

# 8090 Al-Li 合金激光焊及焊后的组织与性能

王 蕾 石崇刚

(南京航空航天大学材料科学与工程系 南京 210016)

**提要** 研究了 8090 Al-Li 合金的 YAG 激光焊,通过金相观察、显微硬度测定以及电子探针微区成分分析,结果表明:在一定的焊接工艺参数下,能得到优良的焊接接头。单面焊能焊厚度 $\leq 0.7$  mm,双面焊能焊厚度 $\leq 1.4$  mm,焊缝为细晶组织,焊缝窄,热影响区小,焊后应即时去应力处理。

**关键词** Al-Li 合金,激光焊,焊接接头

## 1 引 言

Al-Li 合金是现代航空航天工业上所用的新型超轻材料,密度比现有铝合金低 8~10%,弹性模量约高 10%,机械性能高,耐蚀性好,并且具有良好的成型性和塑超性,因而引起各国宇航部门的重视,我国自 90 年代起,已先后研究出 8090,2091 等几种 Al-Li 合金,并在机械性能、工艺性能等方面做了大量的研究<sup>[1~3]</sup>。

Al-Li 合金是否能顺利进行焊接,能否保证焊接接头的质量,采用何种焊接方法,一直是 Al-Li 合金在航空航天工业上应用的关键问题。前人已试验过多种焊接方法,其中激光焊具有能量密度高、加热速度快、变形小等特点。

所以,本文采用激光焊焊接 Al-Li 合金,研究在一定工艺条件下焊接接头的组织性能。

## 2 试验材料及方法

本试验所用材料为国产 8090Al-Li 合金,其化学成分见表 1。

表 1 8090Al-Li 合金化学成分

Table 1 Chemical compositions of 8090Al-Li alloy

element	Li	Cu	Mg	Zr	Al
implication/%	2.2~2.7	1.0~1.6	0.6~1.3	0.10~0.16	remainder

将 Al-Li 合金用线切割割成厚度分别为 0.5,0.7,1.0,1.4,2.0 mm 的试样,试样原始状态为固溶挤压空冷,硬度为 HRF103。

8090Al-Li 合金试样采用对接接头,用 YAG 激光焊的不同焊接工艺参数,焊后观察焊缝情况,金相分析焊缝接头处显微组织及接头的结合情况,并测定焊透深度、从焊缝至母材的显微

硬度变化情况,用电子探针分析激光焊从焊缝至母材的成分变化。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 工艺参数对焊缝的影响

先后用常规 YAG 激光器和板状激光器,在固定激光器重复率和平均功率的情况下,改变焊接速度焊接 8090Al-Li 合金。发现焊接速度过快会将试样打穿,不能形成焊缝,速度过慢也不能形成焊缝。对于同一厚度的 8090Al-Li 合金试样,用板状 YAG 激光焊时,可使焊接速度更快些。这与板状激光器发散角小,能量更为集中有关。板状 YAG 激光焊接 8090Al-Li 合金时,当聚焦平面在试样的 0.5 厚度时,则不能焊透,当用脉宽为 5 ms,聚焦平面在试样表面,焊速为 2.5 mm/s 时,有金属液飞溅现象,这说明要获得优良的焊缝,激光焊的工艺参数是至关重要的。

除了合理的工艺参数外,保护气的种类与压力对 Al-Li 合金的焊接质量也有影响,试验中发现,用  $N_2$  保护,则 8090Al-Li 合金焊接接头很差,一碰就断裂,焊接试样接头表面呈黑色,用氩气保护,当瓶装氩气压强  $>6 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$  时,才能使 8090Al-Li 合金焊接接头保持原金属光泽。气压过小,易氧化,增大氩气量与压力对激光焊是有利的,但是不能从侧面吹气,那将使激光束偏离焊缝位置,对焊接不利。激光焊对试样的对接接头装配要严格,否则会影响焊缝的工艺参数。总之,对一定的 Al-Li 合金试样,只有在合理的工艺参数下,才能获得满意的焊接接头。

#### 3.2 宏观分析

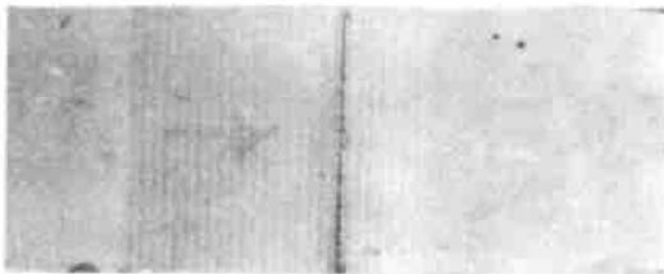


图 1 8090Al-Li 合金 YAG 激光焊焊接接头的宏观照片

放大倍数:1:1,试样厚度:0.5 mm

Fig. 1 Welded joint of Al-Li alloy welded by YAG laser  
amplification: 1:1; sample thickness: 0.5 mm

当采用氩气保护气,且气压表压强  $>6 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$ ,在合理的工艺参数下,分别对 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 2.0 mm 不同厚度的试样进行单面焊及双面焊,图 1 是厚度为 0.5 mm 的 Al-Li 合金 YAG 激光焊焊接接头的宏观照片。从宏观照片可以看出,焊缝成形良好,焊后试样表面平整、光洁,无氧化色,焊缝及热影响区窄。

#### 3.3 金相分析

沿垂直于焊接试样表面切开后,发现厚度为 0.7 mm 以下的试样,单面焊透;厚度为 2.0 mm 试样,中间约有 0.4 mm 未焊透,这说明激光焊深透焊接有困难,这是一个需进一步研究的问题。图 2 是 0.5 mm 的试样激光焊焊接接头的金相组织。

从照片可见,焊接接头处组织为等轴晶,且组织均匀、细小,这是因为激光焊能量密度高,熔池小,冷却速度快,有很大的过冷度,形核率增大,熔池结果前沿有较大的  $G/R$  ( $G$  为温度梯度,  $R$  为固液界面推移速度),满足等轴晶产生的条件<sup>[5]</sup>所致,样品厚度为 0.7 mm 时,Al-Li 合金 YAG 激光焊焊后宽度约为 0.3 mm,包括热影响宽度约为 0.8 mm,比氩弧焊小得多。当焊接工艺不当时,Al-Li 合金试样焊接接头结合处有多处明显的界线,表明结合不良,并发现焊接裂纹,这说明 Al-Li 合金容易产生焊接热裂纹,见图 3。

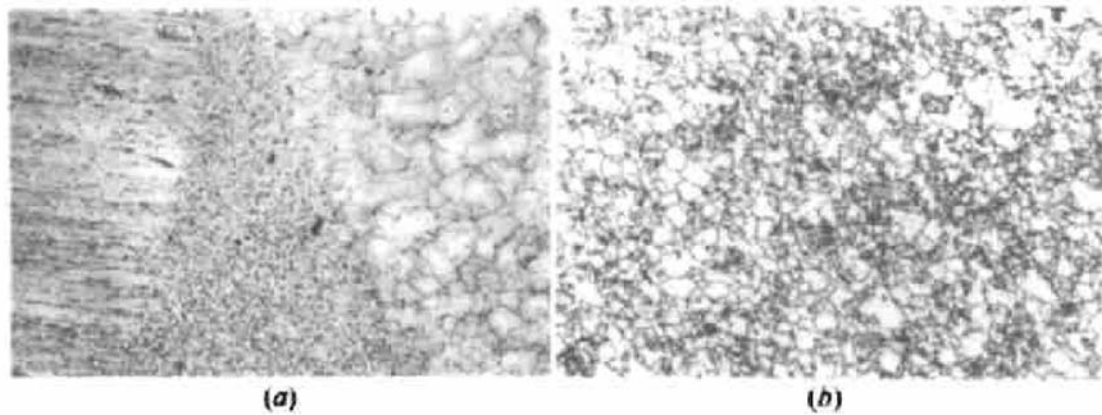


图 2 Al-Li 合金 YAG 激光焊焊接接头金相照片  
(a) 接头组织(160×), (b) 焊缝(400×)

Fig. 2 Microstructure of 8090 Al-Li alloy joints welded by YAG laser  
(a) welded joint structure (160×), (b) weld (400×)



图 3 Al-Li 合金激光焊空冷焊接接头不良组织  
Fig. 3 A bad microstructure of Al-Li alloy joints welded  
by YAG laser with air cooling

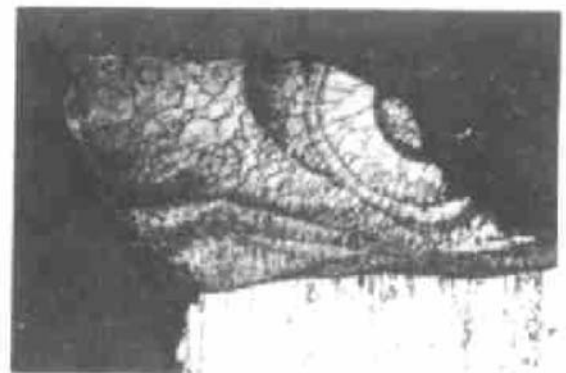


图 4 8090Al-Li 合金 YAG 激光焊延迟裂纹(160×)  
Fig. 4 Delayed crack 8090 Al-Li alloy welded  
by YAG laser

把焊好的试样放置 1 个多月,发现试样强度甚低,甚至一用力就断开,在断口处取样,并进行金相分析,图 4 为拍摄的金相照片,从照片上可以看到大量的微裂纹,沿晶界扩展,这说明是延迟裂纹。其原因是由于焊接时存在焊接内应力,随着时间的延长,Al-Li 合金发生自然时效,内应力更大,当内应力大于材料的抗拉强度时就会发生裂纹,所以 Al-Li 合金焊后应及时去应力退火。

### 3.4 弯曲试验

在合理的工艺参数下,把焊好的 YAG 激光焊试样弯曲 150°到 160°未发生断裂,这说明在此工艺下能得到优良的焊接接头。

### 3.5 显微硬度测试

对板材为 0.5 mm 的试样,沿垂直于焊缝处切开,在 71 型显微硬度计上每隔 0.1 mm 测定从焊缝至母材的硬度变化,载荷为 50 g,结果见图 5,可见热影响区硬度值起伏大,其规律与其他

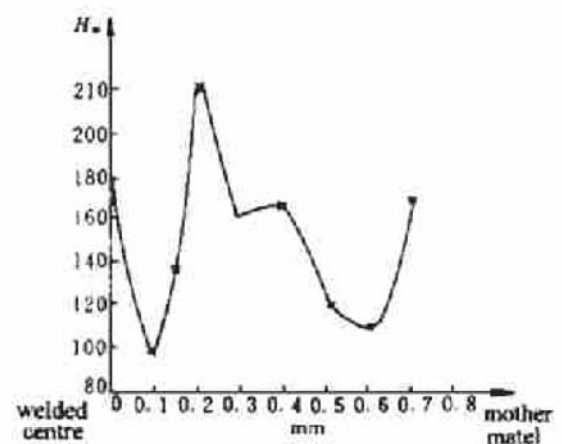


图 5 8090Al-Li 合金 YAG 激光焊焊接接头  
显微硬度分布  
Fig. 5 Micro-hardness distribution of 8090 Al-Li  
alloy joints welded by YAG laser

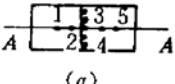
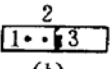


熔化焊类似。

### 3.6 微区成分分析

在合理的焊接工艺条件下,对 YAG 激光焊表面及垂直于焊缝表面作了电子探针微区成分分析,试验结果见表 2。由于受试验条件的限制 Li 未能分析。

表 2 8090AL-Li 合金微区域成分  
Table 2 Micro-region composition of 8090 AL-Li alloy

Technology	Determined position	Composition (wt-%)					
			Al	Mg	Cu	Zr	Zn
YAG laser welding air cold	Welding surface see attached drawing (a)  (a)	1. Base	94.29	3.59	1.53	0.17	0.15
		2. Heat affected zone	94.36	3.91	1.14	0.37	0.14
		3. Weld	93.25	4.45	1.50	0.20	0.05
		4. Heat affected zone	94.59	3.06	1.41	0.32	0.09
		5. Base	94.31	3.51	1.22	0.36	0.08
	A-A section of vertical welding surface  (b)	1. Base	94.34	3.72	1.01	0.48	0.05
		2. Heat affected zone	94.17	3.35	0.88	0.44	0.06
		3. Weld	94.27	3.63	0.90	0.46	0.13

从微区成分分析结果看,8090 Al-Li 合金 YAG 激光焊后,焊缝、热影响区与母材几乎无变化。

### 参 考 文 献

- 1 Xia de Shuen. Weld technology of Al-Li alloy. *Aerospace Technology*, 1996, (2): 53~55
- 2 Cao Yunhong. The weldability of Al-Li alloys. *Aerospace Material and Technology*, 1993, 23(4): 50~54
- 3 Si Pengcheng, Kong Yinglic. Weldability and improving approach of Al-Li alloy. *J. Materials Engineering*, 1993, (4): 28~32
- 4 Hao Chuanyong, Yu Erjing. Nucleation mechanism of 8090 Al-Li alloy weld metal. *Acta Metallurgica Sinica* (金属学报), 1996, 32(6): 647~651 (in Chinese)

## Welding of Joints of 8090 Al-Li Alloy by Laser Welding and Their Structure and Properties

Wang Lei Shi Chonggang

(Department of Material Science and Engineer, NUAA, Nanjing 210016)

**Abstract** Welded joints of Al-Li alloy welded by YAG laser are investigated through metalloscopy, micro-hardness and electron probe micro-analysis. The results showed that a suitable welded joint can be obtained under proper welding parameters. The thoroughly penetrated thickness does not exceed 0.7 mm for the single impulse welding and 1.4 mm for the double impulse welding. The weld is narrow and has a fine grain structure while the wideness of the heat affected zone is small. Moreover, a stress releasing treatment must be done as soon as possible after welding.

**Key words** Al-Li alloy, laser welding, weld joint