

灰铸铁激光熔覆铁基和镍基粉末的比较 *

李宝灵¹, 刘旭红¹, 温宗胤², 冯树强¹

(1. 广西工学院 机械工程系, 广西 柳州 545006; 2. 广西交通职业技术学院 汽车系, 南宁 530023)

摘 要: 采用高功率横流 CO₂ 激光器, 以铁基和镍基合金粉末为熔覆材料, 用同步送粉法在灰铸铁基体材料上进行激光熔覆试验, 并对熔覆层组织和性能进行比较分析。结果表明, 激光熔覆镍基时覆层内的组织较铁基合金熔覆层组织均匀细致; 熔覆镍基和铁基粉末合金层与基体结合紧密成冶金结合; 结合区的组织晶粒细小, 合金碳化物含量高, 其硬度也最高。用正交试验法分析激光功率、扫描速度、熔覆层数对熔覆效果、表面硬度的影响规律, 获得激光熔覆层表面硬度显著提高; 对表面硬度影响最大的因素是扫描速度, 其次是激光功率, 熔覆层数则影响不大。熔覆 Fe35 合金粉末综合优化参数为扫描速度 300 mm/min、激光功率 4.0 kW、熔覆二层。熔覆 Ni20A 合金粉末优化参数为扫描速度 400 mm/min、激光功率 4.0 kW。

关键词: 灰铸铁; 激光熔覆; 铁基合金; 镍基合金

中图分类号: TG174.44

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2012)04-0089-05

Comparisons Between Ni-based and Fe-based Alloy Powder on Gray Cast Iron by Laser Cladding

LI Bao-ling¹, LIU Xu-hong¹, WEN Zong-yin², FENG Shu-qiang¹

(1. Department of Mechanical Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, Guangxi;

2. Department of Automobile, Guangxi Communication Professional and Technical College, Nanning 530023)

Abstract: A laser cladding experiment was carried on gray cast iron with a high power transverse CO₂ laser based on synchronous powder feeding method by utilizing Ni-based and Fe-based alloy powder as cladding materials. By comparing the laser cladding layer structures and properties, Ni-based powder was found to produces finer cladding layer than the Fe-based powder. The metallurgical bonding can be formed by combining the Ni-based and Fe-based alloy layers and the bland steel with fine grains and high carbon alloy in the combining zone. An orthogonal experiment was used to analyze the effects of laser power, scan rate and the number of cladding layers on cladding results. The hardness of the cladding layer is notably influenced by the scan rate. The laser power produces the secondary large effect, and the cladding layers produce slight effects. The scan rate of 300 mm/min and laser power of 4.0 kW can be adopted for optimizing the laser cladding Fe35 alloy powder, and scan rate of the 400 mm/min and laser power of 4.0 kW can be chosen for the Ni20A alloy powder.

Key words: gray cast iron; laser cladding; Fe-based alloy; Ni-based alloy

0 引 言

激光熔覆是一种以大功率激光为热源, 以合金粉末为熔覆材料, 在金属基体表面制备与基体呈冶金结合的涂层制备技术, 是一种先进实用的修复强化技术, 与堆焊、热喷涂、电镀等传统表面

处理技术相比, 具有熔覆层厚度大、冷却速度快、热影响区小、微观组织细小、基体变形小、与基体成冶金结合等特点。

目前国内已成功地对石化、电力、冶金等行业的贵重零部件进行修复加工, 如利用激光熔覆

收稿日期: 2012-02-22; 修回日期: 2012-07-06; 基金项目: * 广西区自然科学基金(0481026)

作者简介: 李宝灵(1962-), 女(壮), 广西靖西人, 副教授, 硕士; 研究方向: 机械制造

网络出版日期: 2012-07-06 08:38; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120706.0838.001.html>

引文格式: 李宝灵, 刘旭红, 温宗胤, 等. 灰铸铁激光熔覆铁基和镍基粉末的比较 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(4): 89-93.

技术对轧辊、叶片、模具等零件进行表面修复。可以利用廉价材料来提高工件表面的耐磨性等,取得了十分显著的经济和社会效益。国内外常用的合金粉末可分为镍基、钴基和铁基三大类,另外还有 WC 型合金粉末,其中镍基和钴基合金粉末的自熔性良好,耐腐蚀、耐磨、抗氧化性能优良。铁基粉末最大的优点是成本低,但抗氧化性差,熔层内气孔夹杂较多,目前应用较少。

大型机械零部件中,灰铸铁材料占有很大的比例,由于灰铸铁自身性能的限制,传统的修复技术很难对铸铁零件进行修复。激光合金粉末熔覆技术提供了解决这一难题的新途径。文中对灰铸铁表面激光熔覆铁基和镍基合金粉末后熔覆层的微观组织特性及性能进行分析。Ni 具有很好的抗裂纹能力,通过对铁基和镍基激光熔覆的对比,促进价格低廉的铁基粉末能得到广泛的应用。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

基体材料为 HT300 板料,300 mm×30 mm×10 mm,上下两面刨光(R_a 为 0.6 μm),熔覆试验前,试样用丙酮清洗干净吹干。熔覆的合金粉末为铁基和镍基,化学成分如表 1。

表 1 合金粉末的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical constituents of alloy powder ($w/\%$)

Element	C	Cr	Si	B	Ni	Fe
Ni20A	<0.1	<0.5	1.8-3.0	0.9-1.5	Bal.	<6.0
Fe35	0.15-0.75	3.0-6.0	2.5-7.5	1.3-2.0	10-25	Bal.

1.2 试验方法

用 DL-HL-TH500 型高功率横流 CO 激光器和 SIMENS 数控系统进行熔覆试验;采用矩形光斑(1.5×19),送粉速度为 25 mg/s,用同步送粉法进行激光熔覆试验,基体材料在熔覆前不进行预热处理。以激光功率(范围在 3.5~4.5 kW 之间),扫描速度 V (在 200~400 mm/min),熔覆层数(为 1~3 层) 3 个参数作正交试验 $L_9(3^3)$ 。

试验结束后,用便携氏硬度计测量表面硬度,用 XQ-2 型金相镶嵌机制备试样。用 P-2 型金相试验抛光机进行试样的抛光,经 3% 硝酸酒精腐蚀后,使用金相显微镜观察金相组织。对显

微组织形态和成分变化,微观缺陷等进行观察、分析。在显微硬度计上测量硬度值。

2 结果与分析

2.1 显微组织分析

图 1 是 HT300 熔覆 Fe35 合金粉末的显微组织。1(a)是激光熔覆后的,从图中可以看出熔覆层合金组织由碳化物相和基体针状马氏体组成,1(b)为 HT300 基体与合金的结合处组织,由细小晶粒和碳化物组成;因为结合处冷却速度最快,所以晶粒细小,形成碳化物高。基体与合金结合紧密,它们之间相互渗透形成冶金结合。

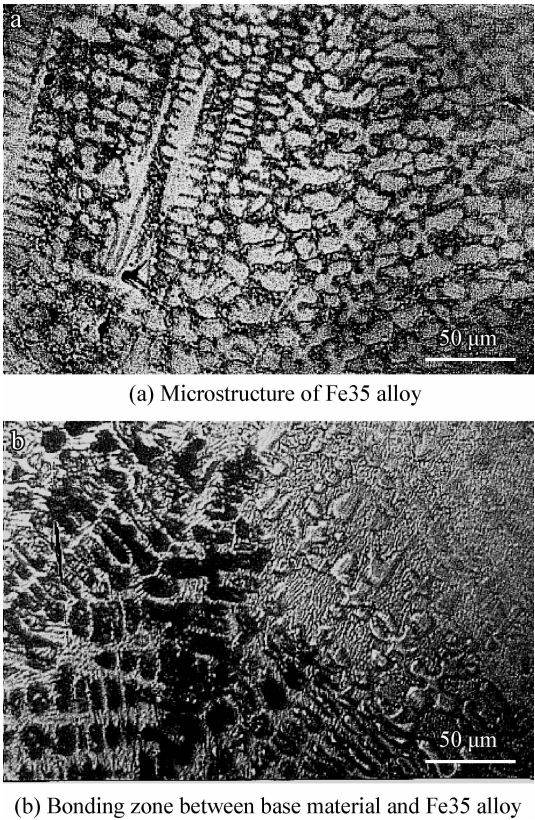
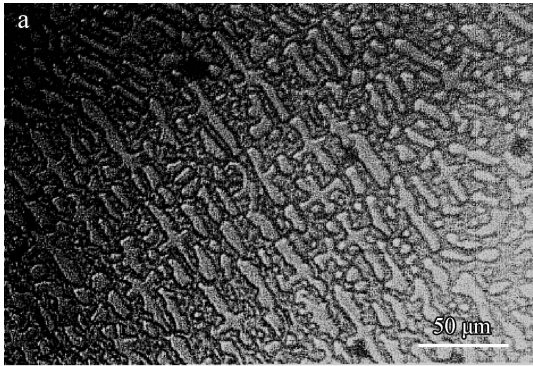


图 1 铁基熔覆层显微组织

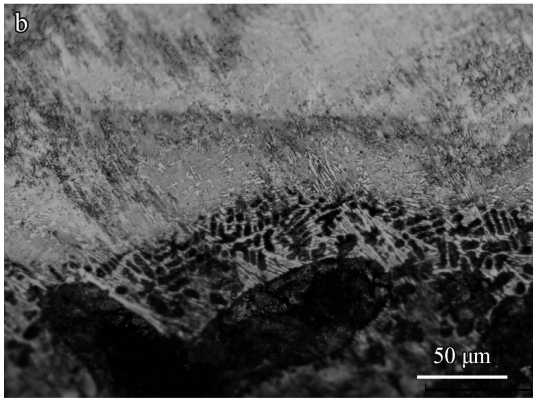
Fig. 1 Microscopic structure of Fe-based cladding layer

图 2 是 HT300 熔覆镍基合金粉末的各显微组织,其中 2(a)是镍基合金的显微组织,图中网状分布的是碳化物相,基体为针状马氏体+残余奥氏体。从图中看出,镍基合金层组织比铁基合金层组织均匀且更加致密。2(b)是 HT300 与 Ni20A 合金粉末结合区的显微组织,由细小晶粒和合金碳化物组成,基体与合金结合紧密形成冶金结合。因为 HT300 本身的含碳量较高,在激

光熔覆时,与粉末中的合金元素形成合金碳化物,且合金与基体结合处的冷却速度快,所以形成晶粒细小。



(a) Microstructure of Ni20A alloy



(b) Bonding zone between HT300 and Ni20A

图 2 镍基熔覆层显微组织

Fig. 2 Microscopic structure of Ni-based cladding layer

HT300 激光熔覆后的显微组织观察,基体与合金结合区都有气孔和裂纹存在,合金层内没有发现气孔存在,经过实际生产使用发现特别是第二、第三层鲜有气孔出现。认为是因为熔覆所用的功率较高,激光扫描速度又较慢,在合金层内的气体有时间从合金层跑掉,则不在合金凝固后留下气孔缺陷。由于镍基合金优良的热加工性能,Ni 具有提高熔覆层的抗裂纹能力,Ni 基合金熔覆层没有发现裂纹现象,但在有些地方,因暂时粉末流动性差而导致熔覆层中间不正常高出。随激光功率的增加,高出的地方部分有氧化现象。整体效果比较好。

激光熔覆后表面观察看到,在 HT300 上激光熔覆 Ni20A 合金粉末表面质量较好,表面无明显缺陷。熔覆 Fe35 合金粉末表面质量较差,熔覆层表面均有裂纹,还带有大小不一的凹坑。

2.2 硬度试验结果与分析

(1) 表面硬度及影响因素分析

表 2、表 3 是激光熔覆铁基和镍基粉末的正交试验结果与极差分析,其中 HT300 的基体硬度为 27.6 HRC。

从表 2、表 3 中看出合金层表面硬度较基体硬度高,从表中还可看出,3 个因素对合金层表面硬度的影响从高到低依次为:扫描速度(V)>激光功率(N)>熔覆层数;熔覆层数对合金层表面硬度影响不大,主要影响熔覆层深度。

表 2 HT300 熔覆 Fe35 合金结果

Table 2 Results of cladding on HT300 by Fe35

No.	Power /kW	Scan rate/ (mm • min ⁻¹)	Cladding layers	Surface hardness	Depth of cladding
				Y ₁ /HRC	Y ₂ /mm
1	3.5	200	3	31.6	1.22
2	4.0	200	1	36.1	0.35
3	4.5	200	2	32.8	0.83
4	3.5	300	1	34.7	0.54
5	4.0	300	2	42.3	1.00
6	4.5	300	3	36.4	1.24
7	3.5	400	2	37.4	0.72
8	4.0	400	3	37.5	1.12
9	4.5	400	1	50.0	0.24
K1	103.70	100.50	120.80		
K2	115.90	113.40	112.50		
K3	119.20	124.90	105.50		
Y ₁	K1'	34.57	33.50	40.27	
	K2'	38.63	37.80	37.50	
	K3'	39.73	41.63	35.17	
	R	5.16	8.13	5.10	
K1	2.48	2.40	1.13		
K2	2.47	2.78	2.55		
K3	2.31	2.08	3.58		
Y ₂	K1'	0.83	0.80	0.38	
	K2'	0.82	0.93	0.85	
	K3'	0.77	0.69	1.19	
	R	0.06	0.24	0.81	

表 3 HT300 熔覆 Ni20A 合金结果

Table 3 Results of cladding on HT300 by Ni20A

No.	power / kw	Scan rate/(mm • min ⁻¹)	Cladding layers	Surface hardness Y ₁ /HRC	Depth of cladding layer Y ₂ /mm
1	3.5	200	3	39.8	2.13
2	4.0	200	1	38.6	0.86
3	4.5	200	2	37.2	1.82
4	3.5	300	2	38.6	1.22
5	4.0	300	3	42.0	2.33
6	4.5	300	1	41.4	1.03
7	3.5	400	1	38.7	0.88
8	4.0	400	2	44.9	1.00
9	4.5	400	3	44.0	1.39
K1	117.10	115.60	118.70		
K2	125.50	122.00	120.70		
K3	122.60	127.60	125.80		
Y ₁	K1'	39.03	38.53	39.57	
	K2'	41.83	40.67	40.23	
	K3'	40.87	42.53	41.93	
	R	2.80	4.00	2.36	
Y ₂	K1	4.23	4.81	2.77	
	K2	4.19	4.58	4.04	
	K3	4.24	3.27	5.85	
	K1'	1.41	1.60	0.92	
	K2'	1.40	1.53	1.35	
	K3'	1.41	1.09	1.95	
	R	0.01	0.51	1.03	

从表 2 看出,激光功率越高,扫描速度越快,则得到的熔覆层表面硬度越高。综合考虑熔覆层深度的情况,激光熔覆 Fe35 合金粉末时,激光功率 4.0 kW、扫描速度 300 mm/min、熔覆二层的效果较好。从表 3 看出,激光熔覆 Ni20A 合金粉末的优化参数为 V3N2 三层,即扫描速度 400 mm/min、激光功率 4.0 kW、具体熔覆二层还是三层,视需要熔覆的熔覆层深度定。

(2)显微硬度分析

从前期对钢和球铁的熔覆试验中得出的最

佳激光功率均为 4 kW,但在实际应用时在 3.4~3.5 kW 较好,因此选功率为 3.5 kW 进行分析。

图 3 是激光功率为 P=3.5 kW 时,在 HT300 上熔覆 Fe35 合金粉末熔覆层的显微硬度曲线。图 4 是激光功率为 P=3.5 kW 时,HT300 上熔覆 Ni20A 合金粉末熔覆层的显微硬度曲线。从图中看出,熔覆层数对熔覆层内的硬度分布有一定影响。不管熔覆两层还是三层它的整体硬度有所下降。这是因为在熔覆第二或第三层时,使得前一层的合金又重熔一次,使得组织重排,硬度下降。

基体与合金层结合区的硬度最高,因为结合区晶粒细小,合金碳化物多,再高温熔化,有淬火的作用,所以此处硬度高。

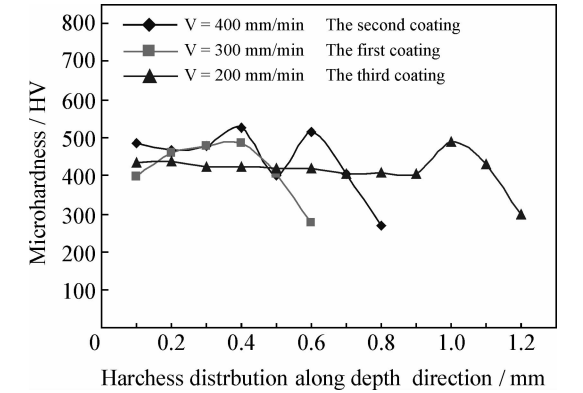


图 3 Fe35 合金粉末熔覆层硬度曲线图
Fig. 3 HV curves of the laser cladding layers with Fe35 alloy power

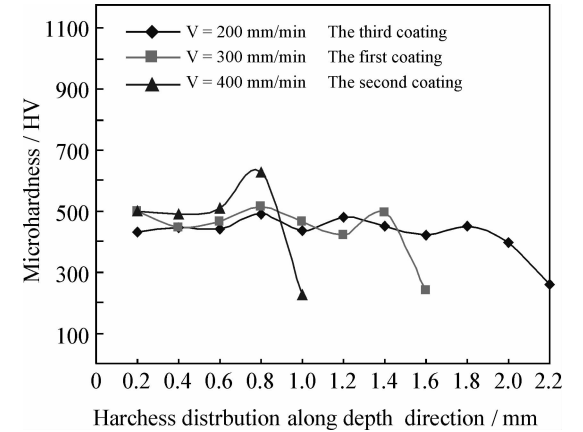


图 4 Ni20A 合金粉末熔覆层硬度曲线
Fig. 4 HV curves of the laser cladding layers with Ni20A alloy powder

3 结 论

(1) 从显微组织分析得出,激光熔覆镍基合金层的组织较熔覆铁基合金层组织均匀细致,两种粉末熔覆时均是基体与合金层结合区的组织晶粒最细小,碳化物和合金碳化物含量高。合金层与基体结合紧密形成冶金结合。结合区有气孔、裂纹存在,合金层特别是第二、三层鲜有气孔出现。

(2) 从显微硬度分析得出,激光熔覆铁基和镍基合金粉末,显微硬度分布规律基本一致,且基体与合金层结合区的硬度最高。

(3) 在 HT300 上激光熔覆铁基合金粉末, 表面均有裂纹; 熔覆镍基合金粉末时, 效果较好, 合金层表面无裂纹。

(4) 正交试验分析得出,对熔覆层表面硬度影响最大的因素是扫描速度 V ,其次是激光功率 N ,熔覆层数对表面硬度影响不大。激光熔覆铁基粉末时,扫描速度 300 mm/min 、激光功率 4.0 kW 、熔覆两层的熔覆层效果较好。激光熔覆镍基粉末时,扫描速度 400 mm/min 、激光功率 4.0 kW 效果较好、具体熔覆二层还是三层,视需要来定。

(5) 激光熔覆修复时,应注意大面积激光熔覆时后道熔覆层的加工对前道熔覆层组织及基体热影响区组织的影响;搭接部分对整个熔覆层的质量影响规律;在多层叠加的激光熔覆中,熔

覆层组织粗大问题等,这些都有待进一步讨论。

参考文献

- [1] 葛亚琼, 王文先. 不同激光功率下镁合金表面激光熔覆 Ni60 合金涂层的显微组织和磨损性能 [J]. 中国表面工程, 2012, (1): 45-50.
- [2] 董世运, 马运哲, 徐滨士, 等. 激光熔覆材料研究现状 [J]. 材料导报, 2006, 20 (6): 5-10.
- [3] 李宝灵, 刘旭红, 冯树强, 等. 铁基合金粉末激光熔覆的显微硬度分析 [J]. 应用激光, 2008, 28(4): 271-273.
- [4] 董晓焕, 张振宇, 李琼玮, 等. 工艺参数对高速电弧喷涂 Al1/Cr13 复合涂层组织结构的影响 [J]. 中国表面工程, 2012, (1): 65-70.
- [5] 李宝灵, 温宗胤, 刘旭红, 等. 激光熔覆技术应用于轴类零件表面修复的实验研究 [J]. 应用激光, 2007, 27 (4): 290-294.
- [6] 于有生, 倪火炬, 温家伶. 铁基合金激光熔覆的研究 [J]. 中国表面工程, 2004, (4): 24-27
- [7] 吕志军, 贺文雄, 赵健, 等. Ti-Al 球磨粉反应等离子喷涂工艺 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(2): 56-62.
- [8] 高中庸. 涂油降噪理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社 2009: 176-182.
- [9] 李宝灵, 温宗胤, 冯树强, 等. 球墨铸铁激光熔覆镍基合金的研究与应用 [J]. 激光杂志, 2012, 33(3): 35-36.

作者地址: 广西柳州市东环路 268 号 545006
广西工学院机械系
Tel: (0772) 2687 202
E-mail: libl62@126.com

• 本刊理事单位介绍 •

上海僖舜莱机电设备制造有限公司

上海僖舜莱机电设备制造有限公司专业从事辊类堆焊修复和预保护工作,以及喷涂、纳米刷镀等表面处理工作,生产过程节能环保,广泛服务于钢铁冶金、水泥、电力等行业,产品修复后使用寿命比新品提高数倍。在钢铁行业,主要针对对冷热支承轧辊、工作辊、矫直辊、连铸辊、开坯辊、型钢辊等数十种轧辊进行修复。在水泥行业,开展对辊压机挤压辊的修复,修复后使用寿命达 8 000 h 以上,同时对立磨辊/盘瓦、耐磨板均可实现在线、离线堆焊修复。在电力行业,主要对煤磨辊/盘瓦进行修复。针对实际工作条件,可采用不同的耐磨药芯焊丝及硬面堆焊修复工艺。公司不仅对耐磨、耐腐蚀、耐高温、耐冲击等方面产品堆焊修复,其喷涂还广泛应用于防腐领域。公司同全军装备维修表面工程研究中心开展技术合作,成立“材料表面工程示范应用基地”。