

铝合金 ZL114A 的激光焊接工艺

王志敏 顾兰 李宏伟 刘刚 成晓芳

(北京航星机器制造公司,北京 100013)

文 摘 主要研究了铝合金 ZL114A 的激光焊接工艺特性。首先对其可焊性进行了摸索,然后探讨了激光焊接工艺参数对焊缝熔深、焊缝宽度以及接头组织和力学性能的影响。结果表明,选择适当的激光焊接工艺参数,如:激光功率、焊接速度、离焦量、保护气体流量等,可以获得高质量的焊缝。组织观察发现,焊缝组织致密、晶粒细小,接头强度可以满足使用要求。

关键词 铝合金 ZL114A,激光焊接,工艺参数

Laser Welding Process of Aluminum Alloy ZL114A

Wang Zhimin Gu Lan Li Hongwei Liu Gang Cheng Xiaofang

(Beijing Hangxing Machinery Manufacturing Corporation, Beijing 100013)

Abstract The laserwelding is used to weld the aluminum casting alloy ZL114A and the technical characteristics of laserwelding process is investigated. First, the weld ability test is carried outs, and then the effects of parameters on the depth, width of the welding seam and structures and the mechanical properties of the joint are discussed. The results show that, if the appropriate parameters of the laserwelding are adopted, such as the laser power, welding speed, defocusing amount, shield gas flow rate and etc., the high quality joint can be obtained. By the microstructure observation, it is found that the microstructures of the weld are compact and the grains are fine. In addition, the tensile strength test shows that it can satisfy the operating requirements. The results of this experiment possess an instructive significance for the production in laserwelding of ZL114A.

Key words Aluminum alloy ZL114A, Laserwelding, Parameters

0 序言

铝合金的激光焊接是近些年才引起广泛关注的焊接新技术。铝及铝合金的激光焊接比较困难:由于工件表面在焊接开始阶段的反射率极高又不稳定;随着温度的升高,氢在铝中的溶解度急剧增加,焊缝中存在气孔;极易出现裂纹等缺陷,因此对焊接工艺的要求非常高^[1]。

ZL114A 的焊接性比防锈铝合金差,含气量高,组织不均匀,熔焊时容易产生气孔等缺陷,焊前为热处理强化状态,接头强度远低于母材;其线胀系数大,热导性强,焊接时容易变形,因此激光焊接的难度非常大。目前国内还没有这方面的报道。

本文对 ZL114A 进行了 YAG 激光焊接试验。针对焊接工艺参数对焊缝熔深、焊缝宽度以及接头组织

和性能的影响进行了初步摸索,分析了焊接接头的微观组织及力学性能。旨在为加快这一工艺在我国 ZL114A 材料结构件上的应用提供依据。

1 材料及方法

使用 YAG 固体激光器,在平板焊接工装上进行平板对接纵缝试验。试样尺寸为:300 mm ×100 mm ×2 mm。ZL114A 的成分见表 1。

表 1 ZL114A 的化学成分

Tab 1 Chemical composition of ZL114A % (质量分数)

Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Al
6.5~7.5	0.1	0.45~0.75	0.1	0.2	0.08~0.25	余量

焊接接头形式为锁底对接。焊前对试板进行了化学清洗、烘干、打磨刮削等清理工作,然后进行焊接装配。装配时,主要控制装配间隙和装配错位。因材

收稿日期:2006-12-28;修回日期:2007-02-28

作者简介:王志敏,1977 年出生,工程师,主要从事氩弧焊、滚焊及激光焊技术的研究

料需要焊透的厚度比较薄,故试验采用单纯激光焊接的方法,不添加焊丝。引入一路不同轴氩气作为保护气。

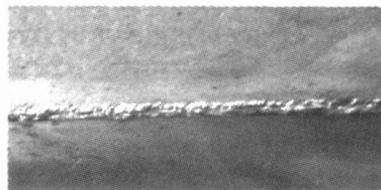
2 结果及分析

2.1 工艺参数的选取

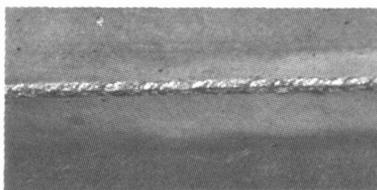
在激光焊接过程中,影响焊缝成形和焊接质量的主要是激光功率、焊接速度、离焦量、保护气体流量等^[2]。在观察焊缝成形后,主要通过调整这几个参数来进行工艺试验。

激光功率和焊接速度一起决定了焊接的热输入,这是焊接中最重要的两个工艺参数。因为对于波长为 $1.06\ \mu\text{m}$ 的 YAG 激光,铝在室温时对入射光束的初始反射率为 93%^[3],又有较高的热导率,使得铝合金熔池很难生成和维持,所以需要比焊接其他材料更高的功率密度才能形成并维持焊接熔池,实施激光焊接。

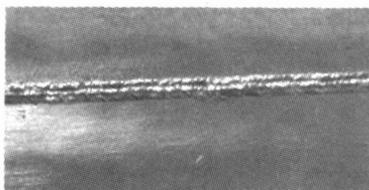
焊接时采用较大的激光功率需要合适的焊接速度匹配,否则达不到理想的熔深,或者熔池凹陷而导致焊缝表面成形不好。速度过快时,熔池内金属反应剧烈,冷却速度快,焊缝内部气孔尺寸较大,飞溅也大。通过试验发现,当激光输出功率为 $2.0\sim 2.4\ \text{kW}$ 、焊接速度为 $1\ \text{m/min}$ 、离焦量 F 为 0、保护气体流量为 $1.0\ \text{m}^3/\text{h}$ 时,可以获得表面成形良好、过渡圆滑、飞溅较少、内部气孔数量较少的焊缝,见图 1。



(a) $F=0$



(b) $F=-1$



(c) $F=1$

图 1 激光焊缝

Fig 1 Laser welding seam

离焦量不仅影响工件表面光斑直径的大小,而且影响光束的入射方向,因而对焊缝形状、熔深和横截面积有较大的影响。当采用离焦量 $F=-1$ 焊接时 [图 1(b)],基本无飞溅,且焊缝熔宽较窄。当采用离焦量 $F=1$ 时,可以获得略宽的焊缝。有细颗粒状飞溅,数量比采用负离焦时要多。切割后发现,采用负离焦的与采用正离焦和离焦量为 0 时相比熔深略浅,经 X 光检查发现内部气孔数量也有所减少。

铝合金激光焊接传统上采用 Ar 、 N_2 及 He 三种保护气体,理论上 He 最轻且电离能最高,美国的激光焊接试验中多采用 He 气作为保护气体。在相同的热输入下,使用 Ar 气作为保护气体获得的熔深没有使用 He 气时获得的熔深大。为了增加焊接铝合金时的熔深,可以采用混合气体进行保护。

2.2 拉伸强度试验

拉伸强度试验按 GJB 2651—89 焊接接头拉伸试验方法,切取试样。接头的拉伸强度为 $243.3\ \text{MPa}$ 。经观察焊缝的断裂部位多数为热影响区,个别为焊缝。这批试料的母材经 T6 热处理后的平均拉伸强度为 $300\ \text{MPa}$,从试验结果可以看出,焊缝的强度可达到母材的 80%,满足使用要求。

2.3 金相分析

图 2 为激光焊接接头的断面形貌照片。与图 3 典型激光焊的焊缝进行比较可以看出,在这个工艺参数下得到的焊缝是介于典型的激光深熔焊缝和激光传导焊缝之间的。这是因为铝合金表面对激光具有高反射率,材料吸收的能量密度不足以维持激光深熔焊时小孔的稳定存在。

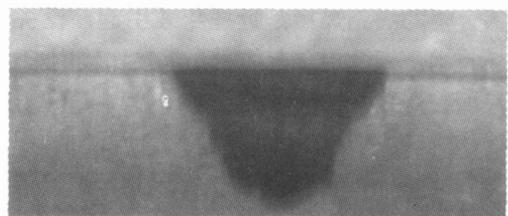
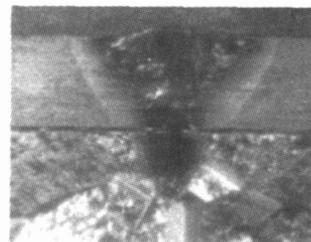
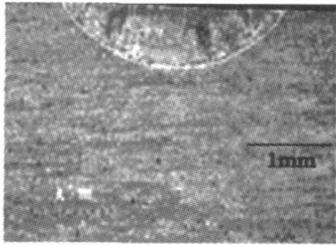


图 2 接头的宏观断面形貌

Fig 2 Photographs of welding joint



(a) 焊接熔深



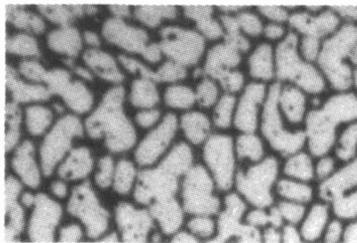
(b) 普通焊缝

图 3 典型激光焊接的焊缝形状

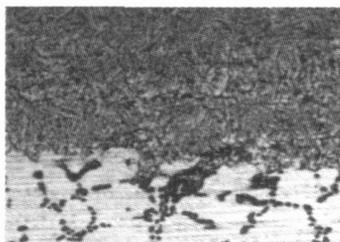
Fig 3 Macrophoto of typical laser beam welding

要想增加激光焊接铝合金的熔深,还要从提高材料对激光能量的吸收率、维持小孔的稳定存在等方面多做研究。

图 4是焊缝中心区域和熔合线附近区域的显微金相组织。



(a) 焊缝中心区 400 ×



(b) 熔合线区域 100 ×

图 4 焊缝的显微组织

Fig 4 Microstructure of ZL114A in laser welding

由图 4可以看出,接头的组织均为 (Al)固溶体

和 Al-Si共晶组织。母材比焊缝组织粗大得多,说明焊缝冷却速度比母材快得多。粗大的白色树枝状截面是 (Al)固溶体,其间的黑色部分是 Al-Si共晶。焊缝中心部分近于等轴树枝晶。邻近熔合线则相反,形成定向细小树枝晶。说明焊缝中心部分因冷却速度较低而成份过冷较大。同时发现焊接接头热影响区不明显,无晶粒长大的现象,这是因为在焊接过程中激光能量高度集中,铝合金热导率高,致使焊接接头处的温度梯度很大,再加上晶粒细化元素存在限制了晶粒长大。

3 结论

(1)采用 YAG固体激光焊接工艺实现了铸造铝合金 ZL114A的焊接。当焊接速度为 1 m/min、离焦量 F 为 0、保护气体流量为 1.0 m³/h时,可以获得表面成形良好、过渡圆滑、飞溅较少、内部气孔数量较少的焊缝。

(2)从焊接接头的宏观形貌可以看出,焊接过程是处于激光热传导焊和激光深熔焊中间的一个状态,说明目前采取的工艺参数和材料的状态还不能维持小孔的稳定存在,要进行激光深熔焊还要增大焊接能量密度。

(3)焊接接头的热影响区不明显,无晶粒长大现象,焊缝中心部分近于等轴树枝晶。母材组织比焊缝组织粗大得多。

(4)在本试验条件下,焊接接头的拉伸强度可达母材的 80%。

参考文献

- 1 刘世永,孟德,黄德康. 铝合金激光焊接的研究现状. 机械工程材料, 2004; 28(9): 5~8
- 2 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册,第 1卷,焊接方法和设备. 北京:机械工业出版社, 2001
- 3 曾大富,高炜祺,白景成. 铝外壳密封激光焊接技术探讨. 微电子学, 1997; 27(3): 202~205

(编辑 吴坚)