

汽轮机末级叶片的激光熔覆研究

朱蓓蒂 曾晓雁 胡 项 方宁俐 陶曾毅 张之栋 杨崇铨 王秀明 蔡 徽

(华中理工大学机械工程二系, 武汉 430074)

(北京电力设备总厂, 北京 102401)

提要 采用 2 kW 横流 CO₂ 激光器在汽轮机末级叶片进气边熔覆钴基合金, 以提高其抗水蚀能力。介绍了叶片激光熔覆的工艺、设备及处理结果, 处理成功的叶片已装机运行。结果表明, 激光熔覆技术可在汽轮机末级叶片的生产中推广应用。

关键词 激光熔覆, 汽轮机叶片, 水蚀

1 引 言

汽轮机低压末级动叶片(下统称叶片)工作于湿蒸气区, 蒸气中夹杂的大量水滴在很高的轮周速度及离心力下冲蚀叶片, 使叶片顶部进气边产生水蚀而失效, 叶片抗水蚀能力的高低直接影响到汽轮机的工作效率及安全运行。为提高叶片的抗水蚀能力, 最常用的传统工艺是在叶片进气边水蚀最严重的部位钎焊一层司太立合金片, 但这种方法存在着合金片与基材结合不牢、易早期脱落; 焊层形状与叶形吻合不好以及钎焊质量不稳定等缺点, 因此, 人们一直在寻找一种行之有效的抗水蚀涂层技术。

随着激光技术的发展, 近年来国外已将激光熔覆技术应用于叶片的保护^[1], 国内长春光机所也曾进行过叶片的激光熔覆试验, 但怎样才能具有一定几何型线的叶片进气边获得理想的激光熔覆层却很少报道。本文报告了叶片的激光熔覆工艺、设备及处理结果, 有关激光熔覆层的抗水蚀、抗疲劳性将另文报道。

2 试验方法

2.1 试验叶片及熔覆用粉

选用 2Cr13 马氏体不锈钢叶片进行激光熔覆处理, 该叶片的气道长度 $L = 665$ mm, 钢的化学分见表 1。

Table 1 Chemical composition of the steel 2Cr13

C	Cr	Mn	Si	S	P
0.2	13.06	0.49	0.41	0.006	0.026

激光熔覆前叶片经调质处理,组织为回火索氏体,硬度 $HB=235\sim 250$ 。考虑到失效叶片水蚀严重的部位位于距叶顶 250 mm 以内的进气边,宽度为 15 mm,对照钎焊司太立合金叶片的技术要求,初步确定叶片激光熔覆层尺寸为 $250\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 1.2\text{ mm}$ 。综合考虑合金的工艺性与抗水蚀性能,选用钴基自熔合金粉末作为熔覆用粉。

2.2 叶片激光熔覆加工设备

叶片激光熔覆加工全套设备由 HGL-2 kW CO_2 激光器、微机控制的叶片加工工作台及自动送粉装置三部分组成。图 1 是除 CO_2 激光器以外的加工设备示意图,其中高精度的二坐标联动机床及位于其上的旋转装置构成叶片加工工作台,自动送粉装置的结构可见文献[2]。

通过已编的程序控制机床及旋转装置的运动,使其合成运动的空间轨迹与叶片进气边的型线吻合,保证固定激光束按要求准确地照射在进气边上,同时,启动自动送粉装置,调节喷嘴使粉末射入熔池。

2.3 叶片激光熔覆工艺

采用同步送粉法进行叶片的激光熔覆,其工艺参数为:激光功率 $p=2\text{ kW}$,光斑直径 $D=6\text{ mm}$,扫描速度 $V_s=3.0\sim 8.0\text{ mm/s}$,送粉速率 $V_p=5.0\sim 7.0\text{ g/min}$,搭接率 50%。

为了减少叶片熔覆时的变形并防止开裂,在激光熔覆前进行预热,熔覆后立即高温去应力处理。

在处理的叶片中,抽查了一片叶片的金相组织,并用 Bucher 显微硬度计测定了激光熔覆层的硬度,用样板检查了叶片的变形,用着色探伤法检查了激光熔覆层裂纹,装机运行前在叶轮上进行了静频测定。

3 结果与讨论

3.1 叶片激光熔覆后的宏观形貌

图 2 是激光熔覆处理后叶片的宏观形貌,由图可知,激光熔覆层表面平整光滑,其形状与进气边表面完全吻合,且叶片边缘已被熔覆层较好地包覆。

3.2 激光熔覆层的金相组织

叶片激光熔覆层断面的金相组织由合金层、热影响区及基材三部分组成。由图 3 可以看出,合金层的组织为黑色复杂的共晶化合物包围的富钴的固溶体树枝晶,树枝晶的粗细不均匀且方向较为混乱,搭接区呈现等轴晶组织,合金层与基体的界面上,有明显的白色熔合带,表明合金层与基体已呈良好的冶金结合。临近界面的基体,因含有大量铬元素,其过冷奥氏体稳定性高,在受热影响后极易转变成马氏体组织,在高温去应力处理过程中,析出粒状碳化物,转变成回火索氏体,从图中还可看到明显的残余奥氏体晶界。

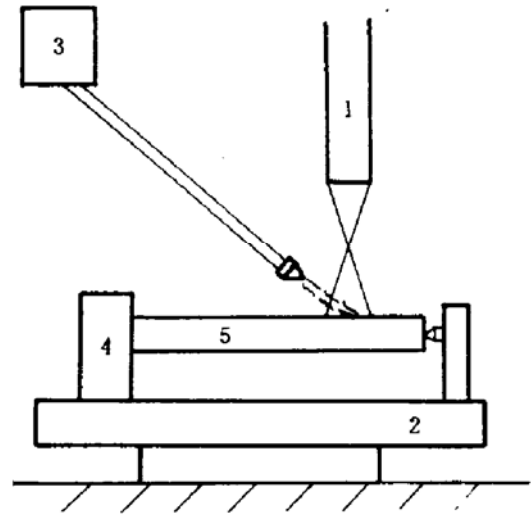


Fig. 1 Schematic diagram of the laser system for processing blades

- 1—Laser beam; 2—Working table with x-y axis motion;
3—Auto-feeding system; 4—Rotation system;
5—Blades to be processed

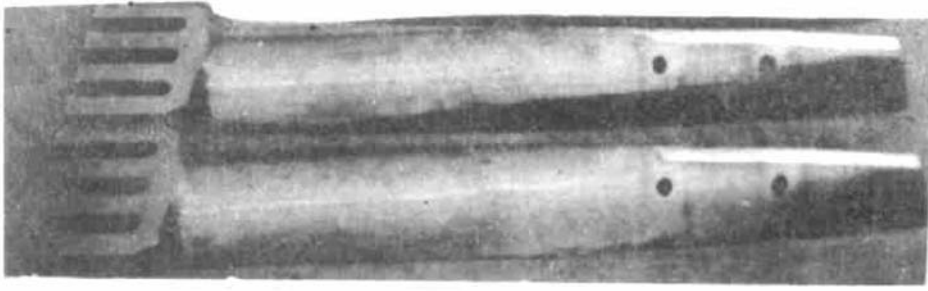


Fig. 2 Macroscopic appearance of the laser clad blades

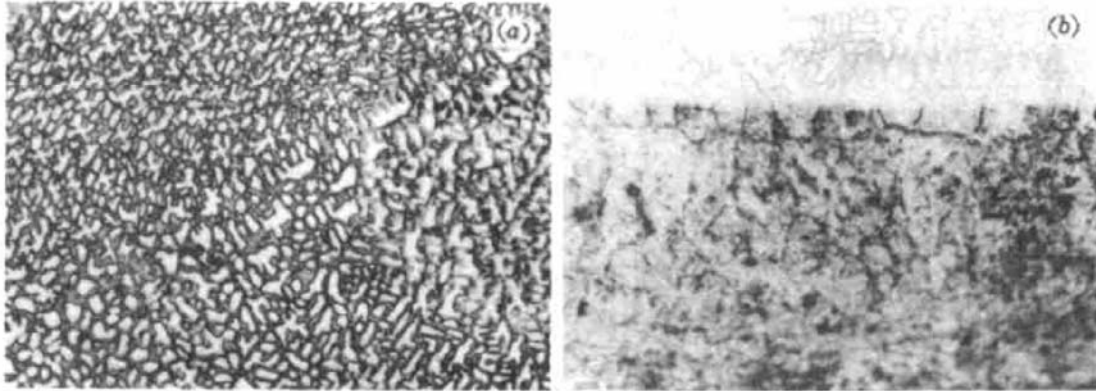


Fig. 3 Metallograph of the clad coating
(a) clad coating, (b) heat affect zone

3.3 激光熔覆层硬度

图 4 是叶片熔覆层宽度方向弯曲表面硬度分布,叶片边缘处熔覆层表面硬度较低,这是因为叶片边缘较薄且所选择的激光扫描速度较慢的缘故。余下宽度方向上硬度分布基本均匀,其值约在 $HV_{0.2} 460$ 左右。比较试样激光熔覆合金层的表面硬度值($HV_{0.2} 540 \sim 560$),叶片熔覆合金层的表面硬度值偏低,说明熔覆过程中合金成分已被稀释。临近界面的基体处,因其组织已转变成回火索氏体,热影响区基本消除,硬度降至 $HV_{0.2} 260 \sim 280$ 。

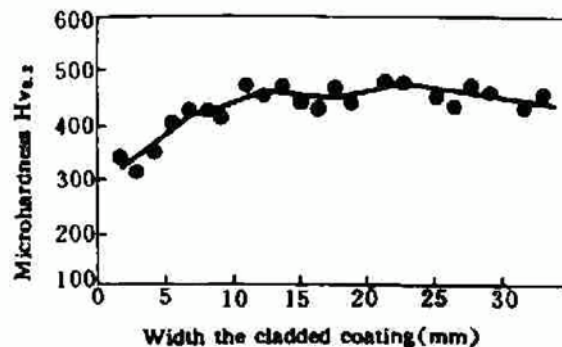


Fig. 4 Microhardness distribution along the width direction of the curved blade

通常在进行多道激光扫描熔覆时,因前道对后道基体的预热作用,后道对前道熔覆层的重熔和重熔作用,各道激光熔覆层的成分、硬度很难均匀一致,特别对于厚度不等的大型工件,其不均匀性更为显著。为此,实验中使激光扫描速度由小到大逐步变化,以调整各道加热和冷却

速度的均匀性,致使硬度趋于均匀。

4 粉末用量及工时

以处理一片叶片为例,原钎焊需司太立合金片 50 g,银焊条 23 g,处理时间 15~20 min,现仅需钴基合金粉末 16~18 g,需时 6~7 min,节约了昂贵的合金,显著地提高了生产率。

以上结果表明,通过正确地设计激光加工设备,优化加工工序及激光熔覆工艺参数,已在叶片进气边获得一定厚度、与叶片型线吻合且均匀平整的熔覆层,并克服了热影响区的影响。处理的叶片经过探伤、变形检查及静频测定均符合验收标准,现已装机运行一年多。实践证明,激光熔覆叶片在技术上是可行的,但科学地确定叶片激光熔覆的技术要求、减小激光熔覆合金层的稀释度、有效地控制叶片热变形和防止裂纹产生仍是叶片激光熔覆技术中有待深入研究的问题。通过进一步工作,激光熔覆技术可望在叶片生产上推广应用,并取得显著的经济与社会效益。

参 考 文 献

- 1 日本,公开特许公报,昭 54-77806, 1979
- 2 曾晓雁等. 中国激光, 1993, 20(3): 210

Laser Cladding of Moving Blades in the Lower Pressure-last Stage of Steam Turbines

Zhu Beidi Zeng Xiaoyan Hu Xiang Fang Ninli Tao Zengyi
(*Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

Zhang Zhidong Yang Chongquang Wang Xiumin Cai Hui
(*Beijing Power Equipment Group, Beijing 102401*)

Abstract To protect the water erosion a cobalt base alloy coating has been cladded on the leading edge of the moving blades in the lower pressure-last stage of steam turbines by a 2 kW CO₂ laser, and the blades have been put into trial operation in a electric power plant. This paper introduces the technology and the equipment on laser cladding processing of blades and discusses the experimental results. The results indicate that it is possible to use the laser cladding technique for production of moving blades.

Key words laser cladding, blades of steam turbine, water erosion