

CO₂ 气体保护药芯焊丝喷粉-堆焊层组织及其耐磨性 *

马 臣¹, 马春力^{1,2}, 李慕勤¹, 王正兴¹, 孙昭藩¹

(1. 佳木斯大学 教育部金属耐磨材料及表面技术工程研究中心, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 华能鹤岗发电有限公司, 黑龙江 鹤岗 154109)

摘 要: 采用 CO₂ 气体保护焊方法, 使用高铬铸铁药芯焊丝, 喷射优化设计的 Cr-Ti-Mn-B 系粉体形成耐磨堆焊层。利用 XRD 及金相显微镜分析堆焊层组织结构, 并测定堆焊层的硬度和磨损性能。结果表明: 与单纯高铬铸铁芯堆焊层相比, 喷射粉体后堆焊层的洛氏硬度 HRC 增加, 当 Mn 铁、Cr 铁、B 铁、Ti 铁质量分数比为 4.3 : 52.2 : 3.9 : 39.6 时, 堆焊层硬度和耐磨性最高。喷射粉体堆焊层以马氏体为主, 并有 (Cr, Fe)₇C₃, FeMn₂ 等相产生, 从而提高堆焊层硬度和耐磨性。

关键词: CO₂ 气体保护焊; 喷射送粉; 复合堆焊; 耐磨性

中图分类号: TG115.58; TG455 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2012)02-0115-05

Microstructure and Wear Resistance of Surfacing Layer Shielded by CO₂ with Spraying Powder

MA Chen¹, MA Chun-li^{1,2}, LI Mu-qin¹, WANG Zheng-xing¹, SUN Zhao-fan¹

(1. Metal Wear Resistance and Surface Technology Engineering Research Center of Ministry of Education, Jiamusi Universtiy, Jiamusi Heilongjiang 154007; 2. Huaneng Power Co. Ltd of Hegang, Hegang Heilongjiang 154109)

Abstract: Surfacing welding layer composed of spraying optimized Cr-Ti-Mn-B powder was fabricated by CO₂ shielded welding with high ferrochrome flux-cored wire. The structure was characterized by XRD and metallographic microscope. The hardness and wear resistance of surfacing welding layer were tested. The results indicates that HRC of the surfacing welding layer with the powder increases compared with that of single surfacing layer welded by high ferrochrome flux-cored wire. The hardness and wear resistance of the sample composed with the powder of 52.2% Cr, 39.6% Ti, 4.3% Mn and 3.9% B is the best. The main microstructure of the surfacing welding layer powder is martensite, with (Cr, Fe)₇C₃ and FeMn₂ phases detected, which enhance the hardness and wear resistance of surfacing welding layer.

Key words: CO₂ shielded welding; spraying powder; composite surfacing welding; wear resistance

0 引 言

磨损是材料的主要失效形式之一, 它严重影响着机械产品的性能质量和使用寿命, 也造成了巨大的经济损失。堆焊技术由于工艺简单, 生产效率高, 性能可控, 与基体结合强度高特点, 在很多磨损工况条件下作为主要强化方法^[1-3]。随着高磨粒磨损需求的不断发展, 在原有堆焊技术

上, 不断派生出各种复合堆焊新技术, 如埋弧堆焊^[4-5]、药芯焊丝 CO₂ 气保护堆焊等, 显著提高了工件表面耐磨性^[6-7]。CO₂ 焊接技术因具有高效、低耗、低成本等特点在生产中得到广泛应用^[8-9]。CO₂ 气体保护焊堆耐磨层研究现主要集中在耐磨焊丝和工艺设计^[10-16]。采用喷射送粉的复合方法的研究报道很少^[17-18]。文中拟采用

收稿日期: 2012-01-05; 修回日期: 2012-03-22; 基金项目: * 教育部金属耐磨材料及表面技术研究中心基金(E100001)

作者简介: 马臣(1955—), 男(汉), 黑龙江绥化人, 教授; 研究方向: 金属材料的表面改性

网络出版日期: 2012-03-29 18:43; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120329.1843.001.html>

引文格式: 马臣, 马春力, 李慕勤, 等. CO₂ 气体保护药芯焊丝喷粉-堆焊层组织及其耐磨性 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(2): 115-119.

堆焊药芯焊丝,辅以高速粉末束流,采用 CO₂ 电弧堆焊,利用堆焊药芯与高速粉末束流填充,在电弧作用下熔化,并发生冶金反应,获得超硬磨损堆焊层,进一步提高堆焊层得耐磨性。

1 试验材料及方法

采用 Q235 钢板作为基体材料,堆焊试样尺寸为 35 mm×120 mm×8 mm。堆焊用药芯焊丝为高铬铸铁药芯焊丝,直径 Φ 1.6 mm,由北京工业大学提供,其成分见表 1。

表 1 高铬铸铁药芯焊丝化学成分(质量分数/%)
Table 1 Chemical composition of high chromiumcast iron flux-cored wire (w / %)

Elment	C	Mn	Cr	Fe
w %	3~6	2.0	50~60	Bal.

选用铬铁、钛铁、硼铁、锰铁为粉体原料,采用优化设计的成分,其配比及试样编号见表 2,通过机械球磨 1 h 混粉,粉体粒度范围尺寸 150 ~ 100 μm,单独堆焊高铬铸铁药芯焊丝试样编号为 0 号,其它添充粉体的试样编号为 1 号~5 号。

表 2 试验选用的合金粉体及配比(质量分数%)
Table 2 Alloy powder and its proportion (w / %)

Sample number	Alloy powders			
	Mn-Fe	Cr-Fe	B-Fe	Ti-Fe
1	5.7	56.7	1.6	36.0
2	8.1	64.7	5.2	22.0
3	4.3	52.2	3.9	39.6
4	4.8	48.2	3.1	43.9
5	6.2	49.2	5.5	39.1

采用 CO₂ 气体保护焊机为唐山松下 KR II 350 CO₂/MAG。喷射送粉装置采用自动送粉机,将送粉管装卡在 CO₂ 气体保护焊枪外侧,送粉喷嘴与 CO₂ 气体保护焊枪成 60°,粉体喷射到熔池中心,利用自行设计的自动行走小车,对工件表面进行自动堆焊。堆焊工艺参数为送粉 CO₂ 气流量为 3 L/min,焊接电流为 160 A,焊接电压为 24 V,焊接速度为 90 mm/min,摆支宽度 20 mm,喷射送粉量为 15 g/min。

采用洛氏硬度对已打磨好堆焊层测定 5 点

HRC,取其平均值。用显微硬度计(HXS-1002K)测试堆焊层截面的显微硬度,加载载荷 200 g。采用 ML-100 型的磨粒磨损机进行磨损实验失重量测定,试件尺寸 8 mm×8 mm×18 mm,对磨件为 124 μm(120 目)石英砂砂布,固定转数 240 圈,转速 1 rad/s,磨损行程 70 mm,加载正压力 31 N。经预磨后,用万分之一天平测定磨损前后试样重量变化,得出试样的失重率,评定试样的耐磨性。利用倒置金相显微镜(O-LYMPUS GX71)进行堆焊层试样的金相显微分析。通过 D8 ADVANCE 型 XRD 试验机分析堆焊层的相组成,使用 Cu 靶,波长 1.5407×10⁻¹⁰ m,步长 0.02,扫速 0.03 步/s,电压 40 kV,电流 40 mA。

2 试验结果及讨论

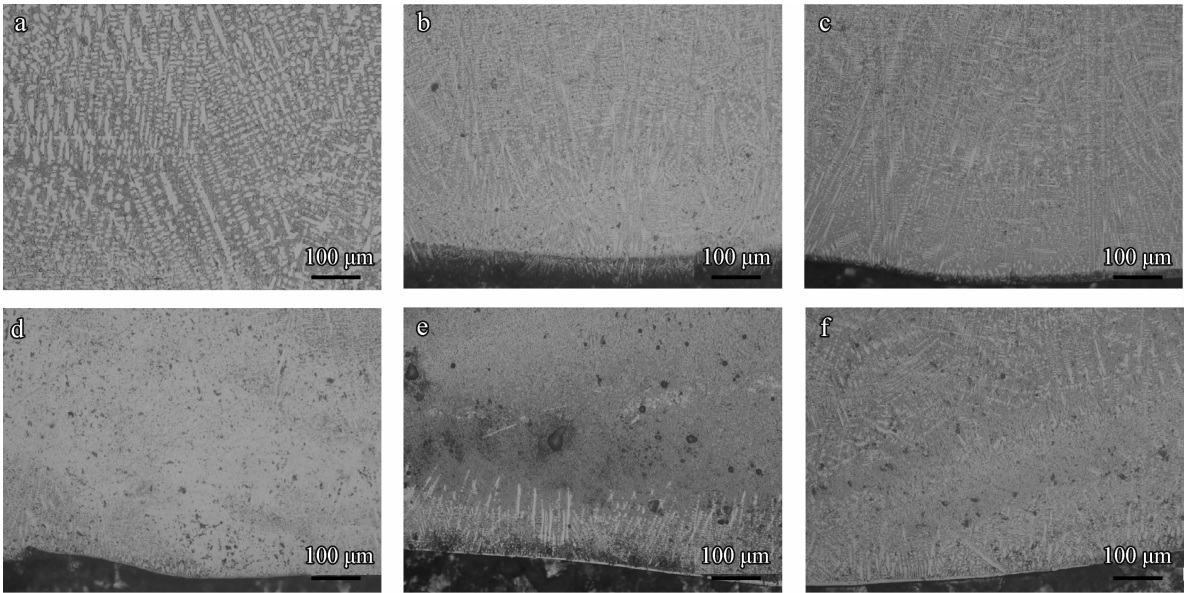
2.1 堆焊层金相组织

药芯焊丝堆焊层及加入 5 种合金粉的堆焊层金相组织低倍观察整体焊缝形貌见图 1。堆焊层与母材料形成异质材料焊接,堆焊层与母材界面清晰。0 号试样低倍可见明显树枝晶,1~5 号试样由于堆焊层含的 Cr、B、Mn、Ti 等合金元素,在金相试样腐蚀中,耐蚀性高于母材,使得界面深浅颜色差异大,晶粒尺寸较 0 号试样细小,说明合金元素进入堆焊层,并细化晶粒尺寸。1 号、3 号、4 号、5 号试样均有未熔的颗粒状物质,见图 1(b)、图 1(d)、图 1(e)。图 1(e)焊缝深浅颜色有一定差异,说明成分均匀性较差,其它组焊缝颜色均一,说明成分均匀。

堆焊层表面高倍金相观察见图 2。0 号试样堆焊层金相组织主要是马氏体,并析出碳化物枝晶,见图 2(a)。喷涂复合粉体后,堆焊层 Cr、Mn、Ti、B 等合金元素一是部分固溶到基体组织中,使堆焊层显微硬度增加;二是部分形成碳化物、金属间化合物;三是部分作为晶核质点,增加生核质点,细化晶粒,使焊缝产生大量等轴晶。由于焊接加热速度和冷却速度快,形成不平衡马氏体组织,并有大量碳化物和硼化物产生,见图 2(b)~(f)。1 号试样堆焊层主干枝晶为成长丰满,并长出二次横枝,并有未熔细小颗粒,见图 2(b),该粉体含锰量较高,硼量较低,钛处于中间状态,不能抑制主干枝晶和二次横枝的生长。2 号试样金相组织细小,堆焊层个别主干枝晶长的细长,伸出二次横枝较短,见图 2(c),该喷涂粉

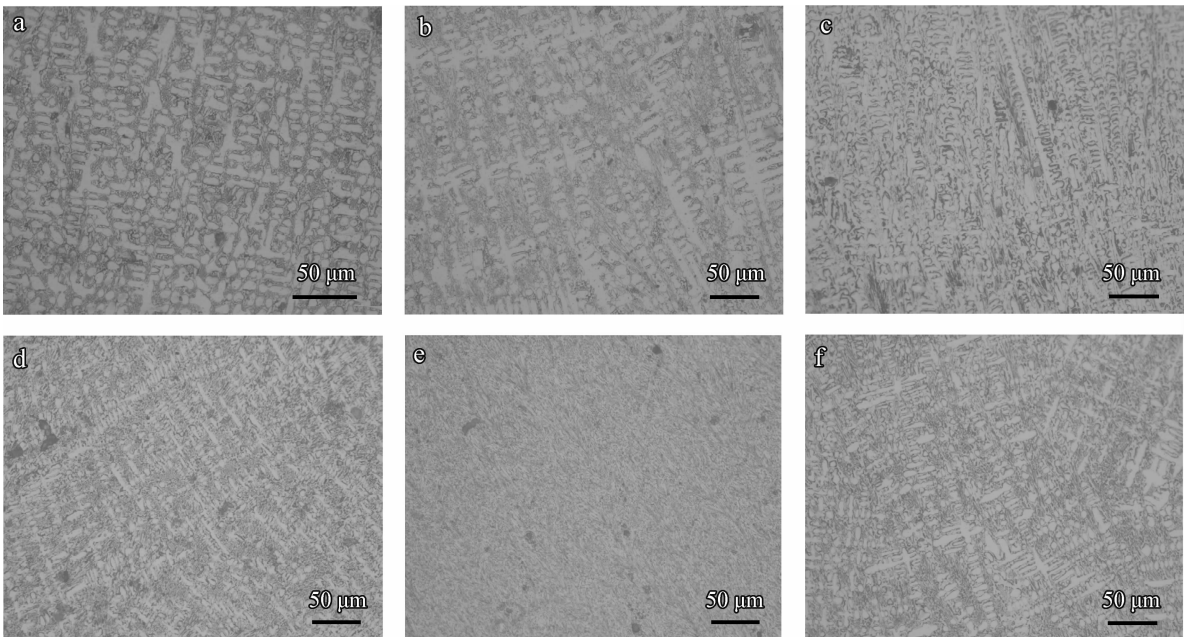
体钛、硼含量低,不能抑制主晶枝干生长,铬、锰含量较高,铬碳化物较多。3 号试样堆焊层表面以细小等轴晶为主体,见图 2(d),该喷涂粉体硼、钛含量较高,细化晶粒,利于等轴晶生长,结合显微硬度测定结果,该区显微硬度值最高,说明是

碳化物和硼化物相析出的结果。4 号试样堆焊层表面晶粒细小,并伴有未熔颗粒,该粉钛铁含量最高,硼铁次之,钛和硼共同作用以细化晶粒为主,见图 2(e)。5 号试样堆焊层金相组织与 3 号试样大致相当,主干枝晶较大于 3 号试样,见图 2(f)。



(a) Sample 0 (b) Sample 1 (c) Sample 2 (d) Sample 3 (e) Sample 4 (f) Sample 5

图 1 堆焊缝底部金相显微组织
Fig. 1 Microstructure of the bottom welding layer



(a) Sample 0 (b) Sample 1 (c) Sample 2 (d) Sample 3 (e) Sample 4 (f) Sample 5

图 2 堆焊缝顶部金相显微组织
Fig. 2 Microstructure of the surface welding layer

2.2 堆焊层相组成

对 5 组复合合金粉堆焊层进行相分析,并与药芯不加粉组相对比,其结果见图 3。

0 号堆焊层其相结构主要 Fe 中固溶了碳和铬,形成了 Fe_7C_3 、 Cr_3C_2 等碳化物,见图 3(a)。详细分析 3 号试样 XRD 见图 3(b),锰加入主要是固溶强化,铬铁的加入不但起到固溶强化作用,形成 $(\text{Cr},\text{Fe})_7\text{C}_3$ 主相,与 1~5 号相组成相似。

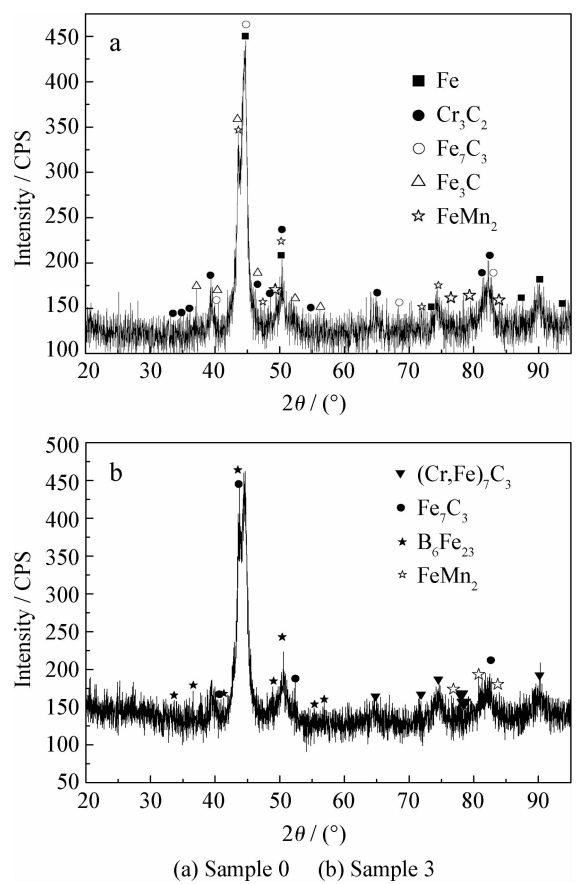


图 3 堆焊层组堆焊层相组成

Fig. 3 XRD of the surfacing welding layer of samples

2.3 堆焊层洛氏硬度

单纯用高铬铸铁药芯堆焊为对比对象,通过优化设计 5 种复合粉末与高铬铸铁药芯复合堆焊,其堆焊层洛氏硬度测定结果见图 4。单纯高铬铸铁药芯焊丝的焊层硬度(55.3 HRC),喷射粉体后堆焊层硬度变化范围 56.3~62.3 HRC,说明喷射粉体后堆焊层硬度有所提高,其中硬度最高的是 3 号,较不加粉时硬度提高了 12.7%。

2.4 堆焊层显微硬度

堆焊层显微硬度测定结果见图 5。其变化趋

势从母材到焊缝测得的显微硬度渐增大,界面处硬度值提升有突变,由焊缝底部到焊缝表面,显微硬度略有不同。研究发现显微硬度的大小与合金粉体中硼铁的加入量有关,当硼铁含量多时,显微硬度随之提高。显微硬度的变化不仅与堆焊层合金成分有关,还有组织不同显微硬度也不同。硬度比较高的主要是形成碳化物、金属间化合物及硼化物。另外,合金粉体的加入,合金固溶强化增加,因此,不论是整体堆焊层洛氏硬度还是显微硬度均得到提高。

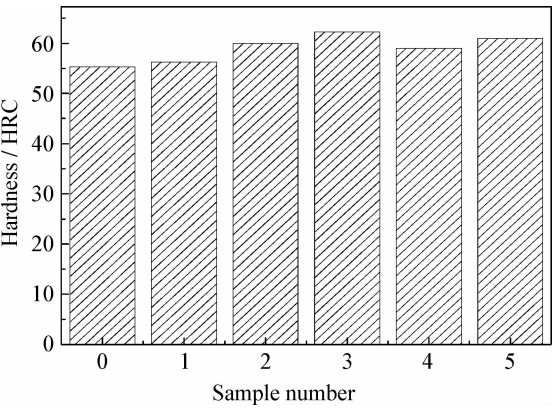


图 4 堆焊层 HRC 测试结果

Fig. 4 HRC of the surfacing welding layer

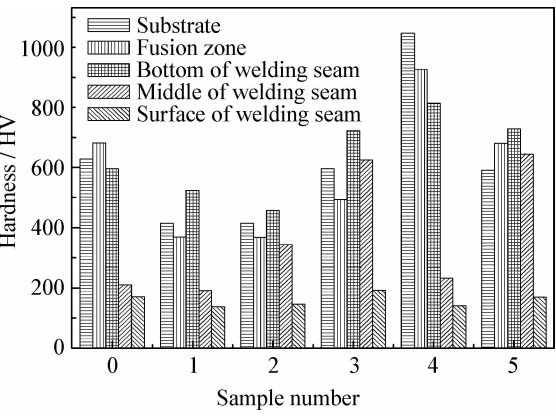


图 5 堆焊层显微硬度测试结果

Fig. 5 Microhadness of the surfacing welding layer

2.5 堆焊层耐磨性

堆焊层的磨损失重量见图 6。3 号堆焊所得焊缝磨损在实验中平均失重率最小,说明耐磨性较好,其次失重率是 5 号,耐磨性次之,0 号失重率最大,相对耐磨性较差。其失重率与堆焊层表面 HBC 值相对比分析,有对应关系。说明失重率小,HRC 较高,耐磨性最好。

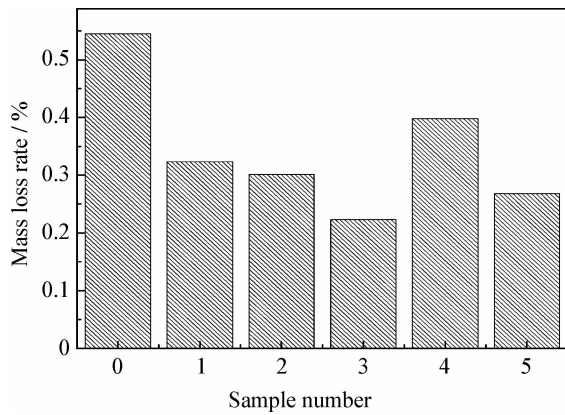


图 6 堆焊层耐磨失重率

Fig. 6 Mass loss rate of the wear resistance layer

3 结 论

(1) 喷射粉体堆焊层以马氏体为主, 并有 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$, FeMn_2 等相产生。

(2) 喷射合金粉体配比影响堆焊层组织状态。当硼铁与钛铁含量较高时, 主干枝晶消失, 晶粒细化明显。

(3) 不同的合金粉体的添加, 有效的改善了堆焊层的硬度与耐磨性。当 Mn 铁、Cr 铁、B 铁、Ti 铁质量配比为 4.3 : 52.2 : 3.9 : 39.6 时, 堆焊层硬度和耐磨性最高。

参考文献

- [1] 王娟. 表面堆焊与热喷涂技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 徐滨士. 表面工程与维修 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [3] 王新洪, 邹增大, 曲仕尧. 表面熔融凝固强化技术-热喷涂与堆焊技术 [M]. 化学工业出版社, 北京, 2005.
- [4] 常云龙, 梅强, 张伟, 等. 低频磁场对轧辊埋弧堆焊组织及性能的影响 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(6): 98-103.
- [5] 张心保. E347L 不锈钢焊带设计生产及其埋弧堆焊层性能 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(6): 92-97.
- [6] 李国栋, 栗卓新, 李红, 等. 高硬度 CO₂ 气保护堆焊药芯焊丝的研制及其耐磨性能研究 [J]. 中国表面工程, 2009, 22(6): 64-67.
- [7] 钟华. 一种金属粉芯型 CO₂ 气体保护堆焊药芯焊丝的研制 [J]. 湖南电力, 2003, 23(4): 15-16.
- [8] 肖春林, 张翼鹏. CO₂ 气体保护焊的特点及基本工作原理 [J]. 科技信息(科教前沿), 2008(8): 41.
- [9] 张贵锋, 张建勋, 王士元. CO₂ 焊接工艺研究与工程应用进展 [J]. 电焊机, 2004, 34(3): 1-3.
- [10] Wang X H, Zou Z D, Qu S Y, et al. Microstructure and wear properties of Fe-based hardfacing coating reinforced by TiC particles [J]. Materials Processing Technology, 2005, 168: 89-94.
- [11] Wang X H, Han F, Qu S Y, et al. Microstructure of the Fe-based hardfacing layers reinforced by TiC-VC-Mo₂C particles [J]. Surface & Coatings Technology, 2008, 202: 1502-1509.
- [12] Wang X H, Han F, Liu X M, et al. Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings [J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 489: 193-200.
- [13] Yang K, Yu S F, Li Y B, et al. Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy [J]. Applied Surface Science, 2008, 254 (16): 5023-5027.
- [14] 王清宝. Fe-Cr-C 高碳耐磨堆焊合金的研究 [D]. 北京: 工业大学, 2003.
- [15] Kim J H, Na K S, Kim G G, et al. The effects of Mn and B on the cavitation erosion resistance of austenitic Fe-base hardfacing alloys [J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 477: 204-207.
- [16] Wang X H, Han F, Liu X M, et al. Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy [J]. Wear, 2008, 265: 583-589.
- [17] 袁凯峰, 尹柯, 王军, 等. CO₂ 焊/喷射高碳铬铁合金粉复合堆焊层耐磨性 [J]. 焊接学报, 2011, 32(8): 25-29.
- [18] 袁玉兰. 气-粉混合保护焊技术的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2006.

作者地址: 黑龙江佳木斯市向阳区学府路 148 号 154007

Tel: (0454) 8618 701

E-mail: jmsdxlimuqin@163.com