

● 焊接技术 ●

不同焊丝对 LY12 铝合金 TIG 焊接头组织与性能的影响

陈和, 杨成刚, 郑强, 何宇, 余爱武

(南昌航空大学 轻合金加工科学与技术国防重点学科实验室, 江西 南昌 330063)

摘 要:采用 4 种焊丝对 LY12 铝合金进行 TIG 焊, 并对焊接接头的显微组织及力学性能进行了研究。结果表明: 在焊丝中添加 Ti、Zr 元素可以细化焊缝的组织。当用未含 Ti、Zr 或只含 Ti 元素的焊丝进行焊接时, 焊缝组织为树枝晶, 接头力学性能较差; 当用含有 Ti、Zr 元素的焊丝进行焊接时, 焊缝组织明显细化, 为细小的等轴晶, 显著提高了接头力学性能。

关键词:LY12 铝合金; 焊丝; 显微组织; 力学性能

中图分类号:TG422.3; TG457.14

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2014)09-0159-03

Effect of Welding Wires on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded Joint of LY12 Aluminum Alloy

CHEN He, YANG Chenggang, ZHENG Qiang, HE Yu, YU Aiwu

(National Defence Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract:LY12 aluminum alloy was welded by using four kinds of welding wires with TIG welding method. The microstructure and mechanical properties of the welded joint were investigated. The results show that Ti and Zr elements additions in welding wires can refine the microstructure of weld metal. The microstructure of weld metal was dendrites with welding wires, without Ti, Zr or only with Ti. The mechanical properties of the welded joint is poor. The microstructure of the weld metal is finer with welding wires with Ti, Zr, which show fine equiaxed grains, then the mechanical properties of the welded joint greatly increase.

Key words:LY12 aluminum alloy; welding wire; microstructure; mechanical properties

LY12 铝合金是一种 Al-Cu-Mg 系热处理强化型合金, 具有良好的综合力学性能, 在航空、航天、雷达天线、舰船制造等工业部门中得到广泛应用。但 LY12 铝合金的焊接性能较差, 焊接过程中容易产生热裂纹, 且焊缝的强度低、塑性差, 影响了 LY12 铝合金作为焊接结构件的推广应用。为了避免 LY12 铝合金在焊接过程中产生热裂纹, 采用抗热裂纹性能较好的 Al-Si 系焊丝(如 ER4047), 但其焊缝的塑性较差。为改善焊缝金属抗裂性能, 同时提高焊缝力学性能最有效的方法就是细化焊缝的组织, 而添加孕育剂细化焊缝组织的效果最显著。Ti

或 Zr 是铝合金铸造中常用的晶粒细化剂, 然而国内外研究表明, 铝合金中 Ti 与 Zr 的细化作用是不相容的^[1-4]; 但目前广泛应用的铝铜合金 2219 以及 ER2319 焊丝都含有少量的 Ti 和 Zr 元素, 说明 Ti 和 Zr 元素可以共存, 两者相矛盾。鉴此, 本文通过采用 ER4047、ER4043、ER2319 以及自行研制的 E1 四种焊丝对 LY12 铝合金进行焊接, 并对焊接接头组织及性能进行研究, 分析 Ti、Zr 复合作用对接头组织及其性能的影响, 以获得适合焊接 LY12 铝合金的焊接材料。

1 试验材料与方法

试验用 4 种焊丝及母材 LY12 铝合金的化学成分见表 1。采用 lincolnTIG-355 交直流氩弧焊机对进行对接焊, 试样的尺寸为 150 mm×45 mm×2 mm, 采用单面焊双面成形, 焊接时保护气体为纯度 99.99% 的氩气。

收稿日期:2013-09-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51165038, 51201087); 省教育厅科技计划项目(GJJ13496, GJJ12453); 航空科学基金项目(2011ZE56005)

作者简介:陈和(1990-), 男, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要从事铝合金焊接材料、焊接工艺及焊接性研究; 电话:0791-83863023; E-mail:13767152100@163.com

表 1 母材和焊丝的化学成分(质量分数, %)

Tab.1 Chemical composition of base metal and welding wire (wt%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr	Al
LY12	0.5	0.5	3.8~4.9	0.3~0.9	1.2~1.8	0.3	0.15	-	余量
ER4047	12	≤0.80	≤0.03	≤0.15	≤0.10	-	-	-	余量
ER4043	5	0.08	0.3	0.05	0.05	0.10	0.20	-	余量
ER2319	0.2	0.3	5.8~6.8	0.2~0.4	0.2~0.4	0.1	0.1~0.2	0.1~0.2	余量
E1	0.2	0.3	5.8~6.8	0.2~0.4	0.2~0.4	-	0.26	0.33	余量

焊前先将试样加工成 V 形坡口,然后用不锈钢钢丝刷清理坡口两侧氧化膜,再用丙酮清洗坡口两侧的油污。焊接工艺参数见表 2。焊后将焊接试件加工成标准拉伸试样,在 W9W-50 型微机控制电子万能试验机上进行拉伸试验,拉伸速率 2mm/min;在 401MVD 型数字显微硬度计上测定接头的显微硬度;用 4XB-TV 型显微镜观察接头的微观组织。

表 2 焊接工艺参数

Tab.2 Welding process parameters

焊接电流 /A	焊接速度 /(mm·s ⁻¹)	氩气流量 /(L·min ⁻¹)	钨极直径 /mm	喷嘴直径 /mm
94	2.5	10	1.7	10

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头显微组织

图 1 为 ER4047 焊丝所焊 LY12 铝合金接头的显微组织。可看出,焊缝主要以 $\alpha(\text{Al})$ 为基体,在 $\alpha(\text{Al})$ 的晶界和枝晶间分布有 $\alpha(\text{Al})+\text{Si}$ 的二元共晶组织。焊缝区为粗大树枝状晶,枝晶发达;熔合区靠近焊缝的一侧为胞状晶。图 2 为 ER4043 焊丝所焊 LY12 铝合金接头的显微组织,焊缝区大部分为树

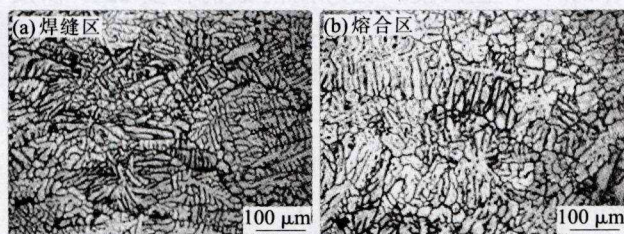


图 1 ER4047 焊丝所焊接头不同区域显微组织
Fig.1 Microstructure of welded joint with ER4047

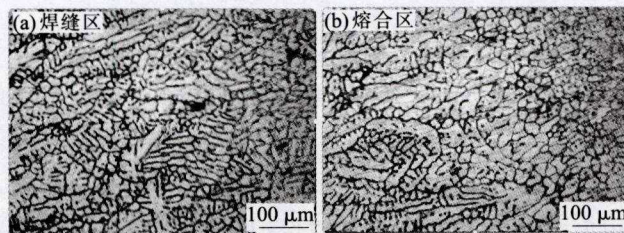


图 2 ER4043 焊丝所焊接头不同区域显微组织
Fig.2 Microstructure of welded joint with ER4043

枝状晶,并含有少量的等轴晶,其组织相比 ER4047 要细小;熔合区靠近焊缝一侧为胞状晶。图 3 为 ER2319 焊丝所焊 LY12 铝合金接头的显微组织,可看出焊缝组织主要以 $\alpha(\text{Al})$ 为基体,在 $\alpha(\text{Al})$ 的晶界和枝晶间分布有 $\alpha(\text{Al})+\theta(\text{CuAl}_2)$ 相的二元共晶组织,焊缝区为等轴晶组织,其晶粒尺寸相比 ER4043 的要细小;熔合区靠近焊缝一侧为胞状晶。图 4 为 E1 焊丝所焊 LY12 铝合金接头的显微组织,焊缝区为细小的等轴晶组织且晶粒大小均匀,其焊缝组织为所有焊缝组织中最细小;熔合区为等轴晶组织。

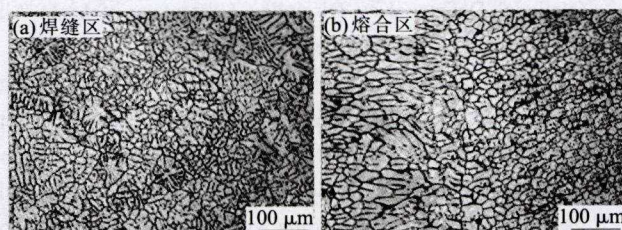


图 3 ER2319 焊丝所焊接头不同区域显微组织
Fig.3 Microstructure of welded joint with ER2319

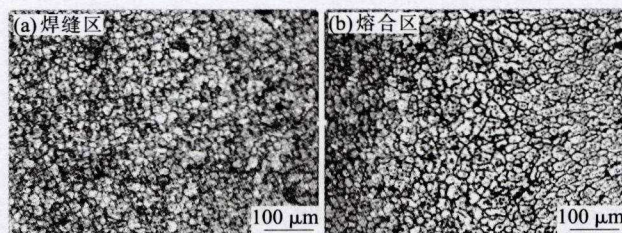


图 4 E1 焊丝所焊接头不同区域显微组织
Fig.4 Microstructure of welded joint with E1

ER4043 焊丝中含有少量的晶粒细化元素 Ti,它能增加焊缝的非均匀形核率^[5],因此采用 ER4043 比采用 ER4047 焊丝焊接,焊缝的显微组织要细小。采用 ER2319 焊丝焊接,焊缝的显微组织比 ER4047 和 ER4043 焊接时焊缝的组织都要细小。然而采用 E1 焊丝焊接,焊缝的组织更为细小。由此可见,Ti、Zr 复合作用能够细化焊缝的组织,且随着 Ti、Zr 含量的增加焊缝组织逐渐细化,当焊丝中 Ti、Zr 含量分别为 0.26%、0.33%时焊缝组织最细,细化效果最好。

2.2 焊接接头显微硬度分布

图 5 为不同焊丝所焊 LY12 铝合金焊接接头的显微硬度分布。采用 ER4047 焊丝焊接时,焊缝中心处的硬度最低,为 93.7 HV;远离焊缝区,硬度先逐渐升高,距焊缝中心 2.5 mm 处达到峰值 117.7 HV,随后逐渐降低,进入软化区;而后随距焊缝中心距离的增大又逐渐增加,直至达到母材硬度。采用 E1 焊丝焊接时,焊缝中心处的硬度最低,为 102.3 HV;远离焊缝区,接头的硬度呈现出先升高再降低然后又升高的趋势。E1 焊丝焊接焊缝区的硬度高于 ER4047 焊丝焊接焊缝区的硬度。

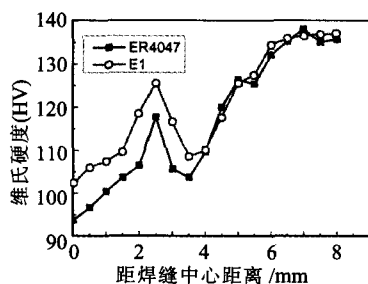


图 5 不同焊丝焊接接头的显微硬度分布
Fig.5 Microhardness distribution of welded joint with different welding wires

焊缝区硬度最低是由于焊缝金属凝固时发生溶质再分配的缘故,当熔池开始凝固时,先析出溶质含量较少的 $\alpha(\text{Al})$ 固溶体,其它一些溶质原子如 Cu、Mg、Si、Mn 等元素被排挤到低熔点的液相中,待凝固过程结束,富含溶质原子的液相在晶界形成了共晶相,从而降低了合金元素对铝合金的强化效果。由于 E1 焊丝中含有晶粒细化元素 Ti、Zr,焊缝组织为细小的等轴晶(图 4(a)),而 ER4047 焊丝中不含 Ti、Zr,焊缝组织为粗大的树枝状晶(图 1(a)),因此 E1 焊丝比 ER4047 焊丝所焊焊缝的硬度高。热影响区的硬度与母材相比发生了明显的软化。原因是该区域经历了充分的加热,发生了平衡相的 θ 脱溶、析出和聚集长大,即发生了“过时效”,因此降低了热影响区的硬度^[6]。随着距焊缝距离变远,受到焊接热循环的影响减弱,析出相长大倾向减小,硬度逐渐升高。

2.3 焊接接头拉伸性能

表 3 为不同焊丝所焊 LY12 铝合金接头抗拉强度。可见,采用 E1 焊丝焊接的接头抗拉强度最高,为 285.7 MPa,接头强度系数为 69.3%;其次是采用 ER2319 焊丝焊接的接头,而采用 ER4047 焊丝焊接的接头抗拉强度值最低,为 226.6 MPa,接头强度系数仅为 55%。由于 ER4047 焊丝中不含 Ti、Zr 等细化元素,焊缝区的晶粒粗大。而 ER4043 焊丝含有少

表 3 不同焊丝焊接接头的抗拉强度

Tab.3 Tensile strength of welded joint with different welding wires

焊丝	R_m/MPa	接头强度系数(%)	断裂位置
ER4047	226.6	55	焊缝
ER4043	250.4	60.8	焊缝
ER2319	269.8	65.5	焊缝
E1	285.7	69.3	焊缝

量的细化元素 Ti,对焊缝组织有一定的细化作用,因而抗拉强度比 ER4047 有所提高。ER2319 焊丝中含有 Ti、Zr 元素,焊缝组织为等轴晶,接头的抗拉强度比 ER4047 和 ER4043 都高;然而 E1 焊丝比 ER2319 焊丝所焊接头的抗拉强度更高、焊缝组织更细。由此可见,Ti 和 Zr 复合作用有利于细化焊缝的组织提高接头的性能,且随着焊丝中 Ti 和 Zr 含量的增加,接头的抗拉强度逐渐增加,当焊丝中 Ti、Zr 含量分别为 0.26%、0.33% 时接头抗拉强度达到最大值。根据 Hall-Petch 公式,焊缝晶粒组织越细小,接头的抗拉强度就越高。对接头断口进行观察发现,其断裂部位均为焊缝,因此焊缝为接头最薄弱区域。

3 结论

(1) 采用 E1 焊丝对 LY12 铝合金进行焊接,接头抗拉强度最高,焊缝组织最为细小。

(2) Ti 和 Zr 元素的细化作用是相容的,两者复合作用有利于细化焊缝组织,提高接头性能。

参考文献:

- [1] Vinod Kumar G S, Murty B S, Chakraborty M. Effect of TiAl₃ particles size and distribution on their settling and dissolution behavior in aluminum[J]. Journal of Materials Science, 2010, 45 (11): 2921-2929.
- [2] Murty B S, Kori S A, Chakraborty M. Grain refinement of aluminum and its alloys by heterogeneous nucleation and alloying [J]. International Materials Reviews, 2002, 47(1): 3-7.
- [3] Chandrashekar T, Muralidhara M K, Kashyap K T, et al. Effect of growth restricting factor on grain refinement of aluminum alloys [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 40(3-4): 234-241.
- [4] Kwon Y D, Lee Z H. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of Al-4.5Cu-0.6Mn and A356 alloys[J]. Materials Science and Engineering A, 2003, 360(2): 372-376.
- [5] 崔海超,左秀荣. Ti、Sc、Zr 对铝合金微观组织的影响[J]. 铸造技术, 2007, 28(1): 64-68.
- [6] 国旭明,杨成刚,钱百年,等. 高强 Al-Cu 合金脉冲 MIG 焊工艺[J]. 焊接学报, 2004, 25(4): 5-9. [H]