

# 一种高强耐热铝合金铆钉 丝材—LY16-1合金

张禄山\*

目前,在飞机结构中,铆接仍是主要的结合方法之一。

由于飞机速度的提高,使得蒙皮温度相应提高了。例如:M数大于2.2以上的飞机高速飞行时,后机身温度可达150~225℃。因此后机身蒙皮及其内部构件的铆钉均在上述高温下工作。LY16-1合金的研制成功解决了200℃下使用的铆钉用材问题。

LY16-1合金是六二一所与冶金部一〇一厂共同研制成功的,并已生产供货。现将有关合金的制备与试验结果介绍如下。

## 合金丝材的制备

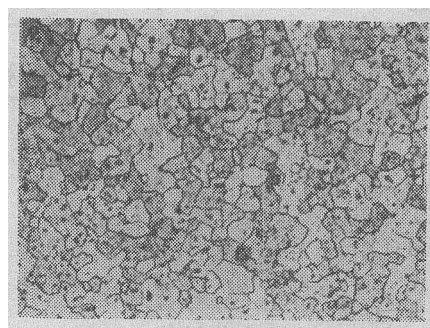
LY16-1合金的化学成分见表1,热处理制度见表2。该合金采用一吨半坩埚电阻炉熔炼,半连续铸造法浇铸铸锭。在2000吨卧式水压机上挤成 $\phi 10.5$ 毫米棒料,然后采用绞盘式一次拉丝机拉成 $\phi 6$ 、5、4毫米等规格的丝材。

值得指出的是,铆钉在铆接到构件上时,要承受很大的冷态变形,如果铆钉合金冷态塑性差,在铆接过程中就会开裂。以往的事实表

表1 LY16-1合金的化学成分

合 金	化 学 成 分 %					杂质(不大于)		
	Cu	Mn	Ti	Zr	V	Mg	Fe	Si
LY16-1	6.0~7.0	0.2~0.6	0.1~0.2	0.1~0.2	0.05~0.15	0.02	0.25	0.25

明,多数开裂是因组织粗晶所致。所以铆钉合金要求具有细小的晶粒组织。这种组织的获得既取决于合金的化学成分又取决于丝材制造工艺。在成分已确定的基础上主要是正确选择拉丝过程中的退火制度和最后一次退火至成品时的冷变形量。经多次试验表明,LY16-1合金退火温度在 $375 \pm 5^\circ\text{C}$ ,保温1~2小时;冷变形量大于40%时能获得最细小的晶粒组织(见图1)。但冷变形过大容易拉断,还会给随后铆钉的镦制带来困难,所以冷变形量不宜大于60%。



×200

图1 LY16-1合金丝材淬火时效状态的显微组织

\* 参加该工作的还有郭琰同志、冶金部一〇一厂杨春景同志。

表 2 LY16-1合金的热处理制度

项 目	设 备	加 热 温 度	保 温 时 间		冷 却 介 质
			φ 4 毫 米	φ 6 毫 米	
淬 火	硝 盐 槽	525±3℃	10~20分钟	20~30分钟	水
人工时效	有风扇的 恒温箱	165±3℃	12 小 时		空 气

表 3 室温机械性能

合 金	状 态	棒材				丝材	
		公斤/毫米 <sup>2</sup>			δ %	公斤/毫米 <sup>2</sup>	
		E	σ <sub>b</sub>	σ <sub>0.2</sub>			
LY16-1	CS	7108	41.1	25.7	23.3	29.6	
LY10	CS	7066	37.6	20.3	28.1	25.5	

注: CS表示淬火人工时效。

### 综合性能

### 1. 合金的基本机械性能

室温机械性能见表3。(表3~9数据为三根试样平均值)

不同温度下剪切性能见表 4。

表 4 丝材的高温剪切性能

合 金	状 态	规 格 毫 米	在下列温度保温30分钟测 $\tau$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup>					
			20°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
LY16-1	CS	$\phi 4$	29.4	27.4	25.2	23.7	21.9	20.2
LY10	CS	$\phi 4$	25.2	22.9	20.4	19.7	18.7	16.5

## 2. 合金经稳定化处理后的性能

恒温箱中进行稳定化处理。处理温度、保温时间及处理后的室温、高温剪切性能见表5、6。

经淬火人工时效后,合金丝材在有风扇的

表 5 丝材经稳定化处理后的室温剪切性能

合 金	状 态	规 格 毫 米	在下列稳定化温度保温100小时					
			125°C	150°C	175°C	225°C	250°C	300°C
			$\tau$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup>					
LY16-1	CS	$\phi$ 4	29.4	28.2	24.5	20.4	18.3	16.6
LY10	CS	$\phi$ 4	25.9	25.1	21.9	18.3	16.4	14.6

表 6 丝材经稳定化处理后的高温剪切性能

合 金	状 态	规 格 毫 米	在下列稳定化温度保温100小时					
			125 °C	150 °C	175 °C	225 °C	250 °C	300 °C
			在上面温度下保温30分钟测 $\tau$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup>					
LY16-1	CS	$\phi$ 4	26.5	24.1	20.0	12.3	9.2	6.95
LY10	CS	$\phi$ 4	23.2	22.3	18.0	11.5	9.05	6.4

### 3. 合金的周期疲劳性能

疲劳试样如图 2 所示。采用瑞士高频液压疲劳试验机进行室温低周疲劳试验。试样, 不经稳定化处理和经  $150^{\circ}\text{C}/75$  小时 +  $175^{\circ}\text{C}/5$  小时稳定化处理两种, 其试验结果见表 7。

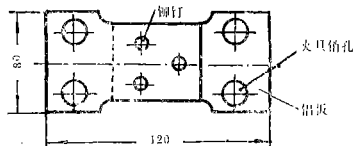


图 2 铆钉构件周期疲劳试样示意图

表 7 铆钉构件室温周期疲劳性能

合 金	状 态	$K = \frac{\sigma_n}{\sigma_b}$	负 荷, 公 斤		频 率 次/分	平 均 总 循 环 次 数
			最 大	最 小		
LY16-1	淬火+人工时效		1336			一次拉断
		0.6	802	80	83	$1.836 \times 10^5$
		0.7	936	94	83	$1.15 \times 10^5$
LY10	淬火+人工时效		1252			一次拉断
		0.6	751	75	83	$1.47 \times 10^5$
		0.7	876	88	83	$0.963 \times 10^5$
LY16-1	经150°C/75小时 +175°C/5小时 稳定化处理	0.6	802	80	111	$1.86 \times 10^5$
LY10		0.6	751	75	111	$1.84 \times 10^5$

注：1. 试样在试验中有一个铆钉断裂即行止试验； 2. 铆钉规格为Φ4毫米。

#### 4. 合金的抗腐蚀性能

磨片金相观察，其晶间腐蚀情况见图 3 ~ 5。

合金丝材经 淬 火 时 效 后 浸 入 3% NaCl +

剪切强度损失见表 8。抗拉强度损失见表 9。

HCl 10 毫升/立升、35±1°C 水溶液中一昼夜，

表 8 丝材不同状态的剪切强度损失

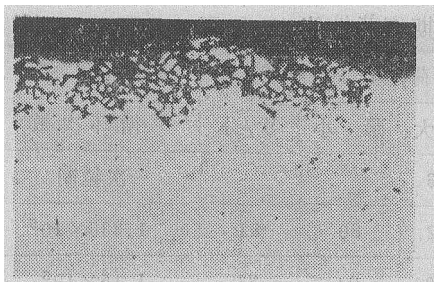
合 金	状 态	$\tau$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup>		损失率 %
		腐 蚀 前	腐 蚀 后	
LY16-1	淬火+ (165°C/12小时) 人工时效	29	27.5	5
LY10	淬火+ (75°C/24小时) 人工时效	25	24.5	2
LY16-1	经100°C/75小时+125°C/5小时稳定化	28.5	27.5	3
LY10	经100°C/75小时+125°C/5小时稳定化	25.0	24.5	2
LY16-1	经150°C/75小时+175°C/5小时稳定化	26.5	24.5	7
LY10	经150°C/75小时+175°C/5小时稳定化	23.5	22.0	6
LY16-1	经200°C/100小时稳定化	21.5	20.5	4
LY10	经200°C/100小时稳定化	20.5	19	7
LY16-1	经250°C/100小时稳定化	18.0	18.0	0
LY10	经250°C/100小时稳定化	15.5	15.5	0

注：规格为Φ4毫米丝材。

表 9 丝材经稳定化处理后的抗拉强度损失

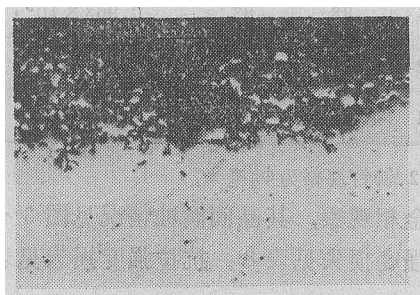
合 金	状 态	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>		损失率 %
		腐 蚀 前	腐 蚀 后	
LY16-1	经200°C/100小时稳定化	33.5	34	0
LY10	经200°C/100小时稳定化	34	30.5	10
LY16-1	经250°C/100小时稳定化	28	28	0
LY10	经250°C/100小时稳定化	25	22.5	10

注：规格为Φ4毫米丝材。



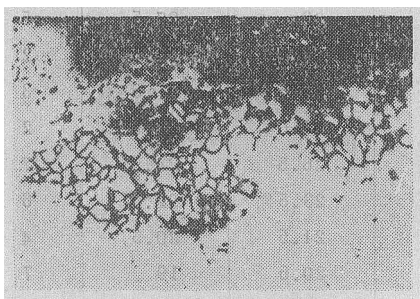
× 120

图 3 LY16-1 合金淬火人工时效 + 晶间腐蚀的显微组织



× 120

图 4 LY16-1 合金经150°C/75小时 + 175°C/5小时稳定化 + 晶间腐蚀的显微组织



× 120

图 5 LY10 合金经150°C/75小时 + 175°C/5小时稳定化 + 晶间腐蚀的显微组织

## 5. 铆接工艺试验

采用风动手铆枪手铆和便携式或固定式压铆机压铆。

该试验主要检查铆钉丝在热处理后的存放时间对工艺性能的影响。试验是将经淬火、人工时效、阳极化处理后不久, 和处理后在一般条

件下存放一天、五天、十天后的不同铆钉, 铆在备好孔的试板上。铆接后用肉眼或五倍放大镜观察铆钉变形部分不得有裂纹。试验表明, 铆接工艺性能与存放时间长短无关, 即铆接不受热处理后存放时间的限制。

通过上述机械性能试验表明, 该合金无论是室温性能、高温剪切性能或是经稳定化处理后的室温、高温剪切性能均优于LY10合金; 同时在低周疲劳试验的最大、最小负荷皆高于LY10合金的条件下, 其平均总循环次数仍比LY10合金高些。

合金的抗腐蚀性能试验表明, LY16-1合金在165°C/12小时时效的, 在常温下有晶间腐蚀倾向性; 在100~150°C/100小时稳定化处理的, 没有或仅有轻微的晶间腐蚀倾向性; 在200°C/100小时稳定化处理后没有晶间腐蚀倾向性, 这说明该合金在100~200°C的高温下抗腐蚀性能提高了。

同时铆接工艺试验表明, LY16-1合金铆接工艺性能良好。该合金制造的铆钉已正式用在产品上。

## 结 束 语

1. LY16-1合金 铆钉丝材, 无论在室温、高温或经稳定化处理后的室温、高温机械性能均比LY10合金高。低周疲劳性能比LY10合金优越。

2. LY16-1合金经100°C以上或200°C稳定化处理后, 抗腐蚀性能优于LY10合金

3. LY16-1合金铆钉在淬火人工时效后铆接, 不受热处理后时间的限制。

因此该合金铆钉可做飞机结构件的铆钉用, 适合在150~200°C下工作。

