

间歇交变磁场频率对堆焊金属组织及性能的影响

刘政军, 孙景刚, 慈宏钢, 宋兴奎

(沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110023)

[摘要] 为了研究间歇交变磁场频率对堆焊层金属组织及性能影响, 对低碳钢表面进行等离子弧堆焊时外加间歇交变纵向磁场, 并利用光学金相、X 射线衍射、显微硬度和湿砂橡胶轮磨损试验等方法系统分析了不同磁场频率对等离子弧堆焊试件的影响。结果表明: 适当的交变磁场频率能有效地增加堆焊金属中硬质相的数量, 控制硬质相的生长方向, 提高堆焊层金属的硬度和耐磨性, 从而进一步获得最佳的电磁搅拌效果。

[关键词] 电磁搅拌; 间歇交变磁场; 硬质相; 磁场频率; 低碳钢; 等离子弧堆焊

[中图分类号] TG455

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0019-02

Influence of Frequency of Intermittent Alternative Magnetic Field on Microstructure and Properties of Plasma Arc Surfacing Layer

LIU Zheng-jun, SUN Jing-gang, CI Hong-gang, SONG Xing-kui

(School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

[Abstract] In order to research the influence of frequency of intermittent alternative magnetic field on microstructure and properties of plasma arc surfacing layer, a longitudinal intermittent alternative magnetic field has been applied to the plasma arc surfacing welding on low carbon steel. The effect of different frequencies of magnetic field on the hardness, wearing resistance and microstructure of surfacing layer have been systematically researched by using optical electronic microscope, wear test and microscopic hardness testing. The results have indicated that proper frequency can increase the amount of hardening phase in overlay deposit, control the growth direction of hardening phase and improve the hardness and wear resistance of the surfacing overlay. Moreover, the optimum effect on electromagnetic stirring can be obtained.

[Key words] Electromagnetic stirring; Intermittent alternative magnetic field; Hardening phase; Frequency of magnetic field; Low carbon steel; Plasma arc surfacing layer

0 引言

近年来, 磁控焊接技术的发展表明, 电磁搅拌可以有效地改变焊接熔池液态金属结晶过程中的传质和传热过程, 从而改变晶粒结晶方向, 细化一次组织, 减少偏析, 提高焊缝力学性能^[1]。在等离子弧堆焊中应用外加磁场有更加明显的优势。在适当的磁场参数作用下, 电磁搅拌对堆焊层金属组织及性能产生良好的作用效果, 当磁场参数选择不恰当时, 电磁搅拌效果变差, 降低焊缝质量。因此, 研究不同的磁场参数对等离子弧堆焊层金属组织及性能的影响具有十分重要的意义。

在低碳钢表面上堆焊 Fe5 合金粉末, 外加间歇交变纵向磁场, 研究了不同的间歇交变磁场频率对堆焊层金属组织及性能的影响。

1 试验

1.1 试验材料

试验采用铁基自熔合金粉末 (Fe5), 粉末的粒度为 60 ~ 160 μm, 其化学成分见表 1。

表 1 堆焊合金粉末化学成分 (质量分数 %)

Table 1 Chemical composition of surfacing alloy powder (%)

合金粉末	C	Si	B	Cr	Fe
Fe5	4.8	0.8	1.5	40	余量

1.2 试验方法

采用的外加磁场是一种间歇交变磁场。间歇交变磁场激励电流为间歇交变脉冲电流, 它由专用电源供电, 其占空比、频率和幅值均可调节, 所产生的磁力线方向上与电弧轴线平行, 并以电弧轴线为中心形成轴对称分布, 因此称为间歇交变纵向磁场。该磁场由安装在等离子弧堆焊机枪体上的电磁线圈产生。电磁线圈的骨架是用 5mm 厚的绝缘管 (φ120mm, 高 150mm) 和 3mm 厚的绝缘板做成的; 线圈是 φ1.5mm 的漆包线绕在骨架上制成的, 线圈的匝数是 430 匝, 用矽钢片作为铁心, 其厚度为

[收稿日期] 2007-11-11

[基金项目] 辽宁省自然科学基金资助项目 (20042025)

[作者简介] 刘政军 (1962-), 男, 黑龙江讷河人, 教授, 工学博士, 从事焊接技术、特种焊接材料及表面强化方面的研究。

5mm。

试验是采用 LHME-315 等离子弧焊机在低碳钢试板上堆焊制备试样,焊接工艺参数和间歇交变磁场波形参数如下,堆焊电流 160A,堆焊电压 25 ~ 30V,堆焊速度 50mm/min,焊枪摆幅 20mm,电弧横向摆动频率 45 ~ 48 次/min;磁场电流 3A,磁场频率 5 ~ 20Hz,占空比(正半波时间与周期的比值)为 60%。

试件外加间歇交变磁场后,采用 HRC-150 型号洛氏硬度计来测量堆焊层合金的显微硬度。试样的磨损试验在湿砂橡胶轮式磨损试验机上进行。然后在 OlympusBH-2 金相显微镜下观察堆焊层表面的显微组织;采用 O/MAX-RBX 型 X 射线衍射仪分析合金中物相组成。

2 试验结果及分析

图 1 是磁场电流为 3A,占空比为 60%,不同的间歇交变磁场频率作用下,堆焊层金属的硬度和磨损量曲线。随着磁场频率的不断升高,堆焊层金属的硬度不断地升高,磨损量也随之降

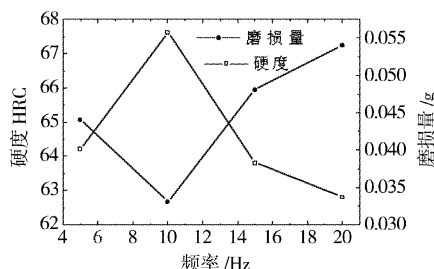


图 1 不同磁场频率下堆焊层硬度和磨损量($I_m = 3A$,占空比为 60%)

Figure 1 When I_m is 3A, is 60%, the hardness and wear rate of surfacing layer in different Frequency of magnetic field

低,当磁场频率为 10Hz 时,堆焊层金属的性能达到最佳表现,为堆焊层金属的硬度最高,磨损量最低。这是由于在电磁搅拌的作用下,晶粒细化的结果。随着频率的继续增大,堆焊层的硬度逐渐降低,磨损量也逐渐增大。磁场的持续增加,在熔池液态金属中会产生电磁阻尼的作用,抑制流体的流动,使得凝固组织粗大,从而使堆焊层金属的性能降低^[2]。

图 2a 是磁场电流为 3A,占空比为 60%,间歇交变磁场频率为 5Hz,堆焊层金属表面的显微组织。硬质相基本上都成较规则的六方块状;随着磁场频率的增加,堆焊层中硬质相晶粒细化的效果比较明显,硬质相的数量也增加(见图 2b);当磁场频率进一步增强,在堆焊层组织中出现了“团絮状”的铁磁物质的聚集(图 2c);当磁场频率为 20Hz,已看不到硬质相组织,图中基本上被带状偏聚的铁磁物质所占有(图 2d)。这种物质的出现对堆焊层金属的性能成负面影响。

在磁场作用结晶期,随着频率的增加,溶池中的电磁力作用也随之增大;熔池中的液态金属受洛伦兹力的作用,作复杂的循环运动,磁场对熔池的搅拌作用也随之增强,使得结晶前沿存在着较强的液相流动,使枝晶折断,在熔池中增加了形核率;而且,高温金属流对结晶前沿的冲刷作用,使结晶区域浓度过冷程度减少,从而使得结晶线前沿的稳定性提高,促进了均匀扩散,细化凝固组织的作用效果。

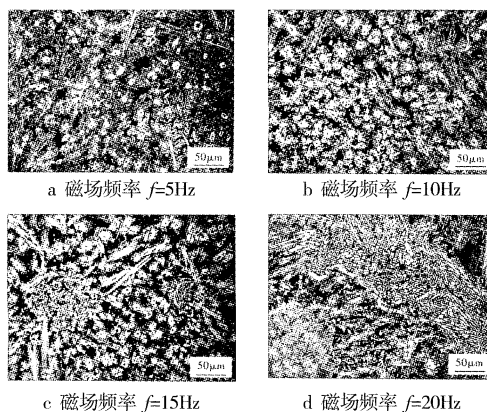


图 2 磁场电流 $I_m = 3A$ 时,不同磁场频率下堆焊层显微组织

Figure 2 When I is 3A, the microstructure of surfacing layer in different Frequency of magnetic field

在磁场休止结晶期,由于磁场休止、电弧停止旋转以及电弧形态恢复至自然状态时的影响。在结晶线前沿区域,由于枝状晶重熔所形成的高熔点质点开始活化,形成新的结晶核,从而增加了堆焊层中硬质相的数量。

由文献[3]可以得到间歇交变磁场最适宜的脉冲频率为:

$$f = \frac{V_{cb}Q}{2b(Q+1)}$$

式中, V_{cb} 为焊接速度; b 为结晶线前沿两相区域的厚度; Q 为通断比(1个周期内,负半波时间与正半波时间的比值), f 为脉冲磁场频率。两相区域的厚度取决于结晶温度范围和相界面附近的温度梯度,结晶温度范围越宽,温度梯度越低,两相区域厚度就越大^[4]。对于以铁基合金,在焊接熔池的尾部,具有柱状晶和等轴晶的两相区域厚度为 0.01 ~ 0.07cm。在宽的焊接速度范围内,最佳磁场频率在 6 ~ 20Hz 的范围内变化。当 f 值继续增大时,由于熔池液态金属的机械惯性,磁搅拌力导致的熔化金属搅拌运动阻力增大,甚至不会产生节奏明显的搅拌运动,因此搅拌效果很差,一次结晶组织反而变得粗大。而且在磁场休止期,容易导致铁磁物质的偏聚,形成团状物质,如图 2d 所示,尤其在磁场频率为 20Hz 时,堆焊层中基本被偏聚的铁磁物质占有,从而使堆焊层的硬度不降低,磨损量增大。

为了更清楚地探究堆焊层中硬质相组成,对堆焊合金施加磁场电流为 3A,磁场频率为 10Hz,占空比为 60% 的试样进行了 X 射线衍射分析,结果如图 3 所示。堆焊合金主要是由 γ -Fe

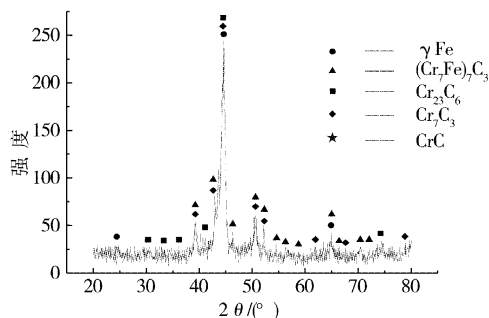


图 3 堆焊层金属 X 射线衍射谱

Figure 3 X-ray diffraction spectrum of surfacing layer metal

(下转第 58 页)

存在;镀镍后除了原基体成分,还有 Ni、P,而且 Ni 已经成为主峰,说明在微珠表面有因化学镀镍而产生的 Ni-P 合金镀层形

成。由于电镀时间短,所形成的镀层较薄,因此 Al、Si、K、Fe 等元素还没有完全被镀层覆盖。

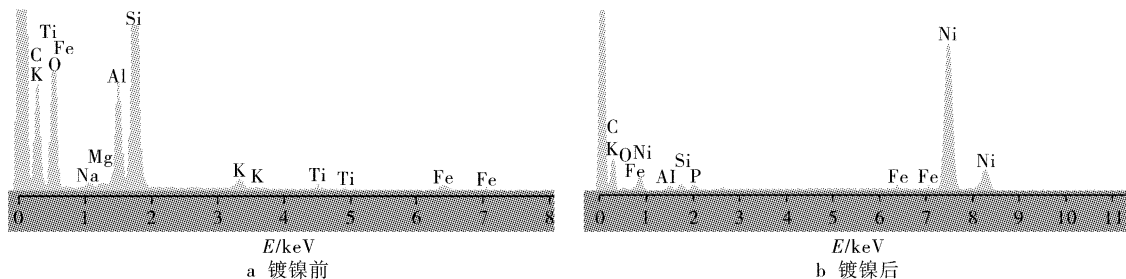


图2 微珠镀镍前后的 EDS 能谱图

Figure 2 EDS spectrum of cenospheres before electroless plating and after electroless plating

3 结 论

1) 通过单因素试验优化了在玻璃微珠表面实施化学镀镍的甲醇溶液体系无钎活化工艺:活化液的组成为硫酸镍、次亚磷酸钠和甲醇;每升甲醇溶解醋酸镍和次亚磷酸钠各 400g;微珠在活化液中的浸泡时间为 20min;热氧化还原的温度 165℃,时间 30min;活化液装载量为 20g/L。

2) 采用此方法进行活化处理,镀镍后在微珠表面形成的镍磷镀层光滑均匀。

3) 采用无钎活化工艺减少了对贵金属的使用,降低了成本,同时也降低了对环境的污染,具有较好的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 刘曦,邓意达,沈彬,等. 空心微米镍球的表面改性及微波吸附性能研究[J]. 化学学报, 2006, 64(23): 2317-2321
- [2] Kim S S, Kim S T, Ahn J M, et al. Magnetic and microwave absorbing properties of Co-Fe thin films plated on hollow ceramic micro-

spheres of low density[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2004, 271: 39-45

- [3] Zeng A X, Xiong W H, Xu J. Electroless Ni-Co-P coating of cenospheres using $[Ag(NH_3)_2]^+$ activator[J]. Materials Letters, 2005, 59: 524-528
- [4] 陈布明,郭忠诚,杨显万,等. 表面活性剂对空心玻璃微珠化学镀银影响的研究[J]. 电镀与涂饰, 2006, 26(2): 25-28
- [5] 杨玉香,邵谦,郑衡,等. 空心玻璃微珠表面化学镀镍磷合金[J]. 表面技术, 2007, 36(1): 39-41
- [6] 刘家琴,吴玉程,薛茹君. 空心微珠表面化学镀 Ni-Co-P 合金[J]. 物理化学学报, 2006, 22(2): 239-243
- [7] Kim Y B, Park H M. Synthesis of amorphous/crystalline composite using electroless copper plated amorphous powder [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 396: 166-171
- [8] 张振华,孟锦宏,曹晓晖,等. 空心玻璃微珠表面金属化及电磁性能[J]. 表面技术, 2006, 35(5): 10-12
- [9] 王森林,吴辉煌. 玻璃表面的无钎活化化学镀镍[J]. 应用化学, 2003, 20(5): 491-492
- [10] 傅圣利,李义和,王本根,等. 玻璃表面无钎活化化学镀镍的研究[J]. 电镀与精饰, 2000, 22(5): 10-13

(上接第 20 页)

基体和 $(Fe, Cr)_7C_3$, Cr_7C_3 组成。在适当参数的外加磁场的作用下,硬质相均匀分布,并且垂直于堆焊表面生长,从而提高了堆焊层的硬度和耐磨性。

3 结 论

1) 外加间歇交变磁场频率可以改善堆焊层金属的结晶形态,细化晶粒,促使硬质相以较规则的六方块状均匀分布,垂直于堆焊表面生长,从而使堆焊层金属的硬度和耐磨性提高。

2) 分析外加间歇交变纵向磁场作用下堆焊层金属的性能及组织,得出只有在间歇交变磁场频率与焊接速度和占空比相匹配时,焊缝组织才能获得最佳的细化效果。

3) 焊接电流 $I = 160A$,焊接速度 $V_{cb} = 50mm/min$,间歇交变

磁场电流 $I_m = 3A$ 、间歇交变磁场频率 = 10Hz,间歇交变磁场占空比 = 60% 时,堆焊层金属的性能达到最佳值,此时,硬度为 67.7HRC,磨损量 $\Delta G = 0.032g$ 。

[参 考 文 献]

- [1] 张忠典,李冬青,尹孝辉,等. 外加磁场对焊接过程的影响[J]. 焊接, 2002, (3): 76-82
- [2] 刘政军,刘景铎,牟力军,等. 磁场强度对重熔层耐磨性的影响[J]. 焊接学报, 2001, 22(5): 73-75
- [3] 阿勃拉洛夫,阿勃杜拉赫曼洛夫. 电磁作用焊接技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1988. 76-79
- [4] 应小午,李午申,冯灵芝. 电磁搅拌对超高硬度堆焊层组织和性能的影响[J]. 焊接, 2004, (3): 20-23