

工艺参数对堆焊层组织性能的影响

刘政军, 慈鸿钢, 苏允海, 刘长军

(沈阳工业大学 材料科学与工程学院, 沈阳 110178)

摘要: 采用碳弧堆焊设备制备 Cr-B-Ni-V 系耐磨合金, 在制备过程中加入直流横向磁场. 外加磁场将与电弧、熔池相互作用形成电磁搅拌现象, 细化堆焊层金属的组织, 影响硬质相的形核及分布, 进而提高堆焊层的综合力学性能. 通过对堆焊层进行硬度、磨损试验以及显微组织分析, 研究堆焊速度、磁场强度对堆焊层金属的硬度和耐磨性的影响规律. 结果表明, 堆焊速度应与磁场电流配合使用, 才能使堆焊层的性能得到充分改善; 当堆焊速度为 12 cm/min, 磁场电流为 3 A 时, 堆焊层的硬度得到最大值, 而磨损量达到最小值, 其具体数值硬度为 54.4 HRC, 磨损量为 0.033 5 g.

关键词: 横向磁场; 碳弧堆焊; 堆焊速度

中图分类号: TG455 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2009)12-0049-04



刘政军

0 序 言

磨损是材料三种失效形式中的一种, 每年由于磨损而使材料失效造成的经济损失十分巨大, 因此提高材料耐磨性十分必要. 堆焊是一种改善机械零部件表面耐磨性的简单、经济且行之有效的方法. 根据堆焊过程中所选用的热源不同, 堆焊又分为火焰堆焊、等离子弧堆焊、埋弧堆焊、碳弧堆焊等. 碳弧堆焊由于在堆焊过程中产生 CO₂ 保护气体, 效率高特点在实际工况中应用广泛. 所谓电磁作用焊接技术是将外加电磁场应用于焊接过程中的一种新型焊接技术, 经过近年的发展、完善, 已有从实验室走向工厂的发展趋势, 应用日趋广泛^[1,2]. 实践表明利用外加磁场对焊接中熔滴的过渡、熔池金属的流动、熔池的结晶形核及结晶生长等过程进行有效地干预, 使焊缝金属的一次结晶组织细化, 减小化学不均匀性, 提高焊缝金属的塑性和韧性, 降低结晶裂纹和气孔的敏感性, 从而可以显著提高焊缝金属的性能, 在航空、航天、冶金、机械等部门具有广泛的应用前景和巨大的实用价值^[3,4]. 在碳弧堆焊过程中施加磁场, 相关文献较少, 很少有人涉及, 为了揭示外加磁场对碳弧堆焊过程、工艺参数调节范围、堆焊层组织性能的影响, 文中将不同工艺参数和磁场参数下的堆焊层性能进行分析, 研究磁场作用下堆焊层力学性能与堆焊速度之间的关系, 确定最佳的工艺参数匹配.

1 试验方法

试验所用的堆焊基材为 20 g 低碳钢板, 其厚度为 12 mm, 而所用的堆焊合金粉末为 Cr-B-Ni-V 系铁基合金, 其成分含量为自行配置的. 为了在堆焊层中过渡足够的合金元素, 提高堆焊的耐磨性, 在铁合金粉末中加入高碳铬铁、硼铁、镍粉、钒铁、碳化硼等, 对粉末中各元素的含量予以限定.

采用碳弧堆焊方法在低碳钢试板上堆焊制备试样. 试验时采用的外加磁场是直流横向磁场, 该磁场由安装在堆焊试件下面的电磁线圈产生, 所生成磁场的电流可以调节, 其结构示意图见图 1. 堆焊工艺参数见表 1.

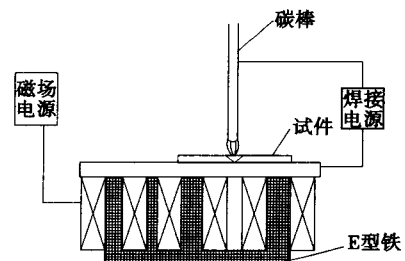


图 1 磁场装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of magnetic field

试验采用 HRC — 150 型洛氏硬度计测量堆焊层合金表面的宏观硬度. 耐磨料磨损试验在 MLS — 23 湿砂橡胶轮式磨损试验机上进行. 试验所得的

表 1 堆焊工艺参数

Table 1 Process parameters of surfacing

堆焊极性	电弧电压 U/V	焊接电流 I/A	层间温度 T/°C	堆焊速度 v/(cm·min ⁻¹)	焊后状态
直流反接	24~26	180~200	<150	8~10	空冷

磨损量用试样磨损前后质量之差 ΔG 来表示,即

$$\Delta G = G_0 - G_1 \quad (1)$$

式中: G_0 为试样磨损前的质量; G_1 为试样磨损后的质量。

2 试验结果与分析

2.1 堆焊速度和磁场电流对堆焊层硬度及耐磨性的影响规律

堆焊速度是一项重要的堆焊工艺参数。堆焊速度的大小直接影响生产率、堆焊层的受热状态和焊缝成形。为研究堆焊速度、外加磁场电流对堆焊层硬度及耐磨性的影响规律,确定焊接电流为 180 A,调节堆焊速度和外加磁场电流,分别进行硬度和磨损试验,其试验数据见图 2 和图 3。从图 2 和图 3 中

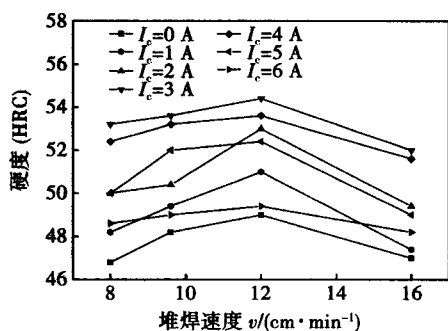


图 2 堆焊层硬度随堆焊速度变化曲线

Fig. 2 Hardness of overlay with different surfacing speed

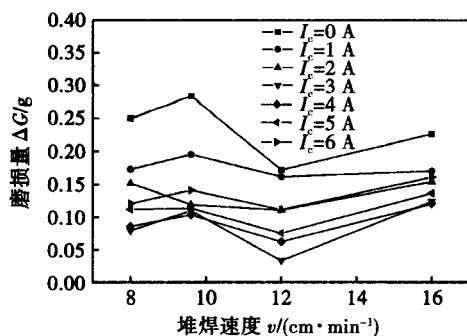


图 3 磨损量随堆焊速度变化曲线

Fig. 3 Curves of overlay wear extent with surfacing speed

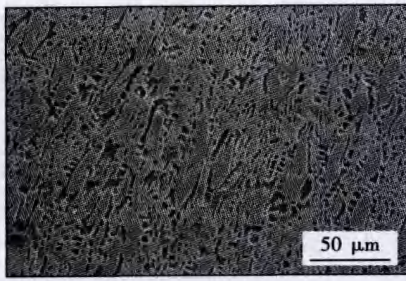
可以发现两组曲线均为极值曲线。随着堆焊速度的增加,堆焊层的硬度首先增加,在堆焊速度为 12 cm/min 处达到最大值,随后随着堆焊速度的继续增大堆焊层的硬度反而减小。堆焊层的磨损量随堆焊速度的变化规律与硬度基本相似,只是磨损量是先减小后增大,在堆焊速度为 12 cm/min 处取得最小值。这与材料的基本特性相吻合,虽然材料的硬度不能绝对表征材料的耐磨性,但是一般情况下材料的耐磨性随硬度的增加而减小。

从图 2 和图 3 中除了可以看出硬度、磨损量与堆焊速度的关系外,还可以发现,随着磁场电流的增加,堆焊层的硬度、耐磨性也呈现出一定的规律性。从图 2 和图 3 中可以发现,不论磁场电流如何变化,施加磁场的堆焊层的性能均要比未施加磁场下的性能好。在不同磁场电流作用,各曲线的形状基本一致,只是位置有所不同,随着磁场电流的增加,堆焊层的硬度曲线先发生了整体向上平移,在磁场电流为 3 A 时取得最大值,而后却向下平移现象;而磨损量曲线则出现先整体下移后再向上移的现象,也在磁场电流为 3 A 时取得最小值。这表明外加磁场的引入可以改善材料的力学性能,提高材料的耐磨性。

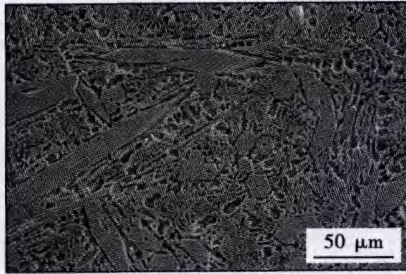
2.2 堆焊速度对显微组织影响

为了探究堆焊速度对堆焊层组织性能作用的深层次机理,对不同堆焊速度下的显微组织进行分析。图 4 为焊接电流为 180 A,磁场电流为 3 A 时不同堆焊速度下的显微组织。从图 4 中可以看出,当堆焊速度为 8 cm/min 时,堆焊层中的硬质相数目较少,而且多呈长条状不均匀分布。堆焊速度增大到 9.6 cm/min,硬质相的数量有所增加;当速度达到 12 cm/min 时,堆焊层中基体明显细化,硬质相数量增多,呈六角形弥散分布,且方向一致。此时,堆焊层的性能最优,其硬度达到最大值,磨损量达到最小值。堆焊速度继续增大时,堆焊层中硬质相数目反而减少,分布杂乱。由此可见,堆焊层中硬质相的数量、形态、分布对堆焊层的性能有很大影响,一般情况下,硬质相细小,分布均匀,呈等边或不等边六角形时,堆焊层的硬度较高,耐磨性较好;反之,硬质相粗大,分布杂乱,呈长条状时,堆焊层的性能变差。

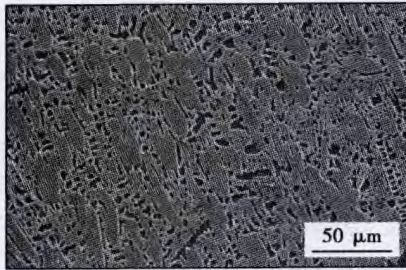
为了明确堆焊层中的组织,对堆焊层进行了 XRD 物相分析,其结果见图 5。从图 5 中可以看出,直流磁场作用下,堆焊层主要是由 γ 固溶体和各种碳化物硬质相组成,其中碳化物主要是 $(Fe, Cr)_7C_3$, Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, Fe_3C 。结合图 4 中各组元的形貌,可初步确定在图 4 中呈六角形分布的组元为 Cr_7C_3 (中间“空穴”为形核过程中形成的脱碳现象),而 Fe_3C 等硬质相则呈片状分布于基体 γ -Fe 中。



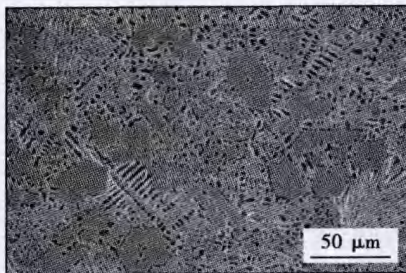
(a) 8 cm/min



(b) 9.6 cm/min



(c) 12 cm/min



(d) 16 cm/min

图 4 不同堆焊速度下堆焊层的显微组织形貌

Fig. 4 Microstructures of overlay with different surfacing speed

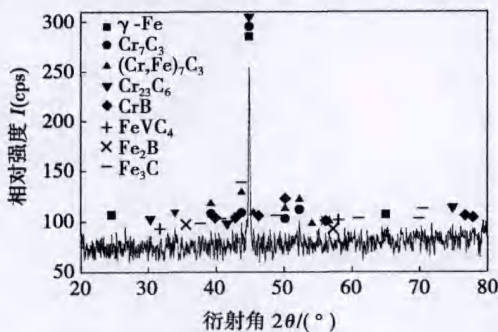


图 5 堆焊层的 X 射线衍射

Fig. 5 X-ray inflection of overlay

3 作用机理探究

由焊接理论可知,热输入的表达公式为

$$E = UI/v \tag{2}$$

在焊接电流、电弧电压一定的情况下,热输入主要取决于堆焊速度^[5].由图 5 可以发现堆焊层由奥氏体组织加碳化物组成,进而可以确定其中主要的强化相(硬质相)为碳化物.当堆焊速度较小(8 cm/min)时,堆焊层的过热程度较大,高温停留时间较长,这将使铬碳形成的亚稳相 Cr_7C_3 向 $Cr_{23}C_6$ 转变,进而使得堆焊层中“六角形”的硬质相比较少(图 4a);随着堆焊速度的增大,堆焊层所吸收的热输入减少,液态熔池高温停留时间缩短,这为 Cr_7C_3 的形核、长大提供良好的热力学条件,进而提高 Cr_7C_3 的数量(图 4b,c),这时堆焊层力学性能在堆焊速度为 12 cm/min 处取得最佳值(图 2 和图 3);但当堆焊速度进一步增大时,堆焊层的性能反而恶化,这是由于堆焊速度过大,使得堆焊层所吸收的能量减小,导致堆焊层的熔敷较困难,堆焊层中硬质相形核所需的过冷度减小,硬质相的形核数量减小.

由于电弧和熔池均为电流通路,在其中有大量自由移动的正负粒子和中子,这就给外加磁场提供可作用性.在直流横向磁场作用下,堆焊电弧、熔池将处于恒稳磁场区域,使得电弧、熔池受到洛伦兹作用进行左右摆动.在一定的磁场强度范围内,随着磁场电流的增加,磁场强度增强,作用于熔池的电磁力也随之增大,电弧的变动幅度增大,磁场对熔池的搅拌作用也随之增强.由于电磁搅拌作用,使得结晶前沿存在着较强的液相流动.在高温金属流对结晶前沿的冲刷作用下,使枝晶熔断,提高了硬质相的形核率;此外电磁搅拌作用提高了熔池中熔融金属的平衡结晶温度,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^[4],促进了均匀扩散,细化凝固组织的作用效果明显,进而提高了堆焊层的综合性能.但是随着磁场强度增加的同时,相应地会在熔池凝固体系内增大了热效应,磁场对金属流的滞止力增大,产生电磁阻尼现象,抑制流体流动.因此,在一定范围内的磁感应强度有助于晶粒细化(小于 3 A),改善堆焊层力学性能;但是当磁场强度高于此范围时,随着磁场电流的增大,电弧旋转的直径增大,磁场对熔池的搅拌作用反而不明显;而过大的恒定磁场,电磁阻尼将会占主导地位^[5],抑制熔体自然对流,从而抑制了热量的对流传输,使温度起伏减小,过冷度随之减少,进而使形核率下降,晶粒变得粗大,硬质相的数目减少,使堆焊层的性能下

降。另外,在较强的磁场作用下,熔池和电弧运动激烈,保护气流的稳定性变差,电弧摆动速度加快,粉末的飞溅率也随之增大,此时粉末的熔覆率下降,堆焊层厚度减少,使得堆焊层硬度降低,对堆焊层金属的性能起了负面作用。

4 结 论

(1) 堆焊工艺参数和磁场参数对堆焊层金属的性能影响很大,这两个参数不易单独选择,当两者恰当配合时堆焊层金属获得最佳的硬度和磨损量。

(2) 同一焊接电流作用下,磁场电流、堆焊速度和堆焊层金属硬度、磨损量之间的关系曲线是极值曲线。

(3) 焊接电流 180 A,堆焊速度 12 cm/min,磁场电流 3 A 时,堆焊层性能达到最佳值,此时,堆焊层的硬度为 54.4 HRC,磨损量为 0.033 5 g。

参考文献:

[1] 江淑园,陈焕明,刘志凌.磁控技术在焊接中的应用及进展

[J].中国机械工程,2002,13(21):1876-1879.

Jiang Shuyuan, Chen Huanming, Liu Zhiling. Application and progress of magnetic control technology in welding[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(21): 1876-1879.

[2] 阿勃拉洛夫,阿勃杜拉赫曼洛夫.电磁作用焊接技术[M].韦福水,路登平,译.北京:机械工业出版社,1988.

[3] 刘政军,陈宏,刘臣,等.等离子堆焊层的组织与性能的磁场控制[J].焊接学报,2005,26(8):16-21.

Liu Zhengjun, Chen Hong, Liu Chen, et al. Magnetic field control on microstructure and properties of plasma arc surfacing layer[J]. Transactions of The China Welding Institution, 2005, 26(8): 16-21.

[4] 罗键.外加纵向磁场 GTAW 焊接熔池流体流动与传热行为的研究[D].西安:西安交通大学,1999.

[5] 刘政军,苏允海,张桂清,等.外加磁场对碳弧堆焊层组织及性能的影响[J].焊接学报,2007,28(8):45-48.

Liu Zhengjun, Su Yunhai, Zhang Guiqing, et al. Effect of magnetic field on microstructure and properties of carbon arc surfacing layer[J]. Transactions of The China Welding Institution, 2007, 28(8): 45-48.

作者简介:刘政军,男,1962年出生,教授,博士研究生导师.主要从事焊接的物理冶金、材料焊接性、材料表面强化及改性.发表论文90余篇.

Email: su_yunhai@yahoo.com.cn;