

变形镁合金填丝 TIG 焊接工艺及组织性能分析

董长富, 刘黎明, 赵 旭

(大连理工大学 材料工程系, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 采用自动填丝 TIG 焊接工艺连接变形镁合金 AZ31B 板材, 研究填丝 TIG 焊接与非填丝 TIG 焊接的异同点, 并分析不同成分的焊丝对焊接接头的影响, 探索出了合理的焊接工艺参数, 分析了焊缝微观组织及拉伸断口。结果表明, 与非填丝 TIG 焊相比, 填丝 TIG 焊的焊接工艺更加复杂, 接头强度有了较大的提高, 组织更均匀。针对不同焊丝的焊接接头分析表明, 随着填丝 TIG 焊接中焊丝含铝量的增加, 热影响区及焊缝区的白色共晶相逐渐增多并有呈连续分布的趋势, 同时晶粒趋于细小。该共晶体的增多对接头性能影响较为复杂, 一方面由于脆性相 $Mg_{17}Al_{12}$ 的增多而降低了接头强度, 另一方面又因晶粒的细化以及铝元素的固溶而提高接头强度。拉伸结果显示采用 AZ61 焊丝的接头强度最高, 断口分析表明, 为混合断口。

关键词: 镁合金; 填丝 TIG 焊接; 接头强度

中图分类号: TG403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2005)02-33-04



董长富

0 序 言

镁合金是工业应用中最轻的结构金属, 具有较高的比强度, 其比刚度与铝合金和钢相当^[1,2]。据研究, 轿车每减少 100 kg 的重量, 油耗就降低 5%, 而如果全球每年生产的汽车中每辆能使用 70 kg 的镁合金, 全球 CO_2 的年排放量就能减少 30% 以上^[3]。因此, 镁合金在汽车工业中的应用日益广泛。众所周知, 任何材料只有被加工成构件以后, 才真正具有使用价值, 而焊接是形成构件必不可少的加工手段。作为应用最为普遍的 TIG 焊接, 与填丝的结合是提高接头强度的最有效方法。

采用填丝 TIG 焊接变形镁合金 AZ31B, 研究了填丝 TIG 焊接与非填丝 TIG 焊接的差别, 并分析了采用不同成分的焊丝对焊接接头的影响, 探索出了合理的焊接工艺, 并分析了微观组织及拉伸断口, 为该种材料的实际应用提供有益的试验数据和理论基础。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

AZ31B 镁合金板材采用挤压法制备, 微观组织

如图 1 所示, 尺寸为 300 mm × 120 mm × 2.5 mm, 化学成分见表 1, 力学性能见表 2。填充焊丝为 AZ31、AZ61、AZ91, 采用挤压法制备, 规格为 $\phi 1.2$ mm, 采用氩气作为保护气。焊前板材、焊丝去除表面的油脂和氧化膜。

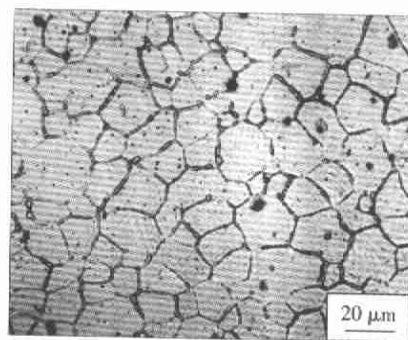


图 1 AZ31B 镁合金微观组织

Fig. 1 Microstructure of AZ31B magnesium alloy

表 1 AZ31B 镁合金的化学成分 (质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of AZ31B magnesium alloy

Al	Zn	Mn	Ca	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
2.5 ~ 3.5	0.5 ~ 1.5	0.2 ~ 0.5	0.04	0.10	0.05	0.005	0.005	余量

1.2 试验步骤

对 AZ31B 镁合金板材进行对接、交流填丝 TIG 自动焊接。焊接时焊枪位置保持固定, 夹持工件的

表 2 AZ31B 镁合金的力学性能

Table 2 Mechanical properties of AZ31B magnesium alloy

拉伸强度 σ /MPa	延伸率 δ (%)	硬度 HV0.5
259	21	55

工作台水平移动,要求单面焊,双面成形,一次焊透。焊接试验装置如图 2 所示。焊后利用 CSS-2205 型电子万能试验机(抗拉强度取 3 个试样的平均值)测试焊接接头的力学性能,拉伸试件几何尺寸及截取位置如图 3 所示。采用光学显微镜、扫描电子显微镜 JSM-5600LV 及其附件 LINK ISIS 6587 型能谱仪、XRD-6000 型 X 射线衍射分析仪分析焊缝微观组织。采用扫描电子显微镜 JSM-5600LV 分析断口。

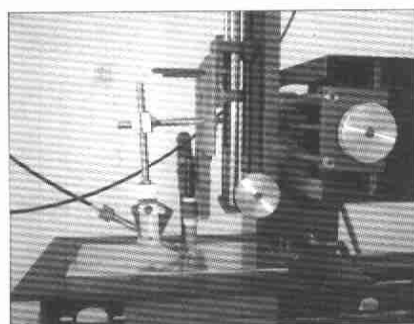
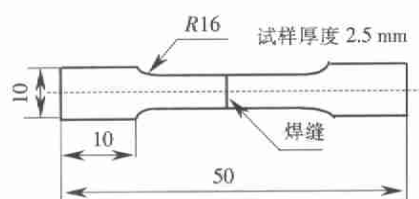
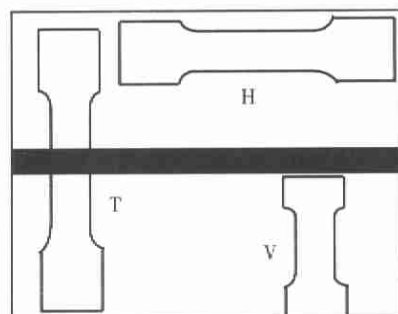


图 2 试验装置图

Fig.2 Experimental equipment



(a) 拉伸试样几何尺寸



(b) 拉伸试样截取位置

图 3 焊接接头拉伸试件几何尺寸及截取位置

Fig.3 Geometry and position of tensile specimen

2 试验结果及其讨论

2.1 焊接工艺参数

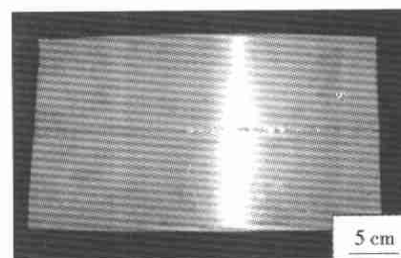
相对于非填丝 TIG 焊接,填丝 TIG 焊要求更大的电流,焊接速度也较大。由于采用了填丝,送丝速度也是影响焊缝成形的重要因素。文中采用了正交试验确定合理参数,设计的因素水平表见表 3。

表 3 焊接参数因素水平表

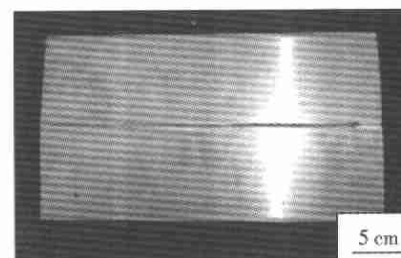
Table 3 Factor level table of welding parameter

电弧长度 L/mm	焊接电流 I/A	焊接速度 $v_1/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	送丝速度 $v_2/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$
0.7	80	8	20
1.4	85	10	30
2.2	90	12	40
2.8	95	14	50

通过上述的正交试验以及不断摸索,得出最佳的焊接参数为,弧长 1.7~2.2 mm,焊接电流 90~95 A,焊接速度 10~13 mm/s,送丝速度 30~40 mm/s。并得到成形良好的焊缝见图 4。



(a) 焊缝正面



(b) 焊缝背面

图 4 焊缝外观

Fig.4 Weld appearance

2.2 接头的组织特征分析

2.2.1 填丝 TIG 焊接接头与非填丝 TIG 焊接接头组织对比

沿垂直于焊缝方向取样,将制备好的金相式样,

用浓度为4%的氢氟酸溶液侵蚀,在光学显微镜下观察焊接接头的组织特征。图5a、b为填丝TIG焊接接头与非填丝TIG焊接接头宏观照片,可以看出,宏观上填丝TIG焊接接头焊缝上表面较宽且有余高。微观组织分析见图5c、d,可以发现与非填丝TIG焊接接头相比,填丝TIG接头组织更加均匀,热影响区较窄,熔合线清晰。

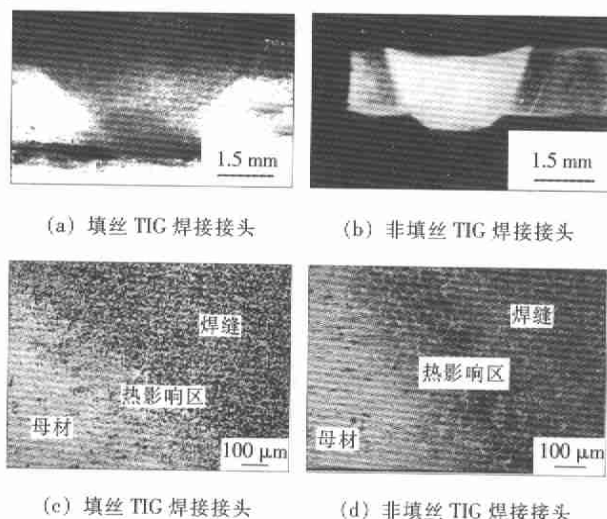


图5 填丝TIG焊接接头与非填丝TIG焊接接头组织对比
Fig.5 Contrast between TIG welding joint with filler metal and TIG welding joint without filler metal

2.2.2 焊丝成分对接头微观组织的影响

采用光学显微镜及扫描电镜分析不同焊丝的接头微观组织,如图6所示。

从图中可看出,采用三种焊丝的接头组织都较均匀。随着焊丝含铝量的增加,热影响区及焊缝区的白色共晶相逐渐增多并有呈连续分布的趋势,同时晶粒趋于细小。通过对采用AZ91焊丝的接头进行能谱分析,见图7,发现该白色共晶相铝含量为10.65%,应为铝在镁中的固溶体和金属间化合物 $Mg_{17}Al_{12}$ 形成的共晶体,通过X射线衍射也证实了 $Mg_{17}Al_{12}$ 的存在,如图8所示。该共晶体的增多对接头性能的影响比较复杂,一方面由于脆性相 $Mg_{17}Al_{12}$ 的增多以及连续分布而降低了接头强度,另一方面又由于晶粒的细化以及铝元素的固溶而提高了接头强度。

2.3 接头强度分析

为了分析填丝TIG焊接质量与非填丝TIG焊接的差别以及焊丝成分对接头强度的影响,进行了拉伸试验,拉伸速度为5 mm/min,试验前填丝TIG焊接试样上下表面磨平去除余高,见表4。

由表中可知,填丝TIG焊接接头的抗拉强度均高于非填丝TIG焊接接头。其中采用AZ61焊丝的

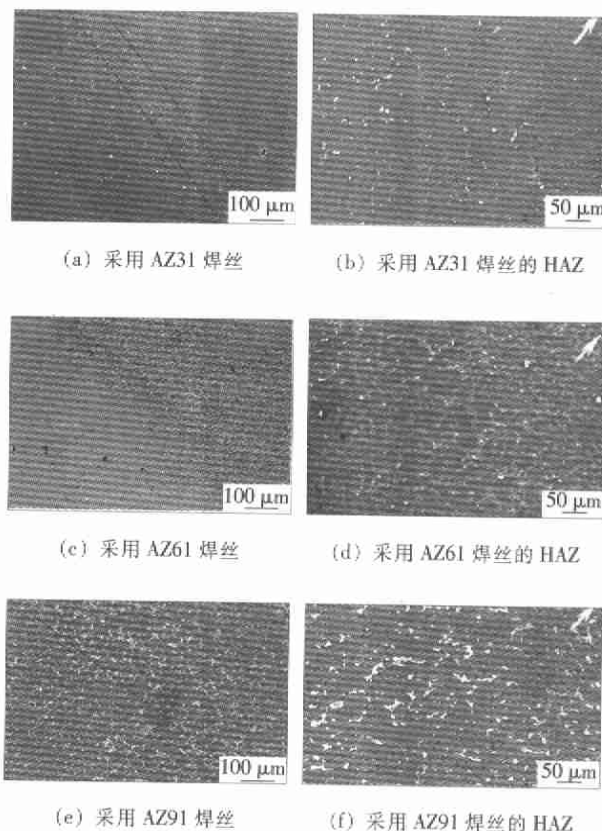
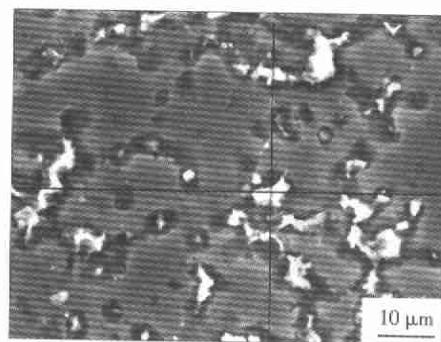
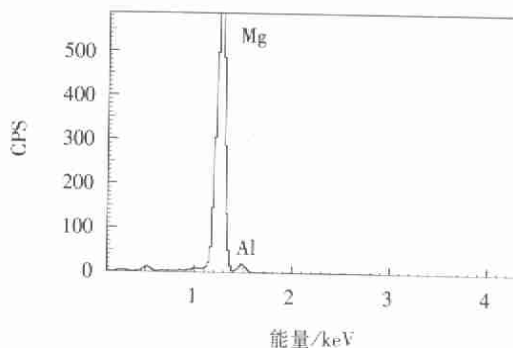


图6 接头微观组织形貌
Fig.6 Microstructure of joint



(a) 取点位置



(b) 能谱分析结果

图7 能谱分析

Fig.7 Energy spectrum analysis

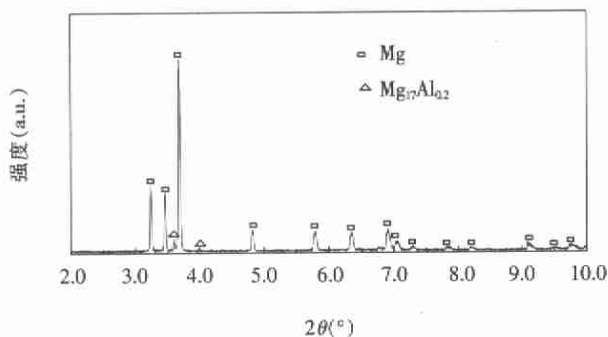


图8 X射线衍射分析

Fig.8 XRD analysis

表4 拉伸试样的力学性能

Table 4 Tensile properties of specimen

样本	抗拉强度 σ /MPa	断裂位置
TIG 焊 T 样本	200	HAZ
填 AZ31 丝 - TIG 焊 T 样本	234	HAZ
填 AZ61 丝 - TIG 焊 T 样本	243	HAZ
填 AZ91 丝 - TIG 焊 T 样本	226	HAZ
V 样本	259	中央位置
H 样本	260	中央位置

接头强度可达母材的94%,采用AZ31焊丝接头强度次之,达到了90%。而采用AZ91焊丝的接头强度最低,为母材的87%左右。拉伸断口的SEM分析表明(见图9),采用不同填丝的断口形貌类似,具有部分脆性断裂的形貌特征,它们是解理和塑坑组成的混合断口。

[上接第27页]

4 结 论

(1) 焊缝内表面及其附近处的轴向应力和环向应力均是拉应力,而外表面是压应力,接头处内表面应力水平高于外表面;径向应力数值远低于环向应力和轴向应力。

(2) 各方向残余应力的最大值均位于距管道外表层一定距离处,其数值接近于材料的屈服点应力。

参考文献:

- [1] Rybicki E F, Stonesifer R B. The effect of pipe thickness on residual stresses due to girth welds[J]. Journal of Pressure Vessel Technology, 1982, 104(8): 204-209.

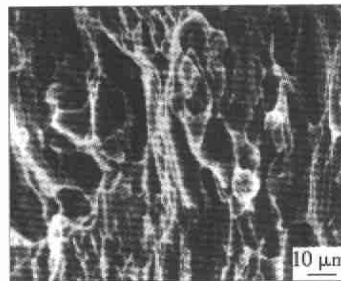


图9 拉伸断口的微观形貌

Fig.9 Tensile fracture morphology

3 结 论

(1) 填丝TIG焊接接头与非填丝TIG焊接接头相比焊缝上表面较宽且有余高,而微观组织更均匀,热影响区较窄,熔合线清晰。通过拉伸试验表明填丝TIG焊接的接头强度较非填丝TIG焊接接头均有提高。

(2) 随着填丝TIG焊接中焊丝含铝量的增加,热影响区及焊缝区的共晶相逐渐增多并有呈连续分布的趋势,晶粒趋于细小。该共晶体的逐渐增多对接头性能的影响比较复杂,一方面由于脆性相 $Mg_{17}Al_{12}$ 的增多而降低了接头强度,另一方面又由于晶粒的细化以及铝元素的固溶而提高了接头强度。拉伸结果表明AZ31B母材采用AZ61焊丝时接头强度最高。

参考文献:

- [1] 吕宜振. Mg-Al-Zn合金组织、性能、变形和断裂行为研究[D]. 上海,上海交通大学,2001.
- [2] Ruden T J. Magnesium castings for auto applications[J]. Advanced Mater & Processes, 1994, 145(6): 28-32.
- [3] Decker R F. The renaissance in magnesium[J]. Advanced Mater & Processes, 1998, 154(9): 31-33.

作者简介: 董长富,男,1976年2月出生,硕士研究生。主要研究方向为镁合金焊接材料及焊接工艺,发表论文2篇。

Email: Liulm@dlut.edu.cn

- [2] Dong Y, Hong J K. Finite element modeling of residual stresses in austenitic stainless steel pipe girth welds[J]. Welding Journal, 1997, 76(10): 442s-449s.
- [3] Byj K Hong. Assessment of numerical procedures for resident stress analysis of multipass welds[J]. Welding Journal, 1998, 77(9): 372s-371s.
- [4] 董俊慧, 霍立兴, 张玉凤. 环焊缝管道焊接应力应变三维有限元分析[J]. 机械工程学, 2001, 37(12): 84-96.
- [5] 陈丙森. 计算机辅助焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999. 112-118.
- [6] 林 燕. 厚壁管道环焊缝残余应力的数值模拟[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2004.

作者简介: 董俊慧,男,1961年10月出生,工学博士,教授,博士生导师。主要从事焊接结构强度与断裂、焊接残余应力与变形数值模拟等研究工作,发表论文30余篇。

Email: jhdong@imut.edu.cn