

文章编号: 1003-7837(2001)01-0059-05

Al-Li 合金无中间层扩散焊接工艺研究

闫国永, 李绍成

(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 对 Al-Li 合金在无中间层的条件下扩散焊接进行了研究. 焊件在焊接前进行化学处理, 然后于  $10^{-1}$  Pa 真空中, 温度 540、压力 4 MPa、保温 2 h 的条件下扩散+焊接, 可使焊接试件的剪切强度达到母材的 75%左右.  
**关键词:** Al-Li 合金; 扩散焊; 无中间层; 化学处理  
**中图分类号:** TG146; TG453      **文献标识码:** A

铝锂合金由于具有低的密度、高的比强度和比刚度、优良的低温性能、良好的耐腐蚀性和超塑成形性能, 被认为是航天器较理想的结构材料. 但是, 该材料的扩散焊接仍存在着加工工艺上的困难和不足.  
本试验采用铝锂合金无中间层扩散焊接, 找出了一种合适的焊接工艺及表面处理方法, 使用这种工艺可使焊接件的剪切强度达到母材的 75%左右.

1 试验材料

研究所用材料为 2091 铝锂合金, 其化学成分见表 1, 力学性能见表 2, 试样尺寸为 40 mm×20 mm×1.5 mm.

表 1 2091 铝锂合金化学成分  
Table 1 Chemical analysis of 2091 Al-Li alloy

元素	Li	Cu	Mg	Zr	Fe	Si	Al
w/%	1.8~2.4	1.8~2.6	1.0~1.4	0.08~0.15	≤0.1	≤0.1	余量

表 2 2091 铝锂合金力学性能  
Table 2 Mechanical property of 2091 Al-Li alloy

试样	$w_1$ /%	板材厚度 /mm	力学性能		
			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%
2091Al-Li	1.8~2.4	1.5	303.13	250	3.1

收稿日期: 2000-12-22  
作者简介: 闫国永 (1976-), 男, 河南睢县人, 硕士.

## 2 铝锂合金扩散焊接工艺试验

在一定的温度、压力下铝锂合金焊接件紧密接触一定时间,接触点间的距离达到原子间距范围,原子相互扩散并在界面形成金属键及化学键。影响扩散焊接的主要因素有:

(1)温度 根据经典扩散理论,扩散系数  $D$  是温度的指数函数:  $D = D_0 e^{-Q/RT}$  ( $D_0$  为扩散系数,  $R$  为气体常数,  $Q$  为扩散激活能,  $T$  为扩散温度),加热温度受焊接材料组织晶粒大小的限制。

(2)压力 压力能使表面微观凸起产生塑性变形,起到使界面紧密接触、激活界面原子、加速扩散及弥合界面孔洞的作用。

(3)时间 扩散焊接所需保温时间与温度及压力有密切关系,同时也与有无中间过渡层和材料成分、组织均匀度有关。

(4)焊接表面状态 扩散焊接包括界面塑性变形、物质传输(表面扩散、体积扩散、晶界扩散)及蠕变等阶段,所以要求接触界面无氧化层及其他污染物,待焊面越大越好。铝锂合金由于自身固有的化学性质,其表面在空气中极易生成一层化学性质特别稳定的氧化膜,若不能有效地破除该层氧化膜,扩散焊接便很难进行。因此,表面处理的好坏直接影响焊接强度。

### 2.1 铝锂合金扩散焊接工艺流程

扩散焊接试验工艺流程如图1所示。由于铝锂合金表面存在着油污,首先用丙酮对其表面进行洗涤;铝锂合金表面氧化膜用  $\text{NaOH}$  溶液蚀洗,同时也除去残留油污,然后用稀  $\text{HNO}_3$  溶液中和。

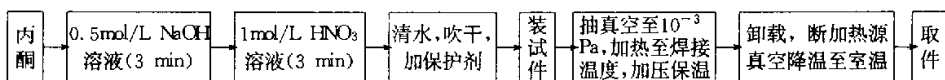


图1 扩散焊接工艺流程

Fig. 1 Technological flowsheet of diffusion welding

为了防止在焊接前焊接件表面氧化,在其表面涂一层二乙二醇二甲醚保护剂。在扩散焊接过程中,随着温度的升高和真空度的增加,保护剂涂层挥发并被抽出,污染物不会留在焊接面。

### 2.2 焊接工艺参数

温度、压力、保温时间和焊接件的表面状态是影响扩散焊接过程和焊接质量的主要因素。提高温度可使接头处的组织粗大,从而降低焊接件接头强度。保温时间的长短也会影响焊接质量。在确保扩散充分的条件下,保温的时间愈短愈好。温度选择在  $520 \sim 550^\circ\text{C}$  之间。在确保焊接件的变形率不超过 10% 的条件下尽量加大压力。本试验采用  $3.0 \sim 4.0 \text{ MPa}$ ,保温时间定在  $1 \sim 3 \text{ h}$ 。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 试验结果

由表3的试验数据可以看出,较好的工艺参数是:温度  $540^\circ\text{C}$ ,压力  $4 \text{ MPa}$ ,保温时间  $2 \text{ h}$ 。图2为在该条件下进行真空扩散焊接的试样的微观金相组织。从图2a中可以看出,  $540^\circ\text{C}$  下扩

散焊接试样的整个焊缝细小均匀,与基体晶界相似,焊缝位置存在较多的共同晶粒,这说明扩散充分,并发生了明显的再结晶现象。因此,焊接界面晶粒较细,机械性能也随之增大,剪切强度达到 156 MPa。

图 2b 为在温度 550℃、压力 4 MPa、保温时间 2 h 的条件下焊接试样的金相组织。尽管焊缝几乎看不到,但焊接界面晶粒较大,组织粗化,降低了其机械性能,因而剪切强度也明显降低。

表 3 Al-Li 合金扩散焊接试验结果(部分)

Table 3 Part results of Al-Li alloy diffusion welding test

编号	温度/℃	压力/MPa	时间/h	剪切强度/MPa	编号	温度/℃	压力/MPa	时间/h	剪切强度/MPa
1	520	3	2	83	6	540	4	2	156
2	530	3	2	112	7	540	4	3	152
3	530	4	2	134	8	550	3	2	122
4	530	4	3	135	9	550	4	2	128
5	540	3	2	145	10	550	4	3	124

图 3 是试件剪切断面的电镜扫描照片。图 3a 为加保护剂试件,断口带有延伸金属痕迹的剪切韧窝,整个断面呈明显的塑性断裂特征,说明试样焊合得比较好,有共同的组织。图 3b 为不加保护剂试件,断口显示只有局部区域出现了剪切韧窝,韧窝深度比较浅,这说明剪切过程中沿晶断裂机制在起作用。

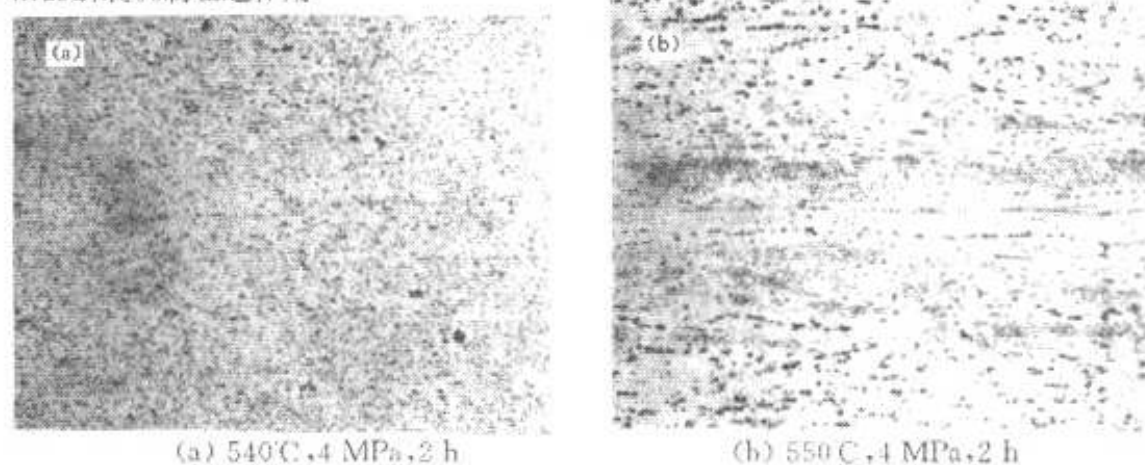


图 2 真空扩散焊接试样的金相组织,200×

Fig. 2 Metallographs of samples by vacuum diffusion welding

### 3.2 扩散焊接过程微观分析

按照扩散焊接压力所起的作用,可将扩散焊接过程分为两个阶段。

第一阶段为瞬间塑性变形和蠕变。实际的焊接件表面存在着微观的凹凸不平,因此这样的表面相互接触时,首先开始接触的是波浪顶峰上极个别的点,实际接触面积只有焊接界面面积的 1/100000~1/100。在焊接压力的作用下,微观接触区域的应力水平远远超过母材的屈服强度极限,引起局部瞬间的塑性变形,焊接界面上实际接触的面积迅速增大,应力也随之减小。当应力下降到材料屈服强度时,塑性变形停止。在焊接压力的作用下,界面区域的材料在高温

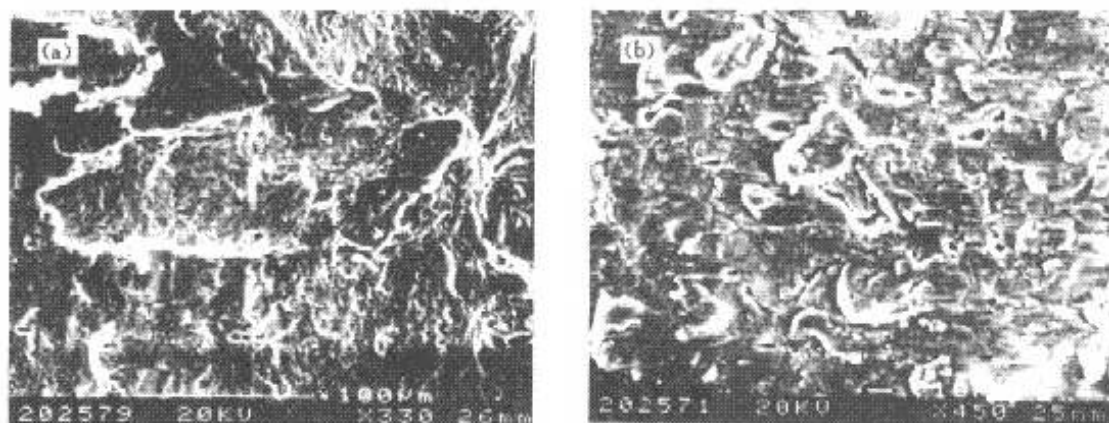


图3 焊接试件的切断面的电镜扫描照片

(a) 涂保护剂; (b) 不涂保护剂

Fig. 3 SEM pictures of the sample's shear fracture

(a) with protectant; (b) without protectant

下发生蠕变变形,使界面之间接触更紧密,实际接触面积继续增大,最后达到焊接界面面积的90%~95%。经过这一阶段,焊接件界面区域形成大量的金属键,为以后的扩散及冶金焊合创造了条件。同时,由于被压碎的晶粒在第二阶段发生了再结晶,因此焊接界面附近的晶粒比较细小,这从图2的金相组织图中可以得到验证。

第二阶段为原子的互扩散和空穴及位错的迁移。经过第一阶段,焊接界面表面上由于变形形成了晶格畸变、位错、空位等多种缺陷。在焊接温度下,晶格中原子的能量和迁移率增加,焊接界面原子处于高度激活状态,扩散迁移迅速。此时焊接接头强度还不高,必须保持一定时间,使界面两侧发生回复和再结晶,形成共同晶粒,并且有一定的深度,焊接接头的可靠性和强度才会提高。延长焊接时间,让焊接界面的激活原子充分扩散,尽可能地加大扩散深度,将有助于消除孔洞,促进再结晶程度,提高焊合率和接头强度。孔洞的收缩过程如图4所示。

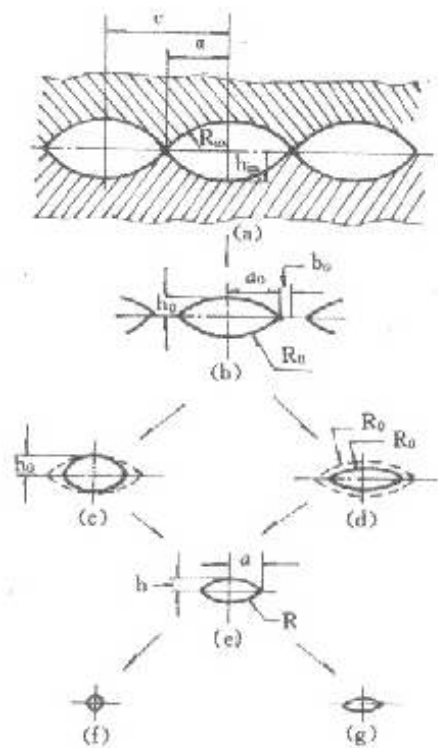


图4 扩散焊接过程重叠界面孔洞的收缩

Fig. 4 Pore contraction at the overlapping interface during the diffusion welding

## 4 结 论

(1) 铝锂合金采用无中间层扩散焊接是可行的,其合适的工艺条件是:真空  $10^{-1}$  MPa、温度 540℃、压力 4 MPa、保温 2 h。

(2) 焊接前在试件表面涂保护剂可以有效地防止其重新生成氧化膜。



(3) 铝锂合金扩散焊接可以使焊接件的剪切强度达到母材的 75% 左右。

#### 参考文献:

- [1] 陈铮. 铝锂合金的发展趋势、关键技术及应用[J]. 材料导报, 1999, 13(2): 1--3.
- [2] Dunford D V, Partridge P G. Diffusion bonding of Al-Li alloys[J]. Materials Science and Technology, 1992, 8(5): 385--398.
- [3] 吴为, 张凯锋, 王国锋. 前后处理工艺对铝锂合金热压扩散连接质量的影响[J]. 金属成形工艺, 1998, 16(5): 43--46.

## Study on no-interlayer diffusion welding technology of Al-Li alloy

YAN Guo-yong, LI Shao-cheng

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** A study on the diffusion welding of Al-Li alloy without interlayer was carried out. Test pieces were chemically treated before diffusion welding which was conducted in a vacuum of  $10^{-3}$  Pa, at a temperature of 540 °C and a pressure of 4 MPa for 2 hours. The resultant has a shear strength about 75% that of the base material.

**Key words:** Al-Li alloy; diffusion welding; no-interlayer; chemical treatment