

AZ91 镁合金 TIG 焊接接头组织性能的磁场控制

张广柱, 鲁海龙

(吉林工业职业技术学院, 吉林 132013)

摘要:将外加纵向交流磁场引入到 5 mm 厚 AZ91 镁合金板的 TIG 接焊中,研究磁场电流对其焊接接头力学性能和微观组织的影响。结果表明,外加纵向磁场通过旋转电弧对熔池进行搅拌,可以使焊缝晶粒得到细化,进而使焊接接头的抗拉强度和硬度等力学性能得到改善;当磁场电流 $I_m=1$ A 时,焊接接头的力学性能达到最大值,此时焊缝硬度为 88.09 HV,接头抗拉强度为 269.3 MPa。

关键词:磁场电流;镁合金;钨极氩弧焊;显微组织;力学性能

中图分类号: TG146.2⁺2; TG444⁺.71

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2013)01-0210-02

Magnetic Field Control of Microstructure and Properties of TIG Welded Joint of AZ91 Alloy

ZHANG Guangzhu, LU Hailong

(Jilin Vocational College of Industry and Technology, Jilin 132013, China)

Abstract: AC longitudinal magnetic field was used on TIG welding of AZ91 alloy plate (in 5 mm thickness). When magnetic current changes, the effect on the mechanical properties and microstructure of welded joint were studied. The results show that the AC longitudinal magnetic field stirs the welding pool through the rotating arc, which can refine the crystal grain and improve the tensile strength and hardness of the welded joint. When the magnetic current is 1 A, the mechanical properties of the welded joint reach the maximum, at this point, the hardness of the weld seam is 88.09 HV, the tensile strength of the welded joint is 269.3 MPa.

Key words: magnetic current; magnesium alloy; GTAW; microstructure; mechanical properties

由于镁合金热强度低、熔点低和流动性差,使得成型主要集中在压铸工艺上,但要想使镁合金得到广泛应用,焊接无疑是需要首先解决的关键问题^[1]。实践证实:外加磁场一方面通过干预焊接过程中熔滴的过渡形式和液态熔池金属的流动,影响熔池中晶粒的形核过程和生长方式,打乱枝晶的生长方向,改变结晶形态;另一方面可以减小残余应力,提高焊缝金属的强度,降低裂纹和气孔的敏感性。本试验采用 TIG 焊接,并在焊接过程中加入与电弧轴向平行的交流纵向磁场,希望借助外加磁场的作用,实现改善焊接接头组织、提高力学性能。

1 试验材料与方法

以轧制态的 AZ91 镁合金为母材,试板规格为 5 mm×65 mm×100 mm,焊丝选用 2.5 mm×3 mm×350 mm。试验采用钨极氩弧焊对试板进行对接焊,焊机为 WSE-500。焊接过程所加磁场是以一定频率间歇

交变的纵向磁场,磁场线圈安装在工件下方,磁场频率和磁场电流可调。本文只讨论磁场电流 (I_m) 对 AZ91 镁合金 TIG 接头组织及性能的影响。试验过程中固定磁场频率及焊接电流,焊接工艺参数:焊接电流 80 A,氩气流量 12~15 L/min,磁场频率 10 Hz,钨极直径 2.5 mm,喷嘴直径 10 mm。

焊接完成后,沿焊接接头的横向,截取金相及拉伸试样,用 OLMPUS BX-6 金相显微镜观察焊缝的显微组织,用 HX-1 型维氏硬度仪测试接头处各部位的硬度,万能材料试验机进行拉伸试验。

2 试验分析及结果

2.1 磁场电流对焊接接头力学性能的影响

图 1 为焊接接头硬度随磁场电流的变化曲线。可看出,施加磁场的试件要比未施加磁场的试件硬度值大;随着磁场电流的增大,焊缝硬度值随之提高,在 $I_m=1$ A 时达到最大值(88.09 HV)。这是因为磁场搅拌作用使焊缝组织变细从而达到细晶强化的效果。但随着磁场电流的进一步增加,接头硬度有下降的趋势。因为在此时,焊缝区域内的热量增加,使得

收稿日期:2012-08-05

作者简介:张广柱(1963-),男,吉林桦甸人,讲师,工学学士,主要从事机械工程和教学工作

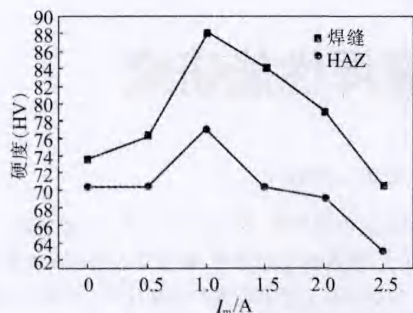


图 1 焊接接头硬度随磁场电流变化曲线

Fig.1 Hardness of welded joint under different magnetic current

液态熔池的过冷度减少,降低了形核率,引起晶粒粗大,降低焊接接头的力学性能。从曲线中可以看出热影响区(HAZ)硬度变化的幅度没有焊缝的大。出现这种现象的原因是热影响区组织变化不是很大^[2]。

图 2 为焊接接头拉伸性能随磁场电流的变化曲线。可看出,焊接接头的抗拉强度在磁场作用下比无磁场情况的大,而且,焊接接头的抗拉强度随磁场电流的增加而增加,并在 $I_m=1\text{ A}$ 时达到最大;当 $I_m>1\text{ A}$ 时,焊接接头的抗拉强度呈减小趋势。焊接接头的伸长率和断面收缩率随磁场电流变化的曲线与试件的抗拉强度规律相似,当 $I_m=1\text{ A}$ 时达到最大值, $\delta=7.1\%$ 、 $\psi=19.12\%$ 。

2.2 磁场电流对焊接接头显微组织的影响

图 3 是不同磁场电流作用下焊缝的显微组织。可看出,焊缝组织由初生相 $\alpha\text{-Mg}$ (呈亮色)及第二相 $\alpha\text{-Mg}$ 与 $\beta\text{-Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 共晶体(呈黑色)组成。无磁场状态下,镁合金晶界的宽度较大,且此处聚集大量第二相并彼此联通形成网格,将基体以块状形式包裹在内部,如图 3(a)所示。出现上述现象主要得益于焊接过程中冷却速度较快和铝的溶解度突变。在急速冷却过程中,焊缝区域液态镁析出的铝大于溶解到固态镁中的量,造成铝在晶界处局部过剩,在此处区域易产生伪共晶物质,即形成大量第二相,将基体包裹其中。当 $I_m=1\text{ A}$ 时,焊缝中的显微组织变化十分明

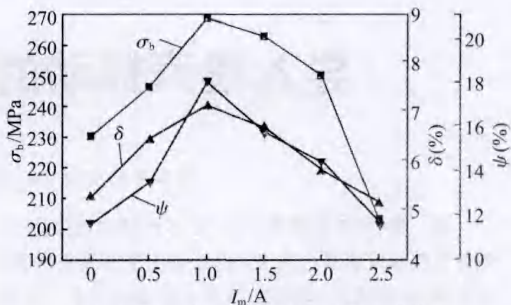


图 2 拉伸性能随磁场电流的变化曲线

Fig.2 Tensile properties under different magnetic current

显,晶粒组织细化程度最大,而且第二相明显被球化,弥散分布于基体之间,如图 3(b)所示,这使得第二相的作用由原先的割裂基体转变为“钉扎”基体,对提高焊缝的综合力学性能十分有利,力学性能数据可以证实此点。产生上述变化,主要是因为电磁搅拌的作用效果随着磁场电流的逐渐增加而日渐明显,焊缝区域形核率也逐渐提高,细化效果逐渐显现,当磁场电流为 1 A 时,上述作用效果得到了最佳匹配,进而焊缝的显微组织最为细化,第二相分布形态最优,力学性能得到最佳匹配。但当磁场电流进一步增大并大于 1 A 时,焊缝区域的显微组织细化趋势终止,相反出现了变粗的现象。

2.3 磁场电流对焊接电弧和熔池的作用

磁场电流对焊接电弧和熔池的作用分两方面:一方面,磁感应强度将随着磁场电流的增加而增加,电弧在电磁力的作用下将加速旋转,焊接电弧的形态由圆锥形转变成钟罩形,此时的钟罩面是一个高速旋转的封闭型导电面,即焊接电弧变成空心式的电弧,焊接电弧在纵向交流磁场作用下受到交变磁场的影响将传递给熔池,使得熔池按照电弧的变化形态进行变化,但是略有滞后,即焊接熔池按正反向交替运动,使熔池中弧心区的液态金属沿着熔池熔合线向熔池的尾部运动,产生了熔池中物质的交换,构成了电磁搅拌^[3]。这种电磁搅拌作用,将改变熔池

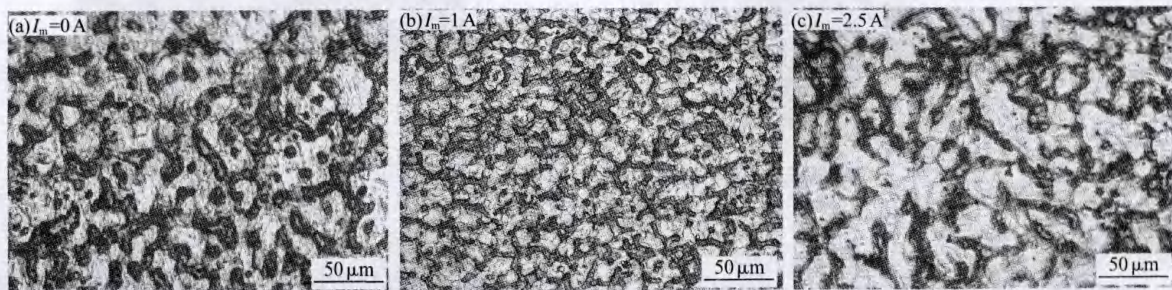


图 3 不同磁场电流下焊缝的显微组织

Fig.3 Microstructure of magnesium alloy welded seam under different magnetic currents (下转第 214 页)

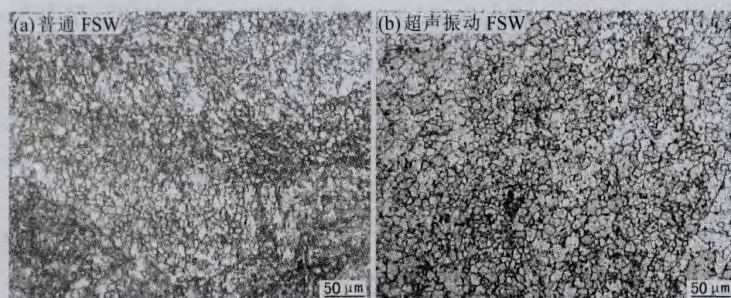


图4 焊核区组织对比图

Fig.4 Comparison of microstructures in nugget zones

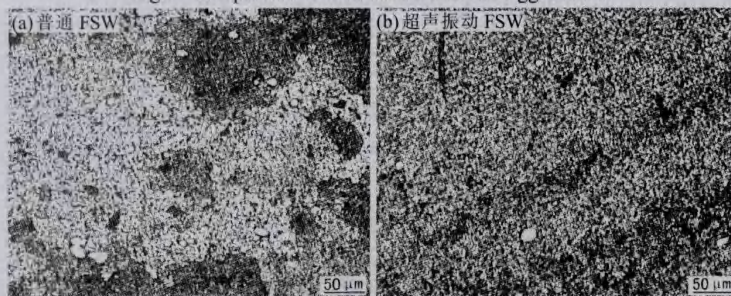


图5 热机影响区组织对比图

Fig.5 Comparison of microstructures in thermo-mechanically affected zone

细小及分布均匀些。这说明在超声振动能量影响下,塑性流动加剧,导致再结晶组织均匀和细化。

3 结论

(1) 超声振动能改善 FSW 焊接接头的力学性能, 导入超声振动的 FSW 焊接接头的平均抗拉强度、屈服强度和平均伸长率都比普通 FSW 焊接接头的有所提高。

(上接第 211 页)中液态金属的结晶、形核条件, 细化焊接接头的晶粒, 减少偏析。另一方面, 作为导体的熔池在运动时将切割外加磁场的磁力线, 从而产生感应电流, 而且感应电流的大小与外加磁场电流成一定比例变化。随磁场电流的增大, 熔池中的感生电流也在增大, 根据电阻热公式可知, 此时焊缝中由感生电流产生的热量(电磁阻尼作用)逐渐增多, 这些多余的热量若不能及时散出, 将使焊缝液态熔池高温停留时间延长, 即晶粒的生长时间增长, 对晶粒长大十分有利, 易出现粗晶。若外加磁场在合适范围时, 磁场的电磁搅拌作用效果好于电磁阻尼效果, 此时晶粒细化, 第二相球化, 接头力学性能提高; 若外加磁场(电流)过大时, 磁场的电磁搅拌作用效果差于电磁阻尼效果, 则此时焊缝金属将粗化, 第二相网状分布, 恶化焊接接头的综合力学性能。

3 结论

(1) 纵向交流磁场可以改善镁合金的焊接性,

(2) 超声振动能使焊缝区金属微粒获得附加能量, 产生高频振动, 热运动加剧, 温度局部升高, 进而变形阻力下降, 流变行为增加, 晶体位错增大, 产生较为明显的晶粒细化和组织均匀化的积极效应。

(3) 在普通 FSW 过程中, 沿搅拌针轴向方向导入的超声机械振动能, 加剧了晶粒的上下运动, 有效地促进焊缝底部金属材料的流动, 提高了焊接接头的性能。

参考文献:

- [1] 夏罗生. 搅拌摩擦焊工艺倾角研究 [J]. 热加工工艺, 2011, 40(15):135-137.
- [2] 周鹏展, 贺地求, 舒霞云. 旋转速度对高强铝厚板搅拌摩擦焊温度场的影响 [J]. 焊接技术, 2005, 34(2):10-11.
- [3] 张彦富, 柯黎明, 孙德超. 搅拌摩擦焊焊缝区温度分布及对材料流动的影响 [J]. 南昌航空工业学院学报(自然科学版), 2003, 17(3):12-16.
- [4] 刘清梅. 超声波对金属凝固特性及组织影响的研究 [D]. 上海: 上海大学, 2007.
- [5] Colegrove P A, Shercliff H R. Two-dimensional CFD modelling of flow round profiled FSW tooling [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2004, 9(6):483-492.
- [6] Feng Z, Gould J E, Lienert T J. A heat flow model for friction stir welding of aluminum alloys [A]. Hot deformation of aluminum alloys II. The minerals, metals & materials society [C]. Trobridge, UK, 1998.149-158. H

且在合适的参数下焊接接头的力学性能会显著提高。当磁场电流为 1A 且磁场频率为 10Hz 时, AZ91 镁合金焊接接头力学性能最优: 抗拉强度为 269.3 MPa, 伸长率为 7.1%, 断面收缩率为 19.12%, 焊缝硬度为 88.09HV。

(2) 纵向交流磁场可促使电弧收缩、旋转, 对熔池搅拌作用增强, 改善焊缝金属的结晶形态, 增加形核率, 细化晶粒, 提高焊接接头力学性能。但是当磁场电流过大时, 由于感应电流产生大量的热输入, 接头性能反而下降, 并产生热裂纹。

参考文献:

- [1] 苏允海, 刘政军, 王玉, 等. 磁场参数对 AZ31 焊接接头组织和性能的影响 [J]. 焊接学报, 2007, 28(5):45-48.
- [2] Wu S H. Evolution of microstructure and Texture in Mg-Al-Zn alloys during electron-beam and gas tungsten arc welding [J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2004, 35(8):2455-2469.
- [3] Kous Le Y. Improve weld quality by low frequently arc oscillation [J]. Welding Journal, 1985, 64(3):51-55. H