

外加磁场对不锈钢 TIG 焊接头组织和性能的影响

曹朝霞¹, 武丹², 苏允海³

(1. 包头职业技术学院 材料工程系, 内蒙古 包头 014030; 2. 沈阳理工大学应用技术学院 辽宁 沈阳 113122; 3. 沈阳工业大学 辽宁 沈阳 110178)

摘 要: 在外加纵向磁场下对不锈钢进行氩弧焊, 通过对焊接试样进行弯曲和拉伸试验、显微组织观察分析, 研究外加磁场频率对焊接接头力学性能的影响。结果表明, 外加纵向磁场通过电磁搅拌作用改变晶粒的结晶方向、细化晶粒, 在磁场频率为 20 Hz 时, 焊接接头的力学性能达到最佳。

关键词: 不锈钢; 纵向磁场; 电磁搅拌

中图分类号: TG444+.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2009)01-0134-02

Effect of Magnetic Field on Microstructure and Properties of TIG Welded Joint of Stainless Steel

CHAO Chaoxia¹, WU Dan², SU Yunhai³

(1. Department of Material Engineering, Baotou Vocational & Technical College, Baotou 014030, China; 2. Polytechnic School of Shenyang Ligong University, Fushun 113122, China; 3. School of Material Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: The magnetic field was applied to weld stainless steel with GTAW. The influence of magnetic frequency on properties of welded joint was studied by bending test, tensile test and SEM. The results show that the orientation of crystal grain is changed and crystal grain is refined by magnetic field. The optimal properties of welded joint appears when magnetic field frequency is 20 Hz.

Key words: stainless steel; longitudinal magnetic field; electromagnetism stirring

近年来, 磁控焊接技术不断发展并取得了长足的发展。大量实践数据表明, 外加纵向磁场促使电弧旋转, 改变电弧中等离子流和电流密度的径向分布, 影响母材的加热熔化和焊缝成形; 通过电磁搅拌的作用, 改变焊接熔池液态金属结晶过程中的传质和传热过程, 从而改变晶粒的结晶方向, 细化一次组织, 减少偏析, 提高焊缝的力学性能^[1]。因此, 在外加磁场下对不锈钢进行氩弧焊时焊接工艺参数和磁场参数很重要, 它直接影响堆焊层金属一次结晶组织的细化程度及控制硬质相的分布。

1 实验材料与方法

实验用母材为 6 mm 厚的 0Cr18Ni9 不锈钢板, 焊丝为 $\phi 2.5$ mm 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢氩弧焊丝。在 TIG 焊接过程中外加纵向交流双向逆变磁场。该磁场由安装在喷嘴上的激磁线圈产生, 磁场的电流强度、频率可以调节, 产生纵向磁场或

同轴磁场(磁力线方向与电弧轴线平行, 并以电弧轴线为中心形成轴对称分布)。

2 实验结果

2.1 磁场频率对焊接接头力学性能的影响

图 1 为磁场电流 $I_m=1$ A 时, 焊接接头的力学性能与磁场频率的关系。可看出, 焊接接头的抗拉强度、伸长率、断面收缩率及弯曲载荷随磁场频率的变化趋势基本一致。当磁场频率低于 20 Hz 时, 焊接接头的各项力学性能随磁场频率的增加而提高; 当磁场频率达到 20 Hz 时, 抗拉强度、伸长率、断面收缩率及弯曲载荷分别达到各自的最大值;

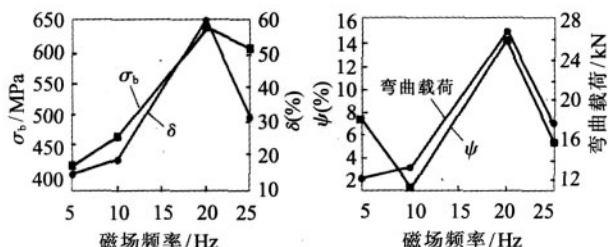


图 1 $I_m=1$ A 时焊接接头力学性能与磁场频率的关系
Fig.1 Relationship between mechanical properties of welded joint and magnetic field frequency $I_m=1$ A

收稿日期: 2008-11-07

作者简介: 曹朝霞(1968-), 女, 包头人, 副教授, 工学硕士;

电话: 13709840941; E-mail: su_yunhai@yahoo.com.cn

当磁场频率进一步增加时,其力学性能反而变差,表现为陡降的趋势。

2.2 磁场频率对焊接接头显微组织的影响

图 2 为不同磁场频率下焊接接头的显微组织。可看出,在无磁场状态下焊接接头显微组织呈现出明显的柱状晶组织,见图 2(a),这种显微组织为典型的焊缝显微组织。当外加磁场时,焊接接头的显微组织发生了明显的变化,随着磁场的频

率的增加,显微组织呈现出一定的规律性变化,见图 2(b)~(d)。随着磁场频率的增加,焊缝中柱状晶的方向性明显减弱,当磁场频率达到 20 Hz 时,焊缝显微组织已基本没有柱状晶,从而代之的是等轴晶,进而使焊接接头的力学性能达到最佳(见图 1);但磁场频率增加达到 25 Hz 时,焊缝显微组织仍为等轴晶,但相对于 20 Hz 时的组织其晶粒比较粗大,所以其力学性能反而降低。

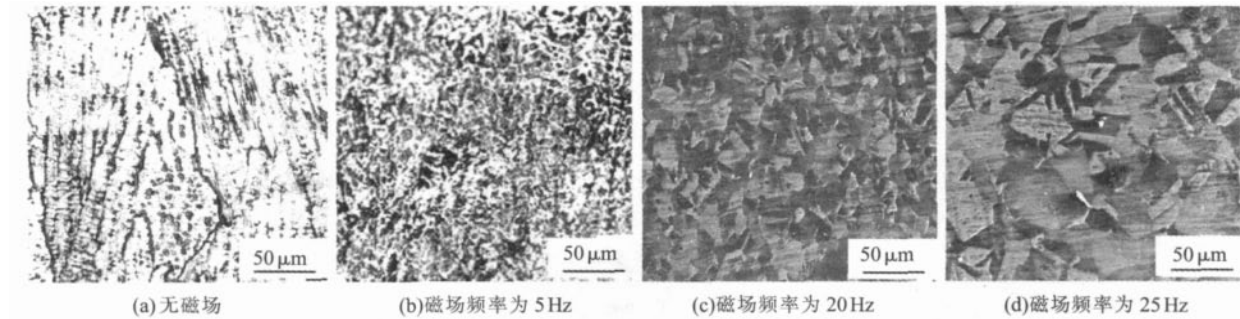


图 2 $I_m=1A$ 时,不同磁场频率状态下的焊接接头的显微组织
Fig.2 Microstructure of welded joint under different magnetic field frequencies ($I_m=1A$)

3 磁场频率的作用规律

在自然电弧堆焊条件下,整个熔池液态金属的流动相对比较平稳,液态金属的流动速度较慢。紧邻母材的焊缝由于母材温度较低具有较大的过冷度,这为晶粒的定向生长提供了良好的条件,所以在无磁场状态下晶粒以柱状晶为主。而外加磁场的引入则改变了晶粒生长的方式。本实验中采用纵向双向逆变磁场,属于间歇交变纵向磁场。在此磁场作用下的焊接电弧受到交变磁场的影响,使得其受力状态发生规律性的交替变换。此外,电弧的旋转方向只与外加磁场方向有关,而与本身的电弧电流方向无关。在外加纵向双向逆变磁场作用下,假设在正半波状态下电弧进行顺时针旋转,则在其负半波作用下进行反向旋转。图 3 为外加磁场作用下熔池金属运动示意图,电弧正向旋转时熔池中液态金属沿着图 3 中所示实线运动,即熔池头部液态金属沿熔池一侧向尾部推移;当磁场休止时,焊接电弧突然停止旋转并收缩,液态

金属又受到焊接电弧反方向作用的趋势,随后达到相对稳定状态——电弧及熔池恢复到自然电弧焊接时的状态,在此阶段晶粒得到自由生长;当磁场反方向改变时,液态金属的运动状态与正向作用时相同,只是运动方向相反,液态金属将沿熔池的另一侧向熔池尾部推移(如图 3 虚线所示)。

在交变纵向磁场作用下,焊接熔池将按规律正反向交替运动,并将焊接电弧周围的液态金属从熔池不同侧面推向熔池的尾部,构成了电磁搅拌^[2]。电磁搅拌的强度与频率的关系如下式:

$$P=4\pi^2f^2CH(1\pm\frac{4\pi^2f^2C}{g}) \tag{1}$$

式中: P 为振荡脉冲强度 ($10^{-2}N/mm$); f 为振荡频率 (次/s); C 为振幅 (mm); H 为溶池中部单位面积上液柱高度 (mm); g 为重力加速度。

由式(1)可见,频率 f 越大,振荡脉冲强度 P 越大。当外加磁场频率较小时,随着磁场频率的增大,电磁搅拌作用越明显,旋转的电弧带动熔池转动,打断先长大枝晶,细化晶粒,而且磁场休止的驰豫时间较大,晶粒可以充分生长,使得晶粒由柱状晶转变为细小等轴晶,焊接接头的力学性能得到显著提高。但是当磁场频率达到一定数值时(大于 20 Hz),由于磁场强度随着频率的增大而增大,熔池吸收热量增多,熔池的高温停留时间延长,使晶粒长大趋势明显,形成相应的粗(下转第 138 页)

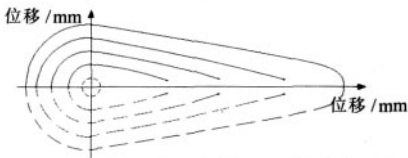


图 3 外加交变纵向磁场作用下熔池金属运动
Fig.3 Effect of alternating longitudinal magnetic field on the movement of metal in molten pool

挺度和稳定性,增加了弧柱的能量密度及电场强度,弧柱温度提高,焊丝的熔化速度加快。

由于高速旋转的焊接电弧中带电粒子的漂移旋转运动使其传导电流所经路程增大,实际相当于增大了电弧长度,相当于提高了电弧能量^[4]。

在外加纵向磁场的作用下,短路液桥内电流的径向分量会受到外加纵向磁场产生的洛伦兹力的作用,对短路液桥产生径向向内的磁致压力的作用。这样,外加纵向磁场 CO₂ 焊短路液桥缩颈处,除了受到重力、表面张力、爆破力、焊接电流产生的电磁力的作用外,还受到外加纵向磁场对它的径向向内的磁致压力的作用,从而加速了熔滴的断开。

当焊接参数不变时,随磁感应强度的增大,短路频率呈现出先增大后减小的趋势,原因与电弧的螺旋式旋转运动有关。带电粒子的螺旋式运动,相当于在电弧弧柱截面上有一个环行电流,这个环行电流在电弧的中心区所产生的轴向磁场的磁力线方向正好与外加纵向磁场的方向相反,使之部分抵消。当外加磁场较弱时,电弧旋转速度慢,环行电流较小,对外加纵向磁场减小飞溅的作用影响不大;而当外加磁场较强时,电弧旋转速度快,环行电流大,所产生的轴向磁场强度比较大,因而降低了外加纵向磁场对短路频率的控制作用^[3]。随着外加纵向磁场强度的增加,横磁分量也相应增加,这样也抵消了一部分纵向磁场产生的作用,同时使得焊

接电弧的旋转发生紊乱,电弧的挺度和稳定性减弱,保护气流的稳定性变差,熔池和电弧运动激烈,弧柱的能量密度、电场强度及弧柱温度降低,从而导致对短路频率控制效果的降低。

3 结论

(1)外加纵向磁场控制 CO₂ 熔滴短路频率是可行的。

(2)有外加磁场比没有外加加磁场作用时熔滴短路频率普遍偏高,在一定的焊接规范下,随着磁感应强度的增大短路频率先增大后减小。因此,外加磁场存在着一个最佳的磁场范围,在这个磁场范围内,短路频率均匀,电弧信号稳定,峰值电流偏小。但焊接规范不同时,磁场最佳范围值也不同,最佳趋近于 2~4 mT。

参考文献:

- [1] Modenesi P J, Nix J H. Arc instability phenomena in GMA welding[J]. Welding Journal, 1994, 73(9): 219-224.
- [2] [苏]M. A. 阿勃拉洛夫, P. Y. 阿勃杜拉赫曼诺夫著, 韦福水, 路登平译. 电磁作用焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988. 20-243.
- [3] 江淑园, 郑晓芳, 陈焕明, 等. 外加磁场对 CO₂ 焊飞溅的控制机理[J]. 焊接学报, 2004, 25(3): 65-67.
- [4] 罗键, 贾昌申, 王雅生, 等. 外加纵向磁场 GTAW 焊接机理[J]. 金属学报, 2001, 37(2): 212-216. □

(上接第 135 页)大等轴晶,最终使焊接接头的力学性能下降。

磁场频率除了通过调节驰豫时间改变晶粒的生长时间外,磁场频率还影响电弧及熔池的传热过程。磁感应强度在堆焊熔池金属熔体内渗透深度的增加可以由集肤深度 δ 来表示^[3]:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\sigma \mu \pi f}} \quad (2)$$

式中: δ 为集肤深度 (mm); σ 为熔体的电导率 (S/m); μ 为熔体的磁导率 (A/m); f 为磁场频率 (Hz)。

由式(2)可知,当磁场频率较高时,电磁场的渗透深度较小,电磁场能量主要消耗在熔体的表面,即电磁力主要集中于熔体的表面,具体表现为作用于熔体表面的约束力增加,使得堆焊层金属中硬质相在约束力的作用下很难被长大,因而成形性下降;另外由于熔化金属的机械惯性,较大的磁场频率(>20 Hz)对其搅拌作用不大。因此磁场频率和

焊接接头力学性能的关系曲线是极值曲线。

4 结论

(1)外加磁场通过与电弧的电磁作用,改变不锈钢 TIG 焊焊接过程中电弧、熔池的传质、传热过程。

(2)同一磁场强度下,磁场频率和焊接接头力学性能的关系曲线是极值曲线。

(3)当磁场频率为 20 Hz 时,焊接接头的力学性能达到最佳值,此时抗拉强度、伸长率、断面收缩率和弯曲载荷均达到最大值。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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: 西安交通大学博士论文, 1999, 28-86.
- [3] [苏]M.A. 阿勃拉洛夫, P.Y. 阿勃杜拉赫曼诺夫. 电磁作用焊接技术 [M]. 路登平, 韦福水译. 北京: 机械工业出版社, 1988, 20-53. □