

激光焊接 ZL114A/5A06 异种铝合金接头组织及性能

李宏伟 姚为 王志敏 陈绍勇 果建文

(北京航星机器制造公司,北京 100013)

文 摘 采用激光焊接 ZL114A/5A06 异种铝合金,通过参数优化以获得性能优良的焊接接头,利用光学显微镜(OM)、拉力试验机、高温疲劳试验机、SEM 和 EDS 对接头的显微组织、力学性能和拉伸断口进行了研究。结果表明:焊缝中心区的金相组织为等轴晶;接头焊后不经热处理,抗拉强度可达到 265 MPa,为母材强度的 80% 以上,并有很好的抗疲劳性能;断口分析显示断裂位置在 ZL114A 母材一侧的熔合线附近;在保证焊透的前提下,激光功率越小,晶粒越细小,接头强度越高。对框架蒙皮结构铝合金贮箱产品试验件进行了焊接,试验件达到了产品各项性能指标要求。

关键词 激光焊接,ZL114A 铝合金,5A06 铝合金,异种铝合金

Microstructure and Properties of Dissimilar Aluminum Alloys ZL114A/5A06 Joints by Laser Welding

Li Hongwei Yao Wei Wang Zhimin Chen Shaoyong Guo Jianwen

(Beijing Hangxing Machinery Manufacturing Corporation, Beijing 100013)

Abstract Excellent ZL114A/5A06 joints by laser welding were obtained after parameter optimization. The microstructure, tensile strength and tensile fracture were analyzed by means of optical microscopy(OM), tensile testing machine, high temperature fatigue testing machine, scanning electron microscopy(SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry(EDX). The results show that the microstructure of the central welding zone is equiaxed crystal. The average tensile strength of untreated welding joints can reach 265 MPa, which is more than eighty percent of that of base metal, excellent fatigue resistance of the joints is also demonstrated. The fracture appears near the fusion line of ZL114A, and under the premise of full weld penetration, the lower laser power, the smaller crystal size and the higher tensile strength. Aluminum alloy conduit-head with stressed-skin construction was successfully welded and can meet the requirements.

Key words Laser welding, ZL114A aluminum alloy, 5A06 aluminum alloy, Dissimilar aluminum alloy

0 引言

铸造铝合金 ZL114A 和防锈铝合金 5A06 是航天产品中用途广泛的结构材料,前者属 Al-Si 系铸造铝合金,后者属 Al-Mg 系变形铝合金。

目前铝合金的常用焊接方法有 TIG 焊、MIG 焊、电子束焊、激光焊等。TIG 焊、MIG 焊由于热输入量较大,焊接变形大,接头软化现象严重,很难获得性能良好的接头。电子束焊存在能量控制难度大及生产效率低等缺点。激光焊具有高能量密度、低热输入、高精度、小变形、深穿透、高效率、不受电磁干扰等优点而广泛应用到航空、航天、汽车、微电子等行

业^[1-3]。目前对于同种铝合金材料的激光焊已有较多研究,但对于 ZL114A 和 5A06 异种铝合金材料的激光焊接还鲜有报道。本文采用激光进行 ZL114A 和 5A06 两种材料的焊接。

1 实验

1.1 材料

ZL114A 试板的规格为 400 mm×105 mm×5 mm (其中 2 mm 的锁底),5A06 试板的规格为 400 mm×100 mm×3 mm。接头为锁底对接,接头形式如图 1 所示。两种材料的化学成分见表 1^[4]。

收稿日期:2010-06-24;修回日期:2010-08-30

作者简介:李宏伟,1978 年出生,硕士,工程师,主要从事激光焊接方面的研究。E-mail:ilylh@ yahoo. com

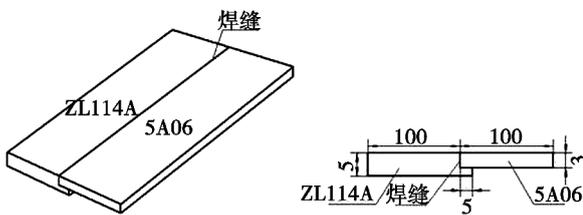


图1 ZL114A和5A06激光焊接头形式示意图

Fig.1 Schematic diagram of ZL114A/5A06 joint by laser welding

表1 ZL114A和5A06母材的化学成分

Tab.1 Chemical composition of ZL114A and 5A06 wt%

牌号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	其他	Al
ZL114A	6.5-7.5	0.2	0.1	0.1	0.45-0.75	0.1	0.08-0.25	0.15	余
5A06	0.4	0.4	0.10	0.5-0.85	8-6.8	0.2	0.02-0.1	0.1	余

焊前对焊接区域进行严格清理。先用旋转钢丝刷将焊缝及其附近 20 mm 区域及锁底区域进行打磨,端面及尖角处用刮刀刮削,直到完全露出亮白色金属本体,经丙酮清洗干燥后进行焊接。

1.2 设备及方法

采用激光数控焊接机,激光器为 YAG 固体激光器,输出额定功率为 4 kW。试验的主要参数见表 2。

表2 ZL114A和5A06激光焊试验主要焊接参数

Tab.2 Primary parameters of laser welding

试件	激光功率/kW	焊接速率/m·min ⁻¹	保护气流量/m ³ ·h ⁻¹
1	1.9	1.2	1.0
2	2.0	1.2	1.0
3	2.1	1.2	1.2
4	2.2	1.2	1.2
5	2.2	1.2	1.1
6	2.3	1.2	1.0
7	2.4	1.2	1.0
8	2.4	1.2	1.2

焊后采用铣削方法在每组接头的焊缝区域截取各种检测试样。按 GB/T2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》加工接头试样。

采用 SEM 型高温疲劳机(附扫描电镜)进行疲劳强度试验;用 SZL-03 立式显微镜进行接头区域的金相组织观察;采用 JSM-6400 扫描电镜(SEM)进行断口形貌分析;用阿波罗-40 能谱仪进行断口成分分析。

2 结果及分析

2.1 力学性能

2.1.1 拉伸试验

从表 3 可以看出,接头抗拉强度与两种母材相比均有下降,断后伸长率略小于 ZL114A 母材。ZL114A 属于热处理强化型铸造铝合金,焊后会产生软化,导致接头

抗拉强度和伸长率均下降较多。

表3 ZL114A和5A06激光焊接头拉伸试验结果

Tab.3 Tensile testing results of ZL114A/5A06 laser

welding joints

试件	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	备注
ZL114A 母材	≥300	≥4.0	-
5A06 母材	≥315	≥16	-
1	74	0.6	未焊透
2	190	3.0	未焊透
3	265	3.0	焊透
4	265	4.5	焊透
5	250	3.5	焊透
6	245	3.0	焊透
7	235	3.0	焊透
8	215	2.5	焊透

从表 3 还可看出,在焊透的情况下,接头强度随激光功率的增大而减小。功率为 2.1-2.3 kW 时,能达到 ZL114A 母材强度的 80% 以上,功率再增大接头强度就低于母材 ZL114A 的 80% 了。这是因为,在焊接速率不变的前提下,激光功率越大,焊接热输入量越大,导致焊缝及热影响区的晶粒增大,从而使抗拉强度降低。

2.1.2 疲劳试验

疲劳强度试验条件为:载荷 0-80 MPa,频率 10 Hz,时间 3 h。经检测,所有试件在 3 h 内均未出现裂纹。图 2 为第 3 组试件进行疲劳试验后接头区域的形貌。

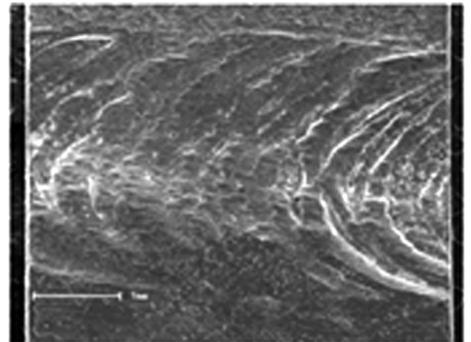


图2 试件疲劳试验后形貌

Fig.2 Morphology of ZL114A/5A06 joint after fatigue testing

2.2 拉伸断裂位置分析

在抗拉强度测试中发现,试样均断裂在 ZL114A 母材一侧熔合线附近,结合断口形貌分析,可以判断拉伸断裂位置如图 3 虚线所示,断口上部显现为焊缝区形貌,断口下部显现为 ZL114A 母材侧热影响区形貌。由此证明,在 ZL114A 与 5A06 异种材料激光焊接时,其接头的薄弱位置在母材一侧的熔合线附近。

如图 3 所示,在这条熔合线左侧是 ZL114A 热影响

区,这一区域在激光焊接时由于软化效应丧失了热处理强化性能,因此成为母材中的强度薄弱区;在这条熔合线右侧是焊缝的外层区域,在焊缝凝固过程中这一区域晶粒较粗大,同时由于成分梯度过渡,5A06 一侧的 Mg 等强化元素到达这一区域的量较少,因此成为焊缝中的薄弱区。这两个强度薄弱区连接在一起就成为焊接接头的薄弱位置,在承受外力载荷时最先破坏。

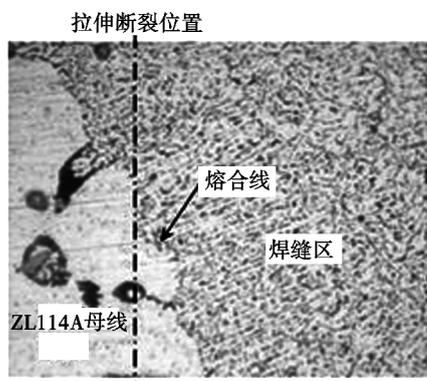
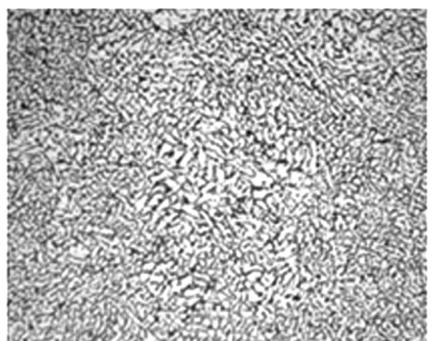


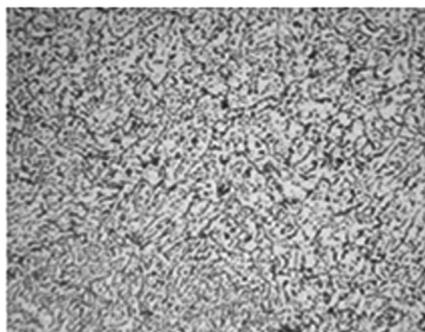
图3 拉伸断裂位置示意图 500×
Fig.3 Schematic diagram of location of fracture

2.3 接头金相组织分析

分别选取用第3组和第8组焊接的接头焊缝区进行金相组织观察,如图4所示。



(a) $P=2.1$ kW



(b) $P=2.4$ kW

图4 ZL114A 和 5A06 激光焊接接头焊缝区金相组织 500×
Fig.4 Microstructure of central welding zone of ZL114A/5A06 joint by laser welding

从图中可以看出,尽管两组焊缝组织都为等轴晶组

织,但由于热输入量及冷却速度的不同,得到的晶粒大小不一样。功率小的参数得到的焊缝晶粒较细小,功率大的参数得到的晶粒较粗大。这也解释了小功率参数得到的接头抗拉强度比大功率的要高的原因。

2.4 试件断口形貌及成分分析

用 SEM 观察了接头断口形貌,用 EDS 进行了成分分析(图5-图7)。

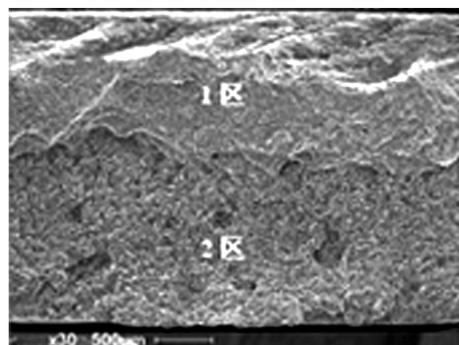
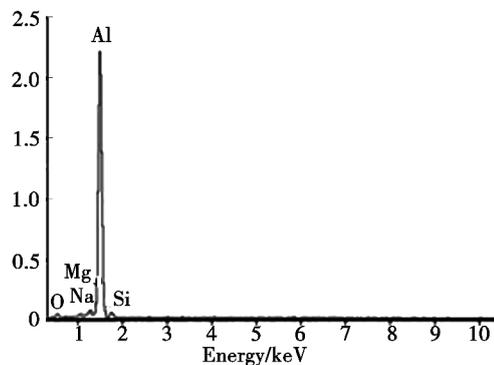
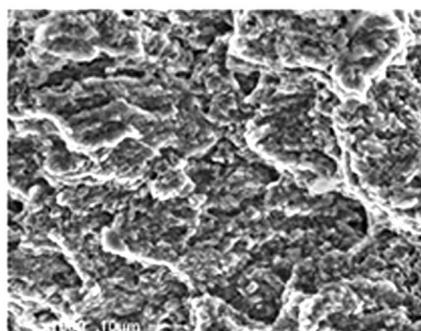


图5 接头断口低倍形貌

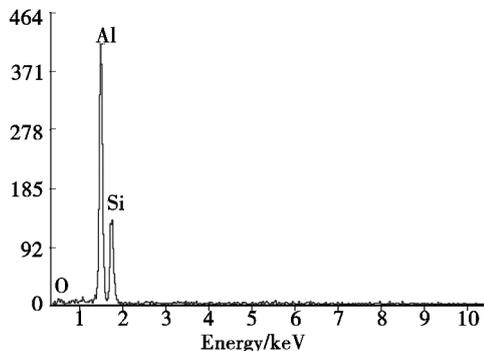
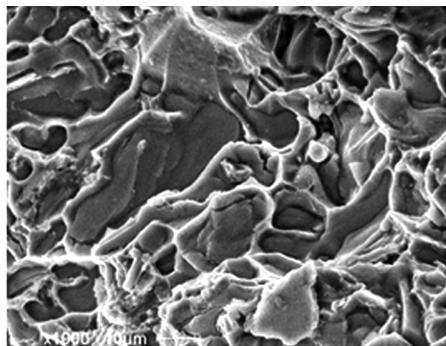
Fig.5 Surface morphology of fracture



元素	wt%	at%
Al	89.16	86.51
Si	03.75	03.49
Mg	02.02	02.17

图6 1区断口形貌和成分分析

Fig.6 Morphology and its EDS of 1 zone of fracture



元素	wt%	at%
Al	59.19	59.12
Si	36.11	34.64
Mg	00.51	00.57

图7 2区断口形貌和成分分析

Fig.7 Morphology and its EDS of 2 zone of fracture

从图5可以看出,沿断口的竖直方向明显分为两个区域。从图6、图7可以看出:1区主要为韧性断裂,2区为明显的脆性断裂(暗色区)间有少量韧性断裂(亮色区)。从能谱图分析,1区和2区的成分相对含量也存在较大差异,1区以Al元素为主,含有少量Mg和Si,其中Mg的成分没有达到5A06的水平;2区含有大量Si,并以脆性相形式在晶界析出,其微观组织形貌类似于ZL114A母材。

3 产品试验验证

根据上述研究结果,对框架蒙皮结构铝合金贮箱产

品试验件进行了焊接。其接头形式与上述试板相同,框架为ZL114A铝合金,焊缝厚度3mm,下部带2mm锁底;蒙皮为5A06铝合金,厚度3mm。采用第3组激光焊接规范进行焊接。焊后按产品使用要求进行了检测。经测量,焊接变形较小,外形尺寸能够满足使用要求;经X光检测,焊缝内部质量良好,未出现裂纹、未熔合、夹渣等缺陷;经0.25MPa液压强度试验、0.2MPa气密试验和0.15MPa渗油试验均无泄漏和破坏,接头性能良好。通过以上检测和考核,试验件达到了产品各项性能指标要求。

4 结论

(1)采用激光焊接ZL114A和5A06铝合金,经过优化焊接工艺参数,获得了力学性能良好的焊接接头,焊后不经过热处理,接头抗拉强度能够达到ZL114A母材强度的80%以上。

(2)焊缝区的金相组织为等轴晶组织,在保证焊透的条件下,功率越小,焊缝的晶粒越细小,相应的接头强度也越高。

(3)在ZL114A与5A06异种材料激光焊接时,其接头的薄弱位置为ZL114A母材侧的熔合线附近。

(4)对接头在载荷0-80MPa、频率10Hz下进行疲劳强度试验,所有试件在3h内均未出现裂纹。

(5)进行了框架蒙皮结构铝合金贮箱产品试验件的焊接,试验件达到了产品各项性能指标要求。

参考文献

[1] 机械工程学会焊接学会. 焊接手册第1卷——焊接方法及设备[M]. 北京:机械工业出版社,2002

[2] 李志远等. 先进连接方法[M]. 北京:机械工业出版社,2000

[3] 肖荣诗,陈铠,左铁钊. 高强铝合金激光焊接新进展[J]. 应用激光,2002,22(2):206-208

[4] 中国航天科工集团第三研究院. 飞航导弹材料手册上册——金属材料[M]. 2006

(编辑 吴坚)