始每隔0.3mm测试一个点,依次从上往下测试,直到母材区域。硬度测试结果如图5所示。

由图5可知,熔覆层硬度比母材略高,增强了其表面耐磨性能。根据显微硬度的变化曲线可以明显地划分为3个区域:①在0~1.5mm之间为第1个区域,在此区域内,显微硬度值在300HV左右且波动的范围很小,为熔覆区及结合区域,熔覆层的硬度比母材略高,既具有一定的耐磨性又保持了材料良好的力学性能。②1.5~4.8mm之间为第2个区域,在此区域内,显微硬度值有明显的峰值,最大硬度为345HV,该区域为热影响区。③深度在4.8mm以后为第3个区域,此区域内,硬度值在250HV左右且

基本没有变化,为基体区域。

分析熔覆层硬度分布规律,发现在宽度约为1mm的热影响区内硬度有相对较大突变,且明显高于基体,是整个垂直截面硬度最高的区域,其最大值较母材高约95HV。主要原因是在激光激冷激热淬火效应的作用下相当于给基体表面进行了热处理,热影响区内组织被快速加热后快速冷却形成了硬度较大的细晶组织,从而提高了其硬度值。

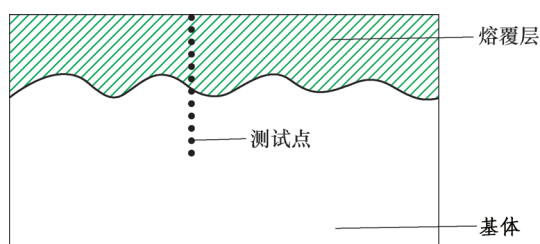


图4 硬度测试示意

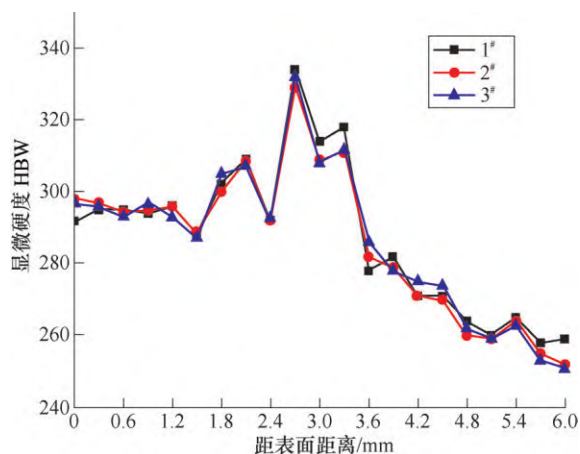


图5 硬度测试结果

为了进一步研究试板力学性能变化的原因,观察分析了熔覆层与母材的熔合情况及熔覆层的显微组织结构,在熔覆试样的截面处制作了金相试样,利用Axio observer.A1M倒置金相显微镜观察了母材、熔覆层、熔合处的金相组织,结果如图6、图7所示,熔合处上层为熔覆层,下层为基材。

由图6、图7可知,在激光的作用下,合金粉和部分母材快速升温熔化,然后又快速凝固形成表面熔覆层。熔覆层和母材熔合处,结合紧密,有一条亮带,呈波浪状,表明熔覆层与母材冶金结合较好。激光熔覆修复后母材的热影响区由于受到激光激冷、激热的热处理作用,部分组织发生了相变,形成了细小马氏体组织,导致了此区域内的显微硬度发生突变。熔覆层金相组织较为均匀致密,保证

了熔覆层较好的力学性能。由于表层组织冷却速度较快,熔覆层由表及里晶粒逐渐减小,导致其硬度依次增大,主要是因为熔覆层外部和内部降温速度不一致,结晶速度和晶体长大速度的差别引起。熔覆层组织主要为等轴晶,有少量树枝晶,方向杂乱,晶粒较细,大小相对均匀。

3.3 修复后拉伸性能

修复后按GB/T 40737—2021《再制造 激光熔覆层性能试验方法》要求将试板加工成标准测试试

样,如图8所示。采用PLS-1000万能试验机进行拉伸试验。试样断裂情况如图9所示,试验结果见表4。

由表4数据可知,修复后的试样抗拉强度高于母材要求值20%、屈服强度高于母材要求值57%,伸长率值也略高于母材对应要求值。由此可见,激光熔覆后试板的力学性能满足相关要求,并且对母材有一定的强化作用,这可能与激光能量集中,加热冷却速度快对晶体有细化作用有关。

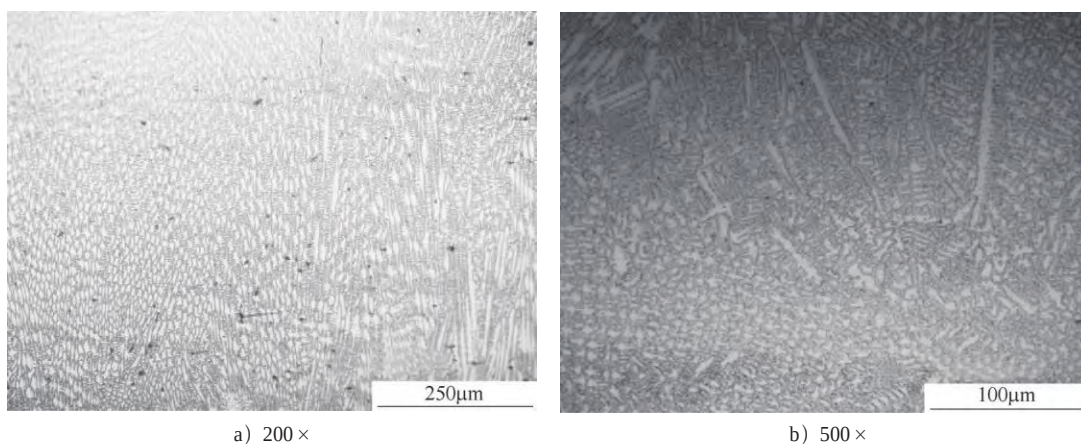


图6 熔覆层金相图

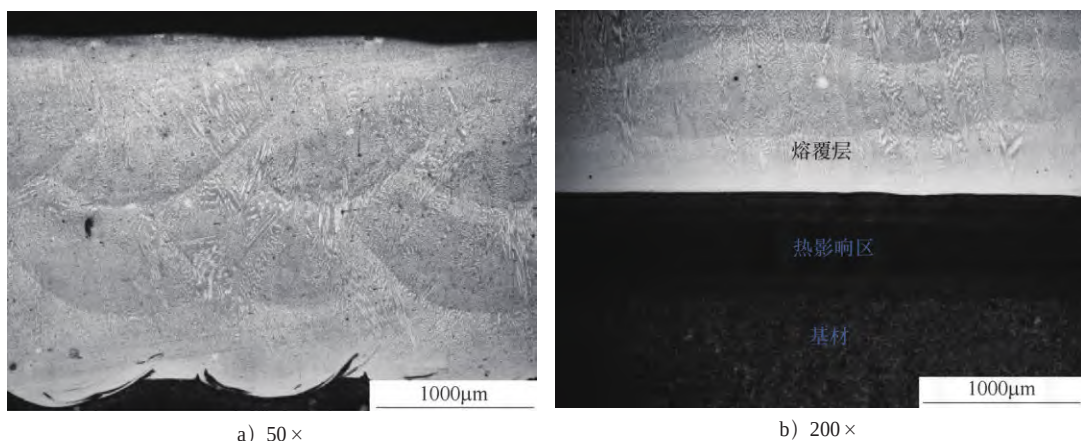


图7 熔合处金相图

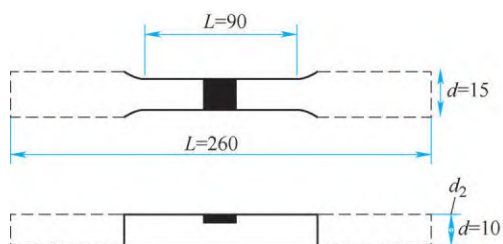


图8 拉伸试验试样



图9 拉伸试样断后情况

表4 拉伸试验结果

试样	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率 (%)
1 [#]	823	698	16.5
2 [#]	808	725	17.0
3 [#]	865	742	18.5

3.4 冲击性能测试

韧性作为轴类工件最重要的性能之一，其直接决定了材料的可用性。为充分验证激光修复轴的可行性，表征激光熔覆修复后试样的韧性，从3个方向测试了熔覆后试件的冲击吸收能量值，如图10所示，每个方向取3个平行试样按照GB/T 40737—2021标准的相关要求测试了其冲击吸收能量，结果见表5。母材冲击性能要求为冲击吸收能量 $\geq 38\text{J}$ ，测试结果显示，修复试板3个方向的冲击吸收能量测试值均高于其60%。修复后的试板，3个方向的冲击性能相似，表明激光熔覆修复后熔覆层各方向的性能比较均衡。其冲击性能满足主轴对母材的相关要求。



图10 冲击示意

表5 冲击测试结果 (J)

试样	正向	侧向	背向
1 [#]	92	76	90
2 [#]	90	74	88
3 [#]	98	72	93
平均	93	74	84

4 结束语

1) 激光熔覆修复后，熔覆层表面平整，无裂纹等缺陷，加工后熔覆层与试板熔合较好，无色差及明显界线。受热传导的影响基体表面热影响区硬度有所增加，熔覆层硬度比母材略高，增强了主轴的耐磨性。

2) 激光熔覆修复后试板的力学性能满足原母材的性能要求，其抗拉强度高于母材要求值20%，屈服强度高57%，正向、侧向、背向冲击吸收能量值分别高145%、95%、120%。

3) 激光熔覆修复再制造技术可以有效恢复主轴腐蚀或磨损局部尺寸超差的问题，避免因此造成的

主轴报废。为进一步探索修复后主轴材质与性能的可靠性，后续可对修复后的部位进行后处理开展相关的研究。

参考文献：

[1] 吴文宁，孙文磊，陆靖，等. 激光熔覆陶瓷颗粒增强高熵合金涂层的研究进展[J]. 应用激光，2024，44 (5) : 38-48.

[2] 都跃良. 激光熔覆修复技术在40Cr轴类零件现场修复中的应用[J]. 金属加工（热加工），2021（6）：37-42.

[3] 孙建宇. 电机用45钢轴激光熔覆修复工艺研究[J]. 防爆电机，2023，58（2）：77-80.

[4] 刘敬，路小江，钟善军. 激光熔覆Fe基金属涂层微观组织与性能研究[J]. 应用激光，2024，44（4）：57-66.

[5] 宋博宇，韩全文，于天硕. 激光增材制造铝合金及其复合材料的研究进展[J]. 焊接技术，2022，51（1）：12-17.

[6] 王凯弘，刘晓英. 激光再制造技术及其应用发展研究[J]. 中国设备工程，2021（1）：195-196.

[7] 尹嵩，陆海峰，潘晨阳，等. 面向轴件应用的激光熔覆修复强化试验研究[J]. 材料保护，2021，54（2）：86-92.

[8] 王浩，简思捷，李洁，等. 激光熔覆技术在船舶修造中的应用研究进展[J]. 金属加工（热加工），2023（12）：11-19.

[9] 崔宸，武美萍，程伟. 激光功率对42CrMo 熔覆Stellite-6涂层耐腐蚀性能的影响[J]. 激光与光电子学进展，2019，56（24）：167-172.

[10] 张德强，牛兴林，李金华，等. 层间停光时间对多层激光熔覆影响实验研究[J]. 机床与液压，2015，43（6）：114-118.

[11] CHENG Y H, CUI R, WANG H Z, et al. Effect of processing parameters of laser on microstructure and properties of cladding 42CrMo steel[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 96 (5/6/7/8) : 1715-1724.

[12] 朱玟旭. 激光熔覆Ni60B涂层裂纹抑制研究[D]. 大连：大连理工大学，2022.

MW 20250129