

● 表面改性技术 ●

碳弧堆焊原位合成颗粒增强 Fe-05 合金涂层的组织、硬度及耐磨性研究

隋新坤, 尹桂丽, 罗佐刚, 李宗朋

(辽宁工业大学 材料科学与工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要:采用碳弧堆焊技术,通过改变堆焊电流,在 16Mn 基材表面堆焊 Fe-05 合金粉块,制备具有原位生成增强相的铁基合金涂层。分析不同堆焊电流对堆焊层显微组织、硬度和耐磨性的影响。结果表明,涂层主要由基体 α -(Fe, Cr) 固溶体和原位合成的 $(\text{Fe, Cr})_7\text{C}_3$ 、 Cr_{23}C_6 、 Cr_7C_3 、 Fe_2B 、 Fe_3B 及 CrFeB 等硬质相组成。从堆焊表面到基材,显微硬度总体呈下降趋势,随着堆焊电流的增加,涂层的显微硬度明显增高。涂层耐磨性随堆焊电流的增加呈先上升后下降的趋势,堆焊电流为 250 A 时的涂层耐磨性最高,堆焊电流为 270 A 时的涂层耐磨性最低。

关键词:碳弧堆焊;原位合成;显微组织;耐磨性

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.20191675

中图分类号: TG174.44; TG444*.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2020)20-0080-04

Study on Microstructure, Hardness and Wear Resistance of In-situ Synthetic Particle Reinforced Fe-05 Alloy Coating by Carbon Arc Surfacing

SUI Xinkun, YIN Guili, LUO Zuogang, LI Zongpeng

(School of Materials Science and Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

Abstract: The iron-based alloy coating with in-situ reinforced phase was prepared by surfacing Fe-05 alloy powder on the surface of 16Mn substrate by carbon arc surfacing technology and changing the surfacing current. The effects of different surfacing current on the microstructure, hardness and wear resistance of surfacing layer were analyzed. The results show that, the coating is mainly composed of α -(Fe, Cr) solid solution matrix and in-situ synthesis $(\text{Fe, Cr})_7\text{C}_3$, Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Fe_2B , Fe_3B and CrFeB hard phase. From overlaying surface to substrate, the microhardness is generally decreasing. With the increase of surfacing current, the microhardness of the coating increases obviously. The wear resistance of the coating decreases with the increase of the surfacing current, and the wear resistance of the coating is the highest when the surfacing current is 250 A, and the wear resistance of the coating is the lowest when the surfacing current is 270 A.

Key words: carbon arc surfacing; in-situ synthesis; microstructure; wear resistance

激光熔覆、堆焊、等离子熔覆、热喷涂以及钨极氩弧熔覆等是常用的表面强化技术^[1-3]。利用各种表面强化技术在零件表面熔覆一层合金材料,可以使零部件恢复原有形状尺寸,或使零部件表面具有优异的耐磨、耐蚀及耐高温氧化等特殊性能。其中,碳弧堆焊因具有操作技术容易掌握、可达性强以及能够产生保护作用的 CO_2 气体等优点而被广泛用于 Fe-Cr-C、Fe-Cr-C-Mo 及 Fe-Cr-C-Mo-B 等铁基合金系统的堆

焊中,从而在价格低廉的材料表面堆焊原位合成颗粒增强铁基涂层^[4-8]。这在提高材料表面的耐磨性、延长零件的使用寿命、降低零件的制造成本、节约材料等各方面具有重要的经济意义。本文利用碳弧堆焊技术在 16Mn 钢表面堆焊 Fe-05 合金粉块,制备具有原位合成颗粒增强相的高耐磨铁基合金涂层,从优化碳弧堆焊工艺参数出发,研究不同工艺参数下涂层的组织和耐磨性,为工程应用提供有价值的参考。

1 试验材料与方法

试验选用 16Mn 钢板作为基体材料,主要化学成分(质量分数,%)为 0.18C, 1.39Mn, 0.22Si, $\leq 0.03\text{S}$, $\leq 0.03\text{P}$, 余量为 Fe。基板尺寸为 100mm×60mm×10mm,使用前用角磨机和砂纸打磨光亮,并用

收稿日期:2019-05-28

基金项目:辽宁省自然科学基金联合基金项目(20170540432)

作者简介:隋新坤(1997-),男,辽宁东港人,本科,研究方向:焊接技术与工程;电话:18841635417;E-mail:1538236902@qq.com

通讯作者:尹桂丽(1973-),女,内蒙古赤峰人,副教授,硕士,主要从事材料焊接及表面改性研究;电话:18841606618;E-mail:yinguili@163.com

丙醇清洗干净。试验所用的堆焊材料是 Fe-05 合金粉块(尺寸为 90mm×30mm×3mm),其化学成分(质量分数,%)为 5~6.5C,48~52Cr,3~4B,3~4Si,2~3Ni,余量为 Fe。堆焊前把 Fe-05 粉块放在烘箱中经 100℃烘干 1h 后待用。Fe-05 合金碳弧堆焊工艺参数如表 1 所示。用 1[#]、2[#]、3[#] 分别代表堆焊电流为 230、250、270A 的试样。

表 1 Fe-05 合金碳弧堆焊工艺参数

Tab.1 Process parameters of carbon arc surfacing of Fe-05 alloy

试样编号	堆焊电流 /A	电弧电压 /V	电源极性	摆动方法	碳棒规格 /mm	碳棒倾角 /($^{\circ}$)	弧柱高度 /mm
1 [#]	230	24~28	直流正接	锯齿形	$\phi 10 \times 300$	0~5	5~8
2 [#]	250						
3 [#]	270						

沿垂直于堆焊层的方向将碳弧堆焊的试板切割成 $\phi 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的金相、硬度及磨损等试样。堆焊层的显微组织采用 AxioScope A1 型光学显微镜观察,并利用 XD-3A 型 X 射线衍射仪对堆焊层中所含的物相进行分析;采用 HVS-1000 型显微硬度计对基体材料及堆焊层的不同区域进行显微硬度测

量,每个区域打 3 个点取平均值;采用自制销盘式磨料磨损试验机,在 2.0kg 载荷下相对于装有 60 目砂布的圆盘上行走相同时间,记录磨前和磨后的试样失重,每个试样分别磨 3 次取平均值,然后采用 S-3000 型扫描电镜进行磨损表面的形貌观察。

2 试验结果与分析

2.1 堆焊层显微组织分析

图 1 是不同堆焊电流下合金涂层和基体结合界面的显微组织。图 1 的左下方为 Fe-05 合金堆焊涂层,右上方为基体 16Mn 钢。从图可以看出,不同堆焊电流下合金涂层的组织是典型的过共晶组织,均由黑色基体相和初生白色碳化物等物相构成。涂层和基体之间呈现出明显的白亮带,两者达到了良好的冶金结合。由图还可以看出,由基体到涂层表面方向,合金涂层组织变化明显,出现明显的分层现象。这是由于随着距熔合线处距离的不同,涂层冷却速度和散热方向不同所致。不同堆焊电流下的涂层均大致分为 3 个区域,由熔合线处向涂层表层方向依次为 1 区、2 区和近表层区(图 1)。

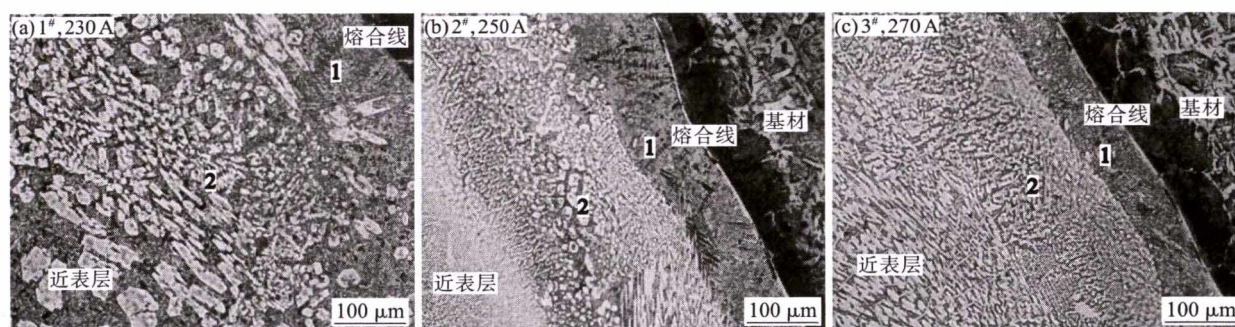


图 1 不同堆焊电流下合金涂层和基体结合界面的显微组织

Fig.1 Microstructure of bonding interface between alloy coating and substrate under different surfacing currents

图 2 分别为不同堆焊电流下 1 区(a-1[#],a-2[#],a-3[#])、2 区(b-1[#],b-2[#],b-3[#])及近表层(c-1[#],c-2[#],c-3[#])的显微组织形貌。由图 2 可知,1 区的白色物相数量明显少于其他区域,这是由于在堆焊过程中,近熔合线处都有一定数量的基体熔化,熔化了基体与堆焊金属相混合,因稀释作用而引起成分发生变化,从而导致该区域组织也发生变化。另外,由图还可以看出,电流不同的同一区域显微组织形态不同:230A 的涂层中 1 区(a-1[#])白色物相形态主要为较粗大的块状和粒状;250A 时 1 区(a-2[#])白色物相形态大部分呈菊花状和粒状,且组织细小;270A 时 1 区(a-3[#])有条块状碳化物出现,并且组织比较粗大。230A 电流下 2 区(b-1[#])中白色物相的数量较少,且

基本呈等轴的六边形块状。而随着电流的增加(250A),白色物相的数量开始增多,形态也转变为较细的六边形块状。当电流继续增加到 270A 时(b-3[#]),该区域白色物相变成了粗大的条块状,且呈密集类似网状分布。白色物相随电流增加,数量和尺寸增加的原因可能是在堆焊过程中,随着电流的增加、热输入增加,在相同的冷却速度条件下,电流大的涂层高温停留时间较长,所以从液相中首先析出的初生碳化物等物相也较多,晶粒也较粗大。近表层(c-1[#],c-2[#],c-3[#])的显微组织随着距熔合线距离的增加,温度梯度减小、冷却速度增加及向自由空间散热,导致组织明显比 2 区组织粗大,以电流为 230A(c-1[#])和 270A(c-3[#])的区域组织变化最为明显,尤其是堆焊

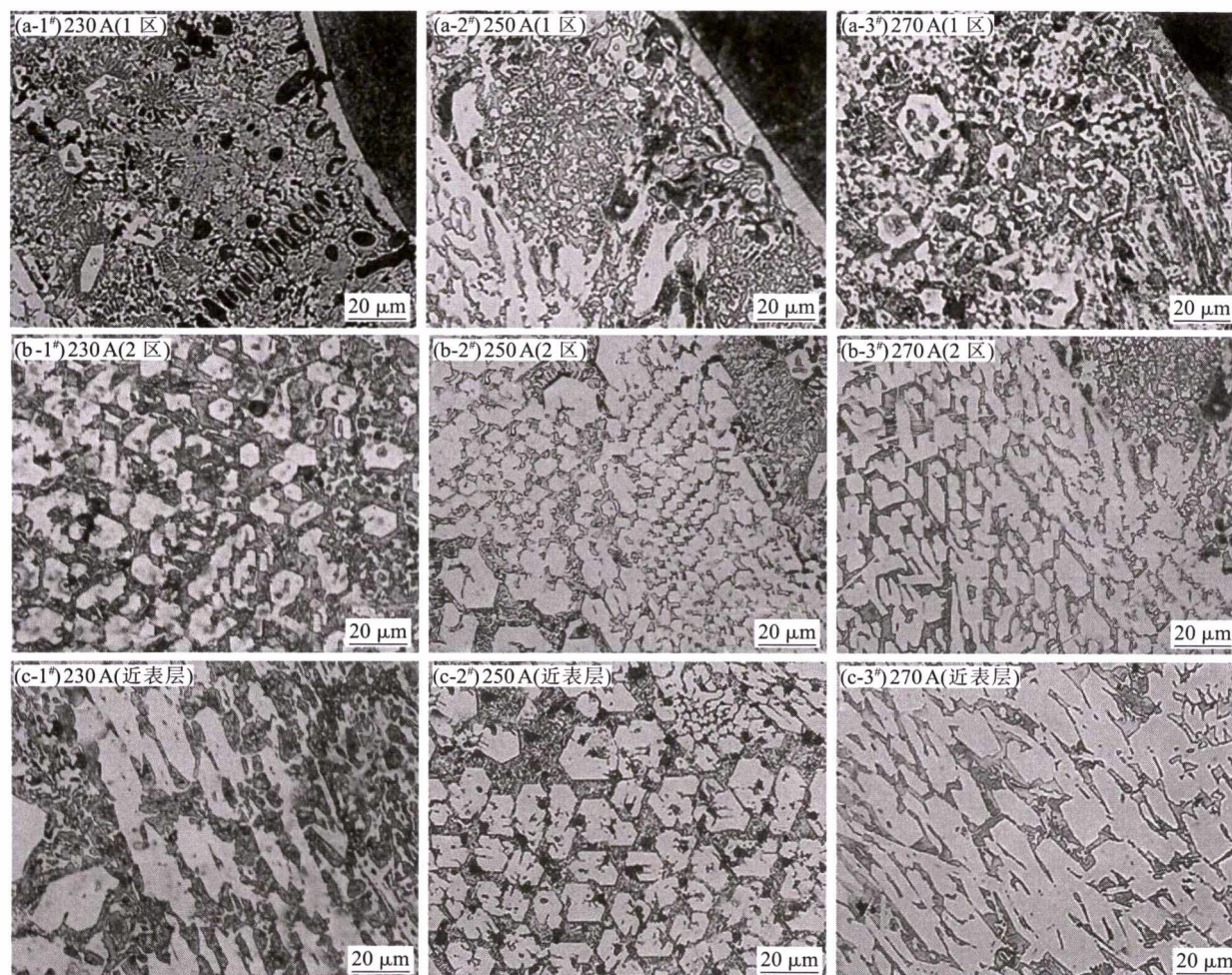


图2 不同堆焊电流下涂层中不同区域的显微组织
Fig.2 Microstructure of different zones of coatings under different surfacing currents

电流为 230 A 时(c-1[#]),该区域的白色物相由较细小的等轴状变为粗大的条块状。

2.2 堆焊层物相分析

图 3 为 2[#] 试样堆焊层的 X 射线衍射图。由图可知,涂层中可能存在的物相主要有 α -(Fe,Cr)、(Fe,

$\text{Cr})_7\text{C}_3$ 、 Cr_{23}C_6 、 Cr_7C_3 、 Fe_2B 、 Fe_3B 、 CrFeB 等相,对应涂层显微组织中的黑色组织为基体 α -(Fe,Cr) 固溶体,白色物相主要为原位合成的 $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ 、 Cr_{23}C_6 、 Cr_7C_3 、 Fe_2B 、 Fe_3B 及 CrFeB 等,这些都是组织中的硬质相。

2.3 堆焊层显微硬度与耐磨性分析

图 4 是不同堆焊电流下涂层的显微硬度分布。由图可知,在 3 种堆焊电流下,从堆焊层表面到基体显微硬度均呈下降趋势。在近熔合线处由于基体对堆焊材料的稀释作用,显微硬度呈陡降趋势。230 A 堆焊电流下的涂层硬度最低,随着堆焊电流的增加,涂层显微硬度增加,270 A 堆焊电流下的涂层硬度达到最高。硬度分布趋势与不同电流下的涂层中组织形态和分布相一致,即随着电流的增加,白色硬质相数量增加,以及呈密集条块网状分布是导致硬度增加的主要原因。

图 5 为涂层相对耐磨性与堆焊电流的关系。由

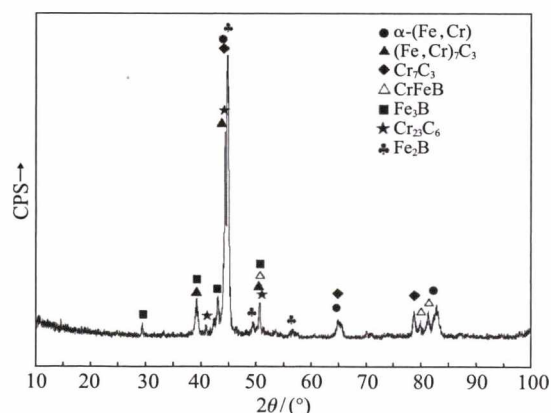


图3 2[#] 试样堆焊层的 X 射线衍射图
Fig.3 X-ray diffraction pattern of the surfacing layer of 2[#] sample

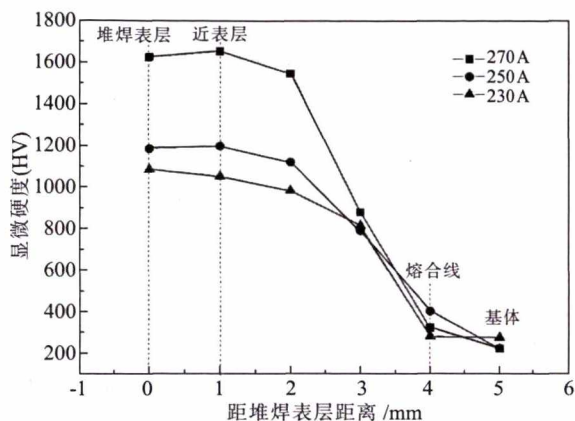


图4 不同堆焊电流下涂层的显微硬度分布
Fig.4 Microhardness distribution of coatings under different surfacing currents

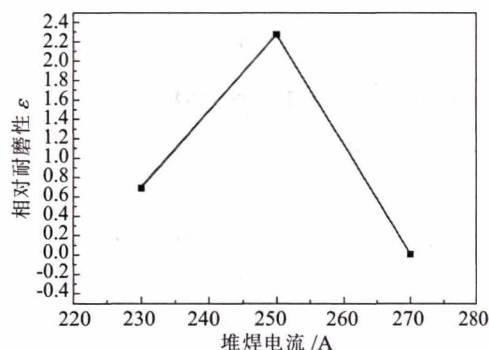


图5 涂层相对耐磨性与堆焊电流的关系
Fig.5 Relationship between relative wear resistance of coatings and surfacing current

图可以看出,涂层相对耐磨性随堆焊电流的增加呈先上升后下降的趋势。当堆焊电流为250A时,其涂层相对耐磨性最高。结合图4可知,涂层的耐磨性与硬度的关系并不是简单的线性关系。涂层近表层硬度最高的3#试样,其耐磨性反而最低。这是因为与1#和2#试样相比较,硬度过高的3#试样堆焊层近表层组织中硬质相不仅粗大,且呈条块网状分布(图2)。这种组织脆性较大,磨损中这种硬质相容易发生脆断剥落而成为磨粒,增加了磨损进程,从而导致其

相对耐磨性下降。

3 结论

(1) 涂层显微组织主要由黑色基体相 α -(Fe, Cr)固溶体和白色原位合成的硬质相 $(Fe, Cr)_7C_3$ 、 $Cr_{23}C_6$ 、 Cr_7C_3 、 Fe_2B 、 Fe_3B 及CrFeB等组成。

(2) 3种堆焊电流的涂层,从堆焊涂层表面到基体显微硬度均体呈下降趋势,并且随着堆焊电流的增加,涂层的显微硬度增加。

(3) 涂层相对耐磨性随堆焊电流的增加呈先上升后下降的趋势。当堆焊电流为250A时,其涂层相对耐磨性最高;当堆焊电流为270A时,其涂层相对耐磨性最低。

参考文献:

- [1] 单际国,董祖玉,徐滨士.我国堆焊技术的发展及其在基础工业中的应用现状[J].中国表面工程,2002,15(4):19-22.
- [2] Savrai R A, Makarov A V, Soboleva N N, et al. The behavior of gas powder laser clad NiCrBSi coatings under contact loading [J]. Journal of Materials Engineering and Performance,2016,25(3):1068-1075.
- [3] Yuan Y L, Li Z G. Effects of rod carbide size, content, loading and sliding distance on the friction and wear behaviors of (Cr, Fe)7C3-reinforced α -Fe based composite coating produced via PTA welding process [J]. Surface & Coatings Technology, 2014,248:9-22.
- [4] 王润之,金毓洲. Fe-05 耐磨合金粉块碳弧堆焊技术的应用[J]. 煤矿机械,1987,8(4):42-44.
- [5] 许勇静,陈俐. Cr-Mo-V 堆焊合金的成分对其组织及性能的影响[J]. 焊接技术,2003,32(3):39-41.
- [6] 潘春旭,陈俐. 耐磨堆焊层显微组织特征及其与耐磨性关系的研究[J]. 兵器材料科学与工程,2000,23(2):8-12.
- [7] 杨森,王伟,何平. Mo 含量对碳弧堆焊 Fe-Cr-C-Mo-B 耐磨层组织和性能的影响[J]. 材料保护,2015,48(1):47-51.
- [8] 周野飞. Fe-Cr-C-X 堆焊合金显微组织演变及其耐磨性[D]. 秦皇岛:燕山大学,2013. [4]

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告