

2524 与 7150 铝合金激光焊 T 型接头的组织与性能

郭辉华¹ 李明仁¹ 黄建科¹ 徐 亮¹ 肖荣诗²

(1 上海飞机设计研究院,上海 201210)

(2 北京工业大学,北京 100124)

文 摘 介绍了 2524 与 7150 铝合金激光焊 T 型接头优化的工艺参数,并研究了 T 型接头在优化工艺下的显微组织与力学性能,进行金相分析、显微硬度测试与接头拉伸试验。结果表明:优化工艺下焊缝没有裂纹、气孔,金相组织晶粒细小、致密,焊缝区域的硬度最低;T 型接头 *x* 方向的拉伸强度达到 384 MPa,*z* 方向的拉伸强度为 236 MPa。

关键词 2524 与 7150 铝合金,激光焊接,T 型接头,拉伸强度

中图分类号: TG456

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2017.04.012

Microscopic Analysis and Mechanical Properties of Laser Beam Welded T Joint for 2524 and 7150 Aluminum Alloys

GUO Huihua¹ LI Mingren¹ HUANG Jianke¹ XU Liang¹ XIAO Rongshi²

(1 Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210)

(2 Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract Optimum process parameters of laser beam welded T joints for 2524 and 7150 aluminum alloys are investigated in this paper. The microscopic structure and mechanical properties for T joints are studied by metallographic analysis, microhardness and tensile test. Test results show the grain in welding seam is fine and dense. The microhardness is lowest in welding seam. The tensile properties for joints in *x* direction is 384 MPa, while in *z* direction is 236 MPa.

Key words 2524 and 7150 Aluminum alloys, Laser beam welding, T joint, Tensile strength

0 引言

激光焊接具有能量密度高、变形小、焊缝深宽比大等优点,特别是激光焊无需真空室,工艺可达性好,结合机器人和激光视觉传感系统可实现三维空间焊接及柔性焊接^[1]。激光焊在航空制造业的应用日益增多,已经成为航空结构材料的理想焊接技术。激光焊接技术在航空上的首次应用是在空客 A318 飞机机身下壁板上,用来代替铆接结构^[2],近年来,随着机型种类的多样化,焊接机身壁板的数量也急剧上升,激光焊接技术在随后的 A340、A350、A380 等型号上均得到了应用^[3],主要用于飞机蒙皮与桁条的连接。因此,T 型连接是飞机制造中激光焊接应用的主要接头形式。

要实现 T 型连接,通常采用双光束激光焊接技术,即采用两束激光同步照射在焊缝的两侧。2524 铝合金材料常用于飞机蒙皮的制造,7150 铝合金大

量用于飞机的长桁。因此,本文选用飞机制造中常用的 2524 与 7150 铝合金材料,开展了双光束激光焊接工艺试验。

1 实验

1.1 材料

采用 2524-T3 板材与 7150-T77511 型材作为试验材料,2524-T3 板材的尺寸为 200 mm×100 mm×2.0 mm,7150-T77511 型材的尺寸为 100 mm×28 mm×1.8 mm,试验材料的成分如表 1 所示。

表 1 材料成分

Tab.1 Compositions for test materials										wt%
材料	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr	Cr	Al
7150-T77511	0.046	0.071	2.23	<0.01	2.35	6.44	0.022	0.12	0.011	余量
2524-T3	0.022	0.084	3.69	0.50	1.16	0.018	0.027	-	-	余量

收稿日期:2017-06-06

第一作者简介:郭辉华,1984 年出生,工程师,主要从事飞机制造工艺研究。E-mail:guohuihua@comac.cc

1.2 试样制备

T 型接头双光束同步激光焊接时,激光器采用的是一台片状固体激光器和一台光纤固体激光器,运动执行机构是 Kuka 机器人。

试验采用北京工业大学研发的铝合金激光焊接送丝机(专利号:ZL200510132110.4)。

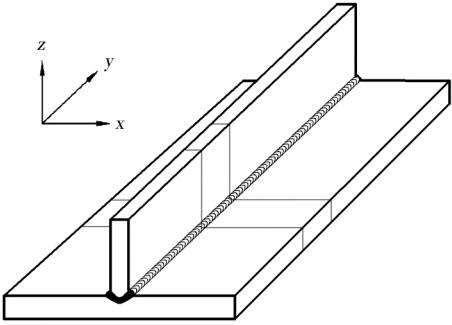
激光焊接时在焊接头已经选定的情况下,主要的焊接工艺参数包括激光功率、焊接速度、焊丝直径、送丝角度、送丝位置、送丝速度及保护气体与流量等。

工艺参数优化的标准是:表面成形良好,无裂纹、气孔等缺陷,无明显变形。

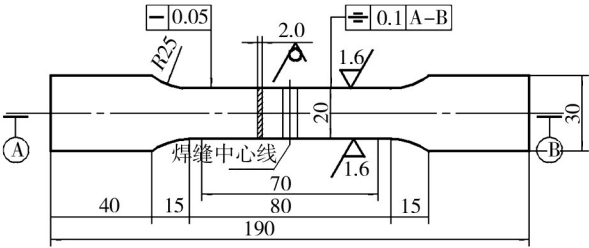
1.3 性能评价

采用 Olympus PMG3 型金相显微镜进行金相分析,配备有 CCD 图像采集和分析软件。对激光焊 T 型接头进行显微硬度测试,压头载荷 $N=100\text{ g}$,测试点间距 0.3 mm 。

T 型接头拉伸试验时分别沿试样 z 轴和 x 轴方向进行加载。拉伸试验采用 MTS-810 Material Test System 万能液压拉伸试验机,最大载荷为 100 kN 。沿 x 轴方向加载的试样,取样方法见图 1(a),试样尺寸按照 HB5143—96 确定,如图 1(b)所示。 z 向拉伸试样取样方法及尺寸如图 2 所示。



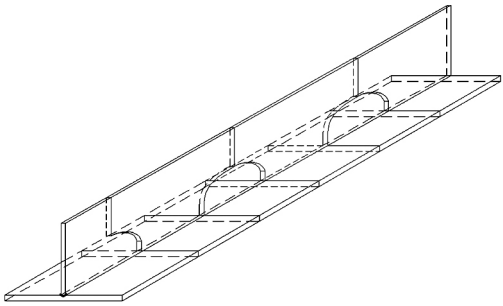
(a) 取样方法



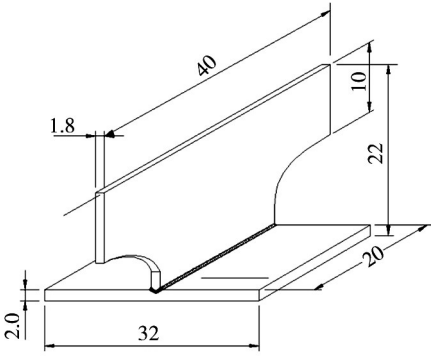
(b) 试样尺寸

图 1 x 向拉伸试样取样方法及尺寸

Fig.1 Sampling method and dimensions for tensile specimen in x direction



(a) 取样方法



(b) 试样尺寸

图 2 z 向拉伸试样取样方法及尺寸

Fig.2 Sampling method and dimensions for Tensile specimen in z direction

2 结果及分析

2.1 工艺优化结果

工艺试验结果表明,采用较高的焊接速度可以减少焊缝气孔的出现,主要是由于高速下高温激光熔池存在的时间较短,吸氢量较小。两台固体激光器采用拖丝焊,主要工艺参数相同,激光功率 $P=3\text{ kW}$ 、焊接速度 $V=8\text{ m/min}$ 、焊丝直径 $\Phi=1.2\text{ mm}$ 、焊丝与板表面夹角 20° 、焊丝与焊接方向夹角 30° 。焊接中的保护气体采用 $\text{Ar}:\text{He}=1:1$ 的混合气体。

(1) 焊丝选择

在 T 型接头双光束激光焊接中,分别使用 5083-Zr 和 AlSi12 焊丝进行焊接。使用 5083-Zr 焊丝的焊缝表面出现横向裂纹,而使用 AlSi12 焊丝的焊缝没有出现裂纹。采用 AlSi12 焊丝,对于铝合金焊缝的冶金裂纹有很好的愈合作用。

(2) 填充焊丝与焊接参数匹配

激光功率 $P=3\text{ kW}$,焊接速度 $v=8\text{ m/min}$ 。当送丝速度 $W=6\text{ m/min}$ 时,填丝焊接过程波动性略大,接头表面成形的稳定性略差,而 $W=5\text{ m/min}$ 焊接接头表面成形均匀、稳定。因此,送丝速度选为 $W=5\text{ m/min}$ 。

(3) 光纤激光与片状激光两侧的的配合

光纤激光焦点位置 $\Delta f=+5\text{ mm}$ 时所形成的焊缝具有较好的熔深。而片状激光的焦点位置也为 $\Delta f=+5\text{ mm}$ 时,熔深不足,焊缝内部未焊透;而当 $\Delta f=+2\text{ mm}$ 时,熔深不足,焊缝内部未焊透;而当 $\Delta f=+2\text{ mm}$ 时,熔深不足,焊缝内部未焊透。

mm 时,虽然两侧焊缝可以互相熔透,但由于熔透体
积较小,两侧深熔小孔贯通不良,所以焊缝内部会产
生气孔;只当 $\Delta f=0$ 时,两侧深熔小孔贯通良好,使焊
缝整体成形良好,避免了气孔的产生。

2.2 显微组织

图 3 是 T 型接头横截面形貌,可见焊缝区域没有
出现裂纹、气孔等缺陷,T 型接头两侧的焊缝形貌较
为匀称,两侧焊缝区之间没有明显的界线,表明已完
全焊透。图 4 为 T 型接头各典型部位的金相组织,图
中焊缝区域的晶粒细小,这主要是由于激光焊接速度
较快,晶粒没有明显的长大;在材料熔合线附近(图 3
中 a,c,d 的位置),焊缝与母材间熔合情况良好,说明

母材与焊丝材料熔化充分。

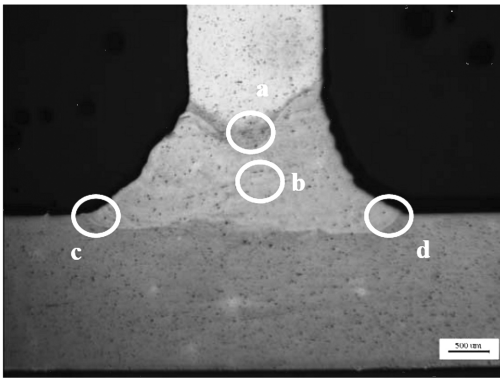


图 3 T 型接头横截面形貌

Fig.3 Cross section of T joint

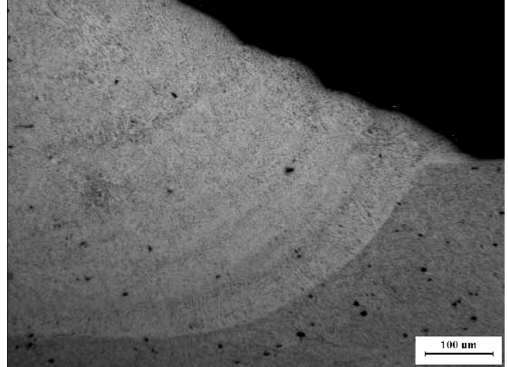
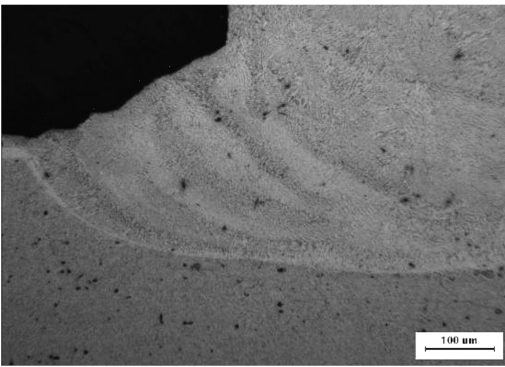
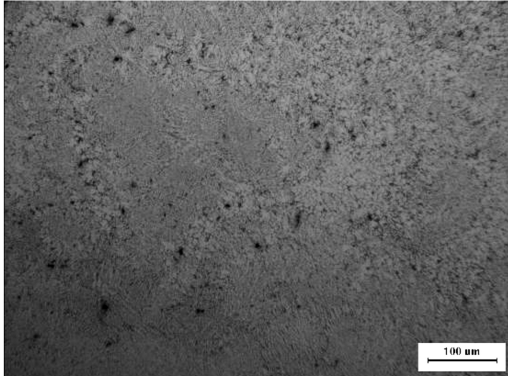
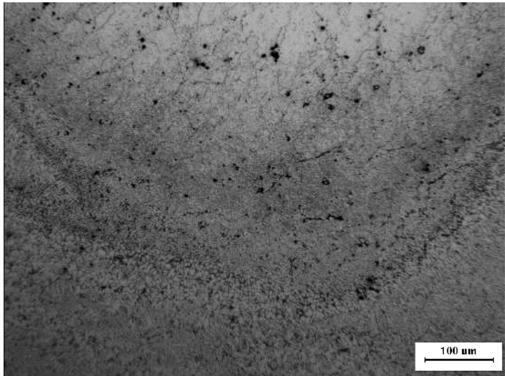


图 4 T 型接头典型部位金相组织(图 3 中 a、b、c、d 位置)

Fig.4 Metallograph of T joint in typical position(a、b、c、d indicated Fig.3)

T 型接头的显微硬度测试路径见图 5,结果见图
6。

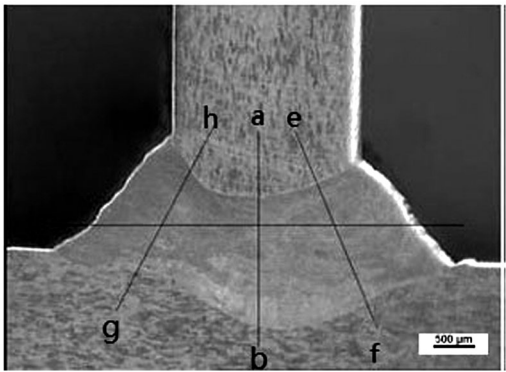


图 5 显微硬度测试路径

Fig.5 Route for microhardness testing

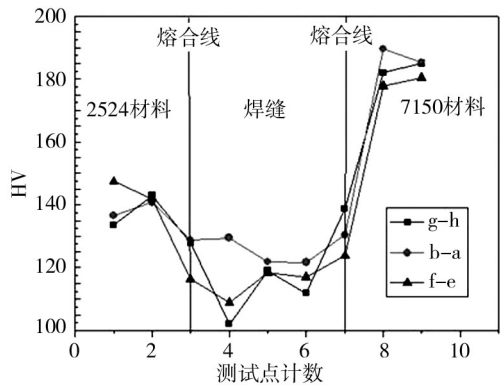


图 6 焊缝区域的显微硬度

Fig.6 Microhardness in welding beam

可以看到,焊缝区域的硬度最低,7150 材料侧的
硬度最高。这是由于高强铝合金在经历激光焊接后,

原材料的强化效果都将减弱,在强化机制下形成的组织遭到完全破坏,在快速冷却过程中变成铸态组织;另外,材料中的有益合金元素在激光焊接过程中会大量蒸发,焊缝必然会出现不同程度的软化现象,会使其强度与硬度下降。

2.3 接头静力拉伸性能

母材 2524 铝合金的抗拉强度为 432 MPa。T 型接头 x 向拉伸强度是 384 MPa,达到母材的 89%; z 向拉伸的强度是 236 MPa,达到母材的 55%,这一强度高于搅拌摩擦焊接的 z 向拉伸强度 173.6 MPa^[4]。

图 7 为 2524-T3/7150-T77511 T 型接头水平拉伸断裂宏观形貌,断裂由位于底板上焊缝的焊趾处向母材扩展形

成。这是由于水平拉伸时,应力集中就在承载变截面处,即焊缝的焊趾位置,因此首先从此处开裂,然后按照平板拉伸断裂的基本规律在母材中沿板厚方向扩展。

图 8 为 2524-T3/7150-T77511 T 型接头 z 向拉伸断裂宏观形貌,断裂位置位于长桁的焊缝熔合线附近,并扩展至焊缝处。由图 6 可以看到,母材的硬度高于焊缝和热影响区,而母材 7150 的硬度明显高于 2524,因此,7150 与焊缝间的熔合线成为 z 向拉伸承载的应力集中区,开裂从此处开始,并向低硬度的焊缝扩展。此外,与长桁焊接处的底板在 z 向拉伸力的作用下已发生明显的向上(受力方向)变形,这表明 T 型接头在测试时已充分受力,焊缝的强度较高。

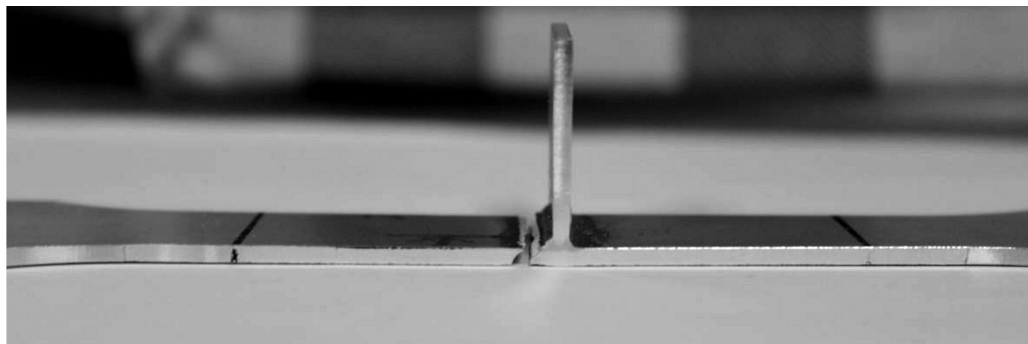


图 7 2524/7150 T 型接头水平拉伸断裂宏观形貌

Fig.7 Macroscopic morphology after tensile test of 2524-T3/7150-77511 T joint in x direction



图 8 2524/7150 T 型接头 z 向拉伸断裂宏观形貌

Fig.8 Macroscopic morphology after tensile test of 2524-T3/7150-77511 T joint in z direction

3 结论

(1) 获得了 2524-T3/7150-T77511 T 型接头双光束激光焊接优化的工艺参数:激光功率 $P=3$ kW、焊接速度 $v=8$ m/min、送丝速度 $W=5$ m/min、焊丝直径 $\Phi=1.2$ mm、焊丝为 AlSi12 焊丝。焊接中的保护气体采用 Ar:He=1:1 的混合气体。另外,当光纤激光焦点位置 $\Delta f=+5$ mm、片状激光的焦点位置 $\Delta f=0$ 时,可以确保两侧焊缝可以互相熔透。

(2) 在上述优化的工艺参数下,焊缝区域没有裂纹、气孔,金相组织晶粒细小、致密,T 型接头两侧熔合区对称性较好。

(3) 显微硬度测试结果显示,焊缝区域的硬度低于母材,在 7150 材料侧的硬度最高, z 向拉伸时,7150 材料侧熔合线附近是应力集中区。

(4) 2524-T3/7150-T77511 T 型接头 x 向拉伸强度是 384 MPa,达到了母材的 89%; z 向拉伸强度是 236 MPa,达到了母材的 55%。

参考文献

- [1] 李亚江,吴娜.先进焊接技术在航空航天领域中的应用[J].航空制造技术,2010(9):43-47.
- [2] 巩水利,张燕,柴国明.高能束流焊接技术的发展及其在航空领域中的应用[J].国防制造技术,2009(3):12-5.
- [3] DITTRICH D, STANDFUSS J, LIEBSEHER J, et al. Laser beam welding of hard to weld Al alloys for a regional aircraft fuselage design-first results [J]. Physics Procedia, 2011 (12):113-122.
- [4] 李剑,贺署俊,向延鸿. 7150 和 2524 异种铝合金的搅拌摩擦焊叠焊接头组织与性能分析[J]. 热加工工艺, 2015, 44(21): 219-221.