

电磁搅拌对 AZ91 合金 TIG 焊接头性能的影响

孟昭北¹, 苏允海²

(1. 沈阳特种设备检测研究院, 辽宁 沈阳 110035; 2. 沈阳工业大学 材料学院, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 为了提高镁合金焊接性, 外加横向直流磁场下对厚度为 5 mm 的 AZ91 镁合金板进行 TIG 焊。通过对其不同磁场电流下所得焊接试样进行抗拉强度和硬度试验, 以及焊缝区金相组织分析, 系统地研究了磁场电流对焊接接头力学性能和微观组织的影响。结果表明, 通过外加横向磁场对熔池进行搅拌, 可以使焊缝晶粒得到细化, 进而使其抗拉强度和硬度等力学性能得到改善; 当磁场电流 $I_m=1.5$ A 时, 焊接接头的力学性能达到最大值, 此时焊缝硬度 85.27 HV, 抗拉强度为 325.2 MPa。

关键词: 磁场电流; 镁合金; 钨极氩弧焊; 横向磁场; 焊接接头

中图分类号: TG457.19

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2011)07-0156-03

Effects of Electromagnetic Stirring on Properties of AZ91 Alloy Welded Joint with TIG

MENG Zhaobei¹, SU Yunhai²

(1. Shenyang Special Equipment Inspection and Research Institute, Shenyang 110035, China; 2. School of Material Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to improve the weldability of magnesium alloy, the transverse magnetic field was used when the AZ91 alloy with 5 mm was welded by TIG. The tensile test and hardness test were carried on the welded joint with different magnetic current. The microstructure of the welded joint by optical microscope was analyzed. The effects of magnetic field current on the ultimate strength and hardness of the welded joint were studied. The results show that transverse magnetic field can refine the primary crystallization structure by electromagnetic stirring and improve the ultimate strength and hardness of the welded joint. The optimal value is obtained when magnetic field current is $I_m=1.5$ A, which is hardness 85.27 HV, and ultimate strength 325.2 MPa.

Key words: magnetic field current; magnesium alloy; TIG; transverse magnetic field; welded joint

镁合金具有密度小、比强度高、尺寸稳定性好及易加工等一系列特性, 在航天航空、机械、化工、交通、核工业、石油设备等领域具有广泛的应用前景, 被誉为 21 世纪绿色工程材料^[1-3]。镁合金作为一种新型高性能结构材料, 在实际应用中不可避免地要采用连接结构。而焊接是优先选择的连接方法之一, 但由于镁合金焊接性能差, 焊接材料的研究与发展水平低, 难以实现可靠的连接^[4]。所以, 镁合金的焊接问题已成为制约镁合金广泛应用的技术难题, 也是近年来国际、国内的研究热点问题之一。TIG 焊是目前镁合金常用的焊接方法^[5-6]。目前国内还没有成熟的镁合金焊接工艺。电磁作用焊接技术是近年来完善起来的一

种新的焊接技术, 应用也日趋广泛。实践表明: 利用外加磁场可对熔滴过渡、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, 减小化学成分的不均匀性, 从而提高焊缝金属的强度, 降低裂纹和气孔的敏感性, 改善焊接接头的质量。本实验在对镁合金进行 TIG 焊时加入与电弧轴向垂直的横向磁场, 研究外加磁场对焊接接头组织及性能的影响。

1 实验材料及方法

母材为轧制态 AZ91 合金, 试件规格为 100 mm×65 mm×5 mm; 焊丝规格为 350 mm×3 mm×2.5 mm, 化学成分与母材相同, 具体成分(质量分数, %)为: 8.9Al, 0.7Zn, 0.35Mn, 0.03Cu, 其余为 Mg。

焊接设备为 WSE-500 型交流脉冲氩弧焊机。实验时外加磁场是横向磁场, 该磁场由安装在工件下面的线圈产生, 磁场的电流和频率可以调节, 产生的磁力线与电弧轴线垂直。为了避免电流过大时导线

收稿日期: 2010-10-20

作者简介: 孟昭北(1959-), 男, 辽宁沈阳人, 高级工程师, 现主要从事压力容器运行检验和压力容器产品制造监督检验, 发表论文 6 篇, 曾获国家部级科学进步三等奖一项。

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

绝缘层被击穿,线圈绕制过程中每绕一层就用绝缘纸隔开。本文讨论磁场电流对 AZ91 镁合金 TIG 焊接头组织及性能的影响。焊接工艺参数为:焊接电流 $I_c=80A$,氩气流量为 $7\sim 9L/min$,磁场频率为 $10Hz$,钨极直径为 $2mm$,喷嘴直径为 $10mm$ 。

焊后,沿焊缝横向截取金相试样,经用 500、1000、2000 号砂纸研磨,再用抛光机抛光,用 60ml 乙二醇+20ml 醋酸+1ml 浓硫酸+19ml 蒸馏水配成的腐蚀液腐蚀后再用吹风机吹干,最后用 OLM-PUSBX-6 金相显微镜观察其微观组织。用 HX-1 型维氏硬度仪测试接头处各部位的硬度值。将试件制成拉伸试样,在万能试验机上进行拉伸试验。

2 实验结果及分析

2.1 磁场电流对焊接接头显微组织的影响

图 1 为不同磁场电流(I_m)作用下焊缝的显微组

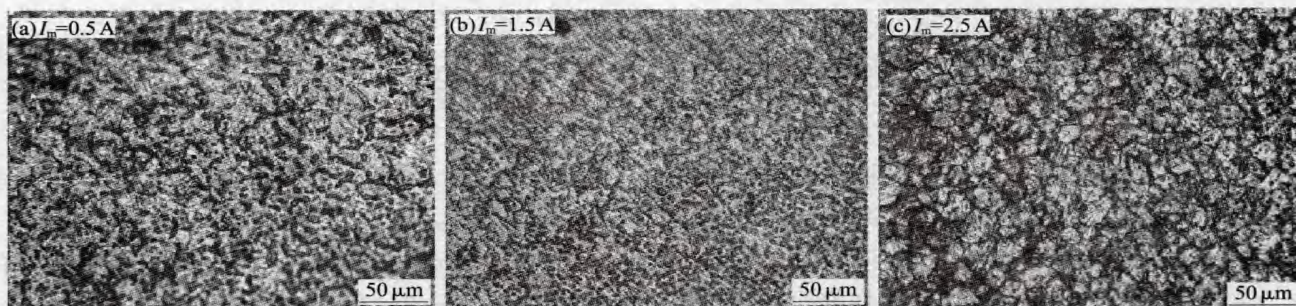


图 1 不同磁场电流作用下焊缝的显微组织

Fig.1 The microstructure of welded joint under different magnetic field current

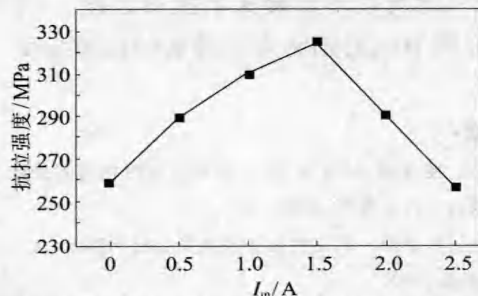


图 2 抗拉强度随磁场电流的变化曲线

Fig.2 Variation of ultimate tensile strength of welded joint with I_m

可看出, I_m 在 $0\sim 1.5A$ 之间时,抗拉强度随着 I_m 的增加呈现上升趋势,当 I_m 达到 $1.5A$ 时抗拉强度达到最大值 $325.2MPa$; I_m 大于 $1.5A$ 时,焊接接头的抗拉强度出现下降趋势。这是因为 I_m 越大,电磁力越大,因而波动越激烈,晶粒细化效果越显著,组织越致密抗拉强度越高;但是随着 I_m 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

织。焊缝组织由细小的等轴晶 $\alpha-Mg$ 及 $\beta-Al_{12}Mg_{17}$ 共晶体组成,其中 $\beta-Al_{12}Mg_{17}$ 共晶体呈网状偏聚分布于晶界。当 I_m 在 $0.5\sim 1.5A$ 范围内逐渐增加时,焊缝晶粒尺寸逐渐变细,共晶组织生成的数量明显增多,呈条状断续分布于晶界;当 I_m 为 $1.5A$ 时,焊缝晶粒尺寸最细小,如图 1(b)所示。在一定范围内的磁感应强度有助于晶粒细化,晶粒越细晶界的面积就越大,晶界对位错的阻碍作用也就越大,从而使强度提高;同时晶界面积增加使杂质浓度减少,避免产生延晶脆性断裂^[7]。晶粒越细,在一定体积内晶粒的数目越多,在同样的变形量下,变形量分散在更多的晶粒内进行^[8]。当 I_m 大于 $1.5A$ 时,则随着 I_m 的增大,晶粒变得粗大,接头的性能下降。 $I_m=2.5A$ 时的焊缝组织如图 1(c)所示。

2.2 磁场电流对焊接接头力学性能的影响

图 2 为焊接接头的抗拉强度随 I_m 的变化曲线。

止力增大,抗拉强度逐渐下降。此外,由图 2 还可看出,在有外加磁场作用下试件的抗拉强度整体上高于无磁场的情况,且在 I_m 为 $1.5A$ 时最明显。

图 3 为接头硬度随 I_m 的变化图。由图可知,磁场作用下焊接接头中焊缝及热影响区的硬度要高于无磁场的情况;当 I_m 达到 $1.5A$ 时,焊缝及热影响区的硬度分别达到最大值为 $85.27HV$ 、 $94.13HV$;当

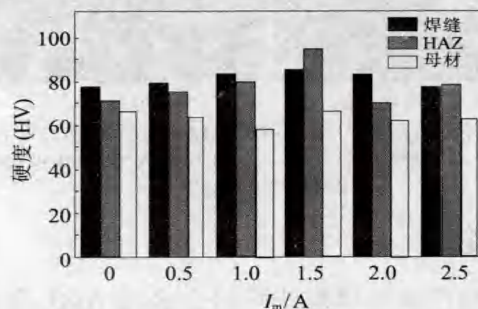


图 3 接头硬度随磁场电流的变化图

Fig.3 Variation hardness of welded joint with I_m

I_m 在 0~1.5 A 之间时, 焊缝和 HAZ 的硬度随着 I_m 的增加而逐渐增大; 当 I_m 在 1.5~2.5 A 之间时, 焊缝的硬度随着 I_m 的增加而逐渐减小, HAZ 变化不明显。 I_m 为 2.5 A 时 HAZ 硬度为 77.8 MPa, 没有呈现规律性, 可能是由于试件内部的缺陷或是试验误差引起。从图 3 还可以发现, 热影响区的硬度大多数低于焊缝的硬度, 但高于母材的硬度。施加磁场对母材的硬度基本没有影响, 这是由于母材处于固态, 受到外加磁场的影响作用不大。

3 结论

(1) 在横向直流磁场下对 AZ91 镁合金 TIG 焊, 合适的工艺参数下, 可以显著改善镁合金的焊接性, 提高焊接接头的力学性能。

(2) 发现在 I_m 为 1.5 A 时, 焊接接头力学性能最好: 抗拉强度为 325.2 MPa, 焊缝硬度为 85.27 HV。

(3) 横向磁场可使电弧提高其稳定性, 焊接热量集中, 熔池搅拌均匀, 改善焊缝金属的结晶形态,

增加形核率, 细化晶粒。通过对焊缝的金属性能及组织的分析, 发现在一定范围内随着 I_m 的增大, 电磁搅拌效果更加明显, 焊缝的性能显著提高。

参考文献:

- [1] Mordike B L. Magnesium properties applications potential [J]. Material Science and Engineering, 2001, A302(1):37-45.
- [2] Krista Johnson. Magnesium automotive applications [J]. Advanced Materials and Process, 2002, 160(6):62-65.
- [3] 冯吉才, 王亚容, 张忠典. 镁合金焊接技术的研究现状及应用 [J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(2):166-168.
- [4] 潘际奎. 镁合金结构及焊接 [A]. 第十一届全国焊接会议论文集 [C]. 2005.
- [5] Kazuhio N N. Weldability of magnesium alloy [J]. Journal of Light Metal Welding & Construction, 2001, 39(12):26-35.
- [6] 陈永, 刘晓芳, 刘胜新, 等. 镁合金-氩混合气体 TIG 焊焊接接头组织分析 [J]. 轻合金加工技术, 2007, 35(9):35-37.
- [7] 刘华. 均匀试验设计的方法与应用 [J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2003, 20(1):12-16.
- [8] 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]. 焊接技术, 2001, 22(5):73-75. 

(上接第 155 页)空化作用, 充分消除材料表面的氧化膜, 促进原子扩散, 是熔液迅速润湿其表面。有无超声波作用对金属液的影响可以从图 6(a)、(b)中看出。图 6(b)表明, 超声波可以提高钎料合金和氧化铝的相互作用, 因此加速了钎料合金与氧化铝表面的润湿。另外, 超声波可以在没有任何金属流动的情况下加速钎料和基体合金之间的相互作用。

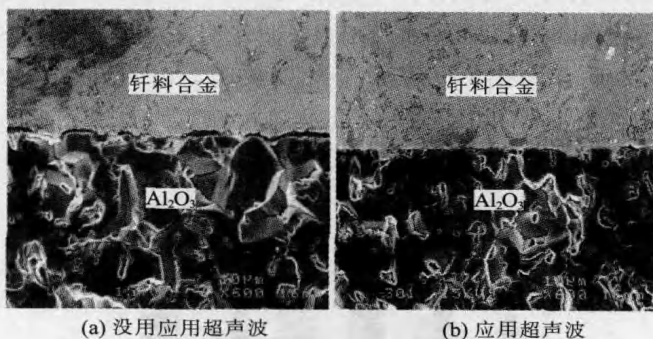


图 6 有无采用超声波作用的 Al_2O_3 与钎料界面照片
Fig.6 The interface of Al_2O_3 and filler with and without ultrasonic waves

3 结论

(1) 超声波可以加快钎料合金与 Al_2O_3 和金属表面之间的润湿性。

(2) 通过对界面微观组织的观察, 可以发现不同的反应层均含有固溶体和金属间化合物。

(3) 采用 Zn-Sn 钎料时, 增加钎料合金中锡的含量会降低接头的抗剪强度。

(4) 采用 Zn-Al 钎料时, 增加钎料合金中铝的含量到 5% 时可以增加接头的抗剪强度, 而当铝的含量增加到 10% 时则将降低接头的抗剪强度。

参考文献:

- [1] 刘联宝, 杨钰平, 柯春和, 等. 陶瓷金属封接技术指南 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [2] 尹衍生, 张景德. 氧化铝陶瓷及其复合材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [3] 刘征, 高陇桥. 俄罗斯真空电子器件用无氧铜的现状和应用 [J]. 真空电子技术, 2005, (1):62-65.
- [4] Masaaki NAKA, Michimasa MAEDA, Ikuo OKAMOTO. Ultrasonic brazing of alumina to copper using Zn-Al filler [J]. Transactions of JWRI, 1989, 18(1):75-79.
- [6] Masaaki NAKA, Khalid HAFEZ, Applying of ultrasonic waves on brazing of alumina to copper using Zn-Al filler alloy [J]. Journal of Material Science, 2003, 38(16):3491-3494.
- [5] Naka M, Kubo M, Okamoto I. Metal-ceramic joint [J]. MRS Int. Symp. Proc., 1989, (8):61-65. 