

鼓风机叶片激光熔覆的应用研究*

张松 康煜平 朱荆璞

(沈阳工业大学材料系, 沈阳 110021)

张春华

(沈阳拖拉机厂, 沈阳 110026)

谭朝鑫

(沈阳鼓风机厂, 沈阳 110023)

摘要 结合电站用鼓风机叶片的失效分析,提出了在叶片表面激光熔覆镍基 WC 合金的工艺方法。结果表明,采用激光功率密度为 $3.5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$,作用时间为 0.06 s 的辐照工艺,获得了与基体呈冶金结合,组织致密均匀,具有高硬度、高耐磨性和优异的抗酸性介质腐蚀性能的熔覆合金层,实际生产检验表明,激光熔覆叶片的性能明显优于未经熔覆的 15MnV 钢叶片。

关键词 叶片,激光熔覆,合金涂层

1 引言

随着我国现代化工业的不断发展,各行各业对电力的需求日益增加,电站用煤粉鼓风机、排烟通风机等产品不断向大型化、高速化的方向发展,鼓风机零部件工作的条件日趋恶劣。风机在使用过程中所暴露的一个突出问题就是叶片的使用寿命较短。风机叶片的失效均是从表面开始的,因此从风机的安全运行和提高生产效益这一亟待解决的问题出发,提高材料的表面性能至关重要。传统的补救叶片磨损的措施多采用焊接同种材料的叶片衬板、火焰喷焊和镶嵌 Al_2O_3 陶瓷衬片的方法,但效果不佳。火焰喷焊层常常存在结合强度低,有气孔、组织不致密、成分不均匀、叶片变形大等问题;而镶嵌陶瓷衬片,由于衬片与叶片基体结合不够牢固,在风机高速旋转时易于脱落,难以适应风机高速旋转的工作条件^[1,2]。本文结合以往的研究工作,将激光熔覆技术应用于鼓风机叶片表面的强化,取得了较好的应用效果。

2 试验方法

2.1 基材、耐磨自熔合金成分及激光处理工艺

基材为 15MnV。选用合金粉末的化学成分为(wt-%):Cr16; Si4.5; B3.5; Fe1.5; C0.8; WC35,其余为 Ni。利用 SPH-4/n 型中压金属粉末喷焊炬将合金粉末均匀地喷涂到基材表面,然后采用连续波 CO_2 激光器进行熔覆处理,其功率密度为 $3.5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$,作用时间为 0.06

* 中国科学院金属腐蚀与防护国家重点实验室基金课题。

收稿日期: 1994年7月25日; 收到修改稿日期: 1994年11月4日

s, 熔覆后采用时效处理。

2.2 测试方法

利用光学金相显微镜、透射电子显微镜、能谱仪、扫描电子显微镜研究熔覆层的组织形态, 覆层与基体的结合及进行磨损形貌分析, 利用显微硬度计、磨损试验机、恒电位仪等设备研究熔覆层的硬度、耐磨性和耐蚀性, 并将采用激光熔覆技术处理的 15MnV 钢叶片应用于实际生产以进行寿命考核。

3 试验结果及分析

3.1 激光熔覆获得具有冶金结合的合金层

控制激光束的功率密度和作用时间, 使喷涂合金重熔, 基材表面微熔, 而后激冷, 可获得涂层合金与基材呈冶金结合的合金覆层, 图 1 为 15MnV 钢激光热作用各区的金相组织, 图 2 为同种耐磨合金粉末材料的火焰喷焊层金相组织, 对比图 1, 图 2, 我们发现激光束的热作用彻底改变了涂层合金材料中 WC 的原始块状形态, 激光熔覆层组织致密均匀, 与基材结合良好, 这是由激光熔覆的工艺特点所决定的^[3]。试验表明, 当熔覆层与基体结合良好时, 互熔区均为一条白亮结合带, 当激光束扫描速度较高时, 结合带与基材交界平直, 而靠近熔覆层的一侧有许多细小的针齿状相垂直于白亮结合带的表面, 表 1 为白亮熔合带与基体交界处〔如图 1 (b) 中箭头 A 所示位置〕能谱半定量分析元素分布情况, 说明在熔合过渡区近基体处元素发生了互扩散。

Table 1 Mutual diffusion of elements in the boundary region between the white belt and substrate

Elements	Ni	Cr	Si	W	Mn	Fe
Weight percentage (wt-%)	5.88	2.86	1.12	1.82	1.36	86.96

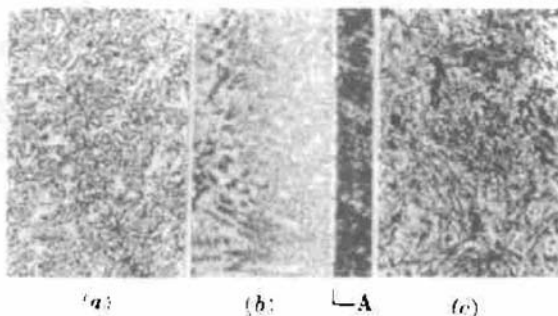


Fig. 1 Microstructure of different areas affected by laser
(a) laser clad layer area; (b) transition area; (c) heat effected area ($\times 280$)



Fig. 2 Microstructure of a spray welding layer of Ni based-WC alloy on 15MnV steel ($\times 360$)

大量的实验研究结果表明, 对于同一种涂层材料和同一厚度的预置合金涂层, 熔覆后结合带的宽度随激光束输入能量的增加而增大, 而结合带的生长形态既取决于熔覆工艺参数, 同时又与熔覆过程中涂层合金液相的停留时间及随后的冷却速度有关。我们认为, 在保证良好的冶金结合的前提下, 互熔结合带的宽度越窄越好, 以便保持涂层材料原有的优异性能, 否则, 基体

中的铁向熔覆层中扩散过多,所形成的互熔区过宽,涂层合金被“稀释”,则涂层合金原有的耐磨、耐蚀性能将降低。只有在基材发生微熔的激光参数下,最终的熔覆合金成分才真正接近于预置耐磨自熔合金材料的成分。

3.2 熔覆合金层的相变

在本试验所选择的激光处理参数条件下,涂层合金在百分之几秒内即被加热到熔点以上很高的温度,而由于范围极小的局部高温熔融区与冷的可视为半无限大的 15MnV 钢基体之间存在极大温差,造成极大的过冷度和极高的凝固速度,从而使偏离共晶成分的涂层合金在极大的过冷度作用下,进入共晶温度以下的协进生长区进行结晶,使激光熔覆合金层的共晶组织的体积分数增大,如图 1(a) 所示。

合金熔覆层 X 射线分析表明,涂层是由 γ -Ni, $M_{23}(CB)_6$, CrB, Ni_3B , Cr_2B 和 WC 等相组成,透射电镜分析表明,涂层中还含有少量的 Cr_7C_3 相,如图 3 所示。我们认为 γ -Ni, $M_{23}(CB)_6$, Ni_3B , CrB 相是涂层合金中多元共晶的主要组成相, $M_{23}(CB)_6$ 中的 M 包括 Cr, W 等元素,可能的化学式为 $Cr_{21}W_2(CB)_6$, WC, Cr_2B 及少量的 Cr_7C_3 独立存在。

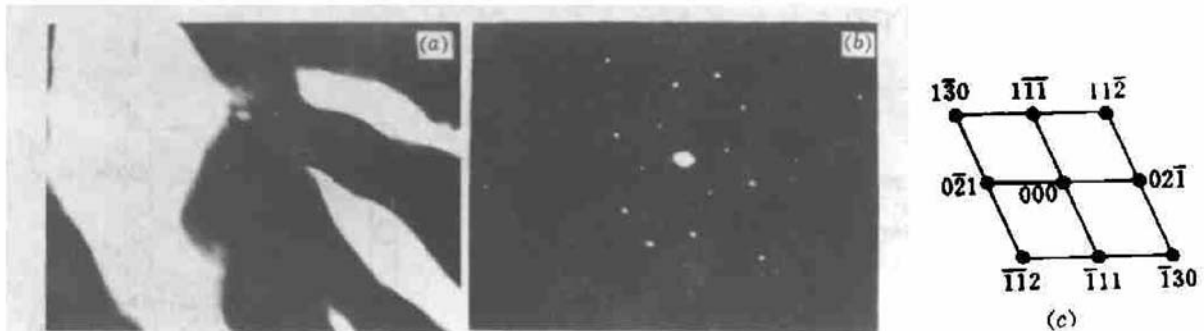


Fig. 3 TEM micrograph of Cr_7C_3 precipitates

(a) bright field ($\times 80000$); (b) electron diffractron pattern ($\times 44000$); (c) calibration of the election diffractron pattern

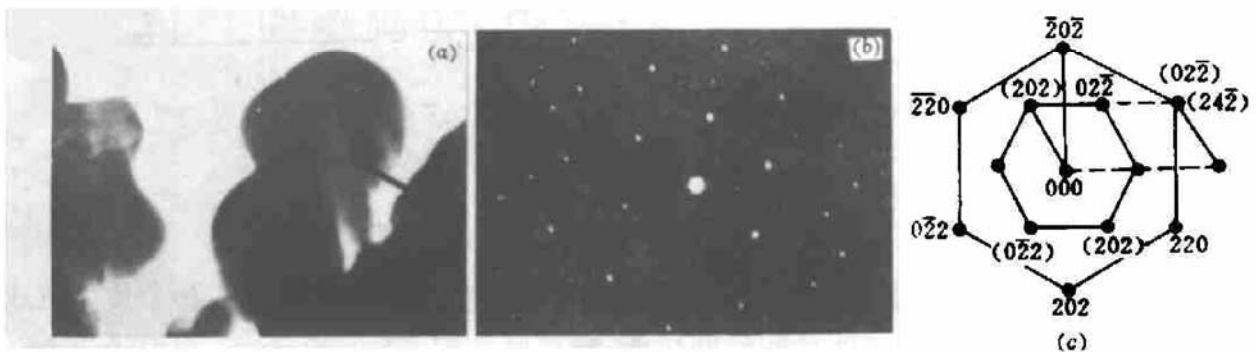


Fig. 4 TEM micrograph of $M_{23}(CB)_6$ precipitates

(a) bright field ($\times 80000$); (b) electron diffractron pattern ($\times 80000$); (c) calibration of the election diffractron pattern

在激光熔覆过程中,涂层合金中 WC 相形态的变化和数量的减少,以及 $M_{23}(CB)_6$, Cr_7C_3 等新相的形成是值得研究的问题。我们认为,在 Ni 基 WC 自熔合金中,碳化物的稳定性按 $M_{23}C_6$, M_7C_3 , MC 顺序递减。WC 在涂层合金中是最不稳定的碳化物相,在激光加热时发生部分熔化分解,从而使剩余 WC 数量大大减少,并且失去了大块角状的特征,而变得细小圆滑。在某些情况下, Cr_7C_3 和 WC 也可能因为蜕化反应而减少,并生成更稳定的 $M_{23}(CB)_6$ 型复合碳化物。透射电镜分析结果表明(图 4 所示),在后续 $550\text{ }^\circ\text{C} \times 1.5\text{ h}$ 时效处理过程中,从 γ -Ni 中析出的 $M_{23}(CB)_6$ 相与母相保持共格,其取向关系为

$$\begin{aligned} [24\bar{2}]_{M_{23}(CB)_6} // [02\bar{2}]_{\gamma-Ni} \\ [\bar{1}11]_{M_{23}(CB)_6} // [\bar{1}11]_{\gamma-Ni} \end{aligned}$$

由此可知, $M_{23}(CB)_6$ 是靠消耗 WC 而形成的新相,它既可由液相合金中直接析出形成,又可在后续时效过程中从过饱和的 γ -Ni 固溶体中析出,而从 γ -Ni 中析出的 $M_{23}(CB)_6$ 与基体保持共格。

3.3 熔覆合金层的性能

3.3.1 激光熔覆层的硬度

图 5 为激光热作用及基体的硬度值变化曲线,最外层由于合金元素的烧损,硬度值偏低,而次外熔覆层的高硬度主要是共晶合金组织中的 $M_{23}(CB)_6$, Ni_3B , CrB 以及独立存在的 WC, Cr_2B 和 Cr_7C_3 等合金化合物都起着第二相强化作用,从而大大提高了熔覆层的硬度。热影响区附近出现一个小的硬度峰,这是基体热影响区发生马氏体相变所致,这一硬度值高于 15MnV 钢正常淬火条件下的硬度,这主要是由于合金元素扩散到基体中,增加了马氏体相变的固溶强化作用,而且热影响区的马氏体是在高度受拘状态下形成的,这种不寻常的相变可导致转变相的硬度高于正常淬火状态下马氏体的硬度^[4]。

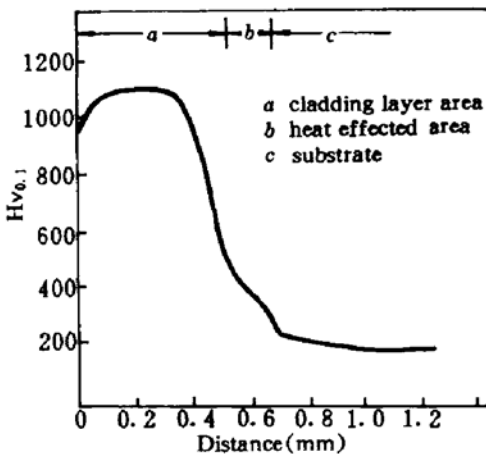


Fig. 5 The curve of hardness distribution in the area affected by laser

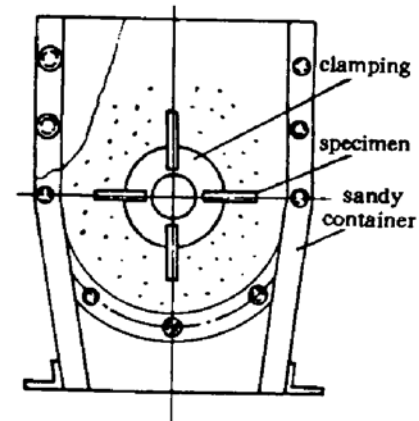


Fig. 6 Apparatus of wear testing

3.3.2 熔覆层的耐磨性

风机叶片的失效分析表明,叶片失效主要是由于煤粉及其中所含的矿物杂质所造成的磨料磨损。为测定激光熔覆层叶片的耐磨性能,模拟叶片的实际工作条件,我们采用 $\phi 2.03 \sim 2.66$ mm 的精洗石英砂作磨料进行磨粒磨损试验,图 6 为磨损试验机工作原理图,试样尺寸为 $15 \times 50 \times 6$ mm³,熔覆面积为 15×50 mm²,安装试片角度为 30° ,主轴转速为 200r/min,磨料每小时更换一次。由图 7 磨损试验曲线可看出,经激光熔覆处理后,材料的耐磨性提高 3 倍以上。

3.3.3 熔覆层的耐蚀性

根据风机叶片的实际运行条件分析,在煤粉中常有含硫矿物杂质存在,腐蚀叶片表面。为测定激光熔覆层的抗蚀性能,我们在 0.1 当量浓度 H_2SO_4 介质中测定了两种材料的阳极极化曲线,如图 8 所示。可以看出,激光熔覆涂层的钝化电位和临界钝化电流密度均很小,且具有较宽的钝化区范围和较小的钝化区电流密度,表明激光熔覆层容易钝化,腐蚀速度小,在酸性

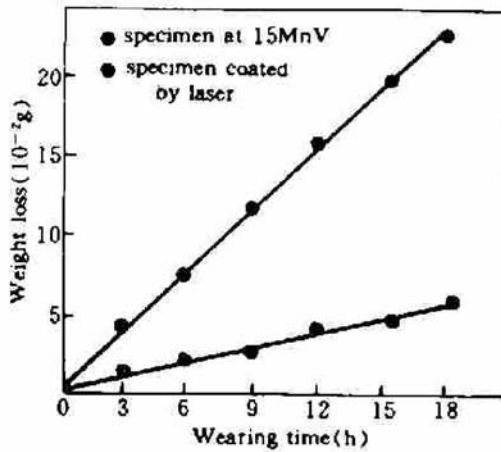
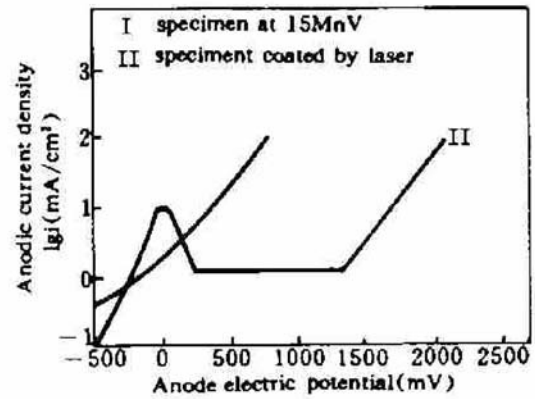


Fig. 7 The curve of time dependent on wear

Fig. 8 Anodic I - V curves of laser-cladded sample and substrate in 0.1N H_2SO_4 solution

介质中具有良好的抗腐蚀性能。

3.4 应用

经激光熔覆的叶片安装在煤粉鼓风机上经电厂实际运行考验,原 15MnV 钢叶片运行总时间为 800 h,而经激光熔覆处理的叶片运行总时间不低于 3200 h,寿命提高了 3 倍以上,图 9 为两种叶片运行 300 h 的扫描电镜观察结果。从图 9 可以看出,未经激光熔覆的基材叶片表面产生较多的波浪式沟槽,经激光熔覆的叶片表面,由于硬质相分布较弥散,强化作用显著,磨损沟槽较浅,表面呈现一定的光泽。试验中我们发现,在激光熔覆整体叶片时,叶片的边缘应全部被熔覆合金覆盖,否则在使用过程中会由于叶片边缘的早期磨损,导致叶片的使用寿命降低。

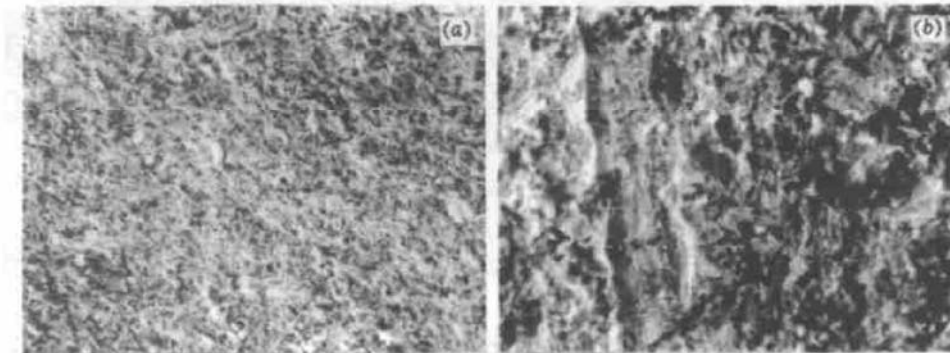


Fig. 9 SEM micrograph of different samples after 300 h of wearing
(a) Ni-Cr-B-Si+WC laser clad on steel 15MnV, (b) steel 15MnV

参 考 文 献

- 1 张 松,张春华,朱荆璞. 激光熔覆钴基合金高温腐蚀的试验研究. 沈阳工业大学学报, 1990, 12(1): 27~33
- 2 Zhang Song, Wang Maocai, Yan Yonggen. Effect of Yttrium on Microstructure and Hot Corrosion Performance of Laser Clad Co-Based Alloy. *J. of Rare Earths*, 1993, 11(4): 278~283
- 3 朱荆璞. 金属表面强化技术. 北京: 机械工业出版社, 1989. 175
- 4 刘云旭. 金属热处理原理. 北京: 机械工业出版社, 1981. 71

Application of Laser Cladding to Air-blower Vane

Zhang Song Kang Yuping Zhu Jingpu

(Shenyang Polytechnic University, Shenyang 110021)

Tan Chaoxin

(Shenyang Air-Blower Factory, Shenyang 110026)

Zhang Chanhua

(Shenyang Tractor Plant, Shenyang 110023)

Abstract Ni-Cr-B-Si+WC alloys were coated on the surface of the air-blower vanes by laser cladding at $3.5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ power density and 0.06 s time-period. The bonding area between alloy and matrix shows metallurgical combination. The laser clad compact and even structural coating possesses great hardness and high resistance to abrasion and corrosion of acids. It has been tested in practice that the properties of vanes with laser clad coating are remarkably better than those of vanes of the steel 15MnV.

Key words vane, laser cladding, alloy coating

'95 中国光学学术年会在北京召开

由中国光学学会主办的'95 中国光学学会学术年会于 1995 年 4 月 10 日至 15 日在北京理工大学召开。这是我国光学界自 1985 年在上海召开的大型光学年会后的又一次盛会。

这次会议自 1994 年 8 月开始征稿,至同年 11 月 20 日共收到论文 738 篇,经北京、上海两地 40 余位专家评审后,共录取宣讲报告 240 篇,张贴报告 190 篇,特邀报告 17 篇。特邀报告的全文(或部分提要)已在《激光与光电子学进展》杂志第 4 期上刊登,该刊还以增刊形式刊载了全部录用论文的摘要。

来自全国有关研究所、高等院校、工厂、部队等的 240 多名代表参加了本次会议。干福熹、周炳琨、邓锡铭、金国藩院士在大会上作了有关光盘存储、光电子器件、惯性约束聚变用的固体激光驱动器、二元光学与特殊波面变换等专题的特邀报告,另有 13 个特邀报告和约 180 篇口头报告在 6 个分会场上进行了宣讲,内容涉及激光科学和技术、工程光学、光学材料和光学元件、红外物理学和技术、光学仪器、颜色光学、纤维光学、集成光学与通讯、光谱学与光谱技术、医用光学与生物学、薄膜光学与技术、全息术与光学信息处理、基础光学等领域,另有 36 篇文章在会上进行了张贴交流。由北京光学仪器厂、上海安普光电有限公司、上海光机所及大恒公司、北京四维测绘技术总公司、山东大学晶体材料所等 15 个单位参加的“'95 中国光、机、电产品展览会”也与年会同期举行。

会议期间,还召开了中国光学学会理事会议,总结了理事会的工作,并对明年的学术活动等进行了安排。

(周稳观)