

# 热处理对新型高强铝锂合金晶间腐蚀和剥蚀性能的影响

陈永来 杜志惠 张宇玮 张绪虎

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

**文 摘** 研究了新型高强铝锂合金经固溶、固溶+不同时效时间处理后的腐蚀性能,结果表明:新型高强铝锂合金在固溶状态下具有最佳的耐晶间腐蚀和剥蚀性能,而随着时效时间的延长,合金耐晶间腐蚀和剥蚀性能变差。

**关键词** 铝锂合金,固溶,时效,晶间腐蚀,剥蚀

## Influence of Heat Treatment on Intercrystalline Corrosion and Spalling Corrosion of New High-Strength Al-Li Alloy

Chen Yonglai Du Zhihui Zhang Yuwei Zhang Xuhu

(Aerospace Research of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

**Abstract** The corrosion properties of a new high-strength Al-Li alloy is characterized as a functions of the solution treatment and the different aging time after the solution treatment. Results show that the corrosion properties of the new Al-Li alloy solution treated is the best, but its intercrystalline corrosion and spalling corrosion become worse with increase of the aging time.

**Key words** Al-Li alloy, Solution treatment, Aging treatment, Intercrystalline corrosion, Spalling corrosion

### 0 引言

铝锂合金具有密度小、比强度高、比模量高、疲劳性能良好等优点,可代替常规铝合金以减轻飞行器的结构质量,以节省燃料、延长飞行距离等。但铝锂合金在潮湿和盐雾环境中易发生晶间腐蚀、剥落等形式的破坏<sup>[1-3]</sup>,因此,研究铝锂合金的耐蚀性能对于铝锂合金的应用与开发具有重要的意义。

新型高强铝锂合金是我国自主研制的一种同时兼顾强度和韧性的铝锂合金,该合金不同于现有的2195、2197等铝锂合金,其耐蚀性能研究工作尚未开展。基于此,本文拟对新型高强铝锂合金在不同热处理状态下晶间腐蚀和剥蚀性能进行研究,掌握合金在固溶、固溶+不同时效时间下的腐蚀性能。

### 1 试验

新型高强铝锂合金为Al-Cu-Li-Mg-Mn系合金,材料状态有固溶态与固溶时效态,其中时效时间分别为12、40、60 h。

晶间腐蚀试验按GB7998—2005《铝合金晶间腐

蚀测定方法》进行。试样的工作面积为30 mm×20 mm×2 mm,平行试样为3个。腐蚀液为30 g/L NaCl+10 mL/L HCl,试样试验面积与试验时的溶液体积之比小于2 dm<sup>2</sup>/L,温度为(20±2)℃,浸泡时间为24 h。试验结束后,腐蚀产物用HNO<sub>3</sub>去除,之后将试样的悬挂端切去5 mm进行组织形貌观察。

剥落腐蚀试验按ASTM G34—79《铝合金剥落腐蚀性能试验方法》进行。试样工作面积为30 mm×20 mm×2 mm,平行试样为3个。腐蚀液为4.0 mol/L NaCl+0.5 mol/L KNO<sub>3</sub>+0.1 mol/L HNO<sub>3</sub>;试验溶液体积与试样实验面积之比约为20 mL/cm<sup>2</sup>,溶液温度控制在(20±3)℃,浸泡时间为72 h。试验结束后,腐蚀产物用HNO<sub>3</sub>去除,对表面进行腐蚀等级评价。

采用PARSAT2263电化学测试系统对不同热处理状态的新型高强铝锂合金在5% NaCl溶液中的极化曲线和电化学阻抗谱进行了测定。测试采用三电极体系,试样为工作电极,铂片为辅助电极,饱和甘汞电极为参比电极,电流幅值为10 A,频率为10 mHz—

收稿日期:2010-12-15

作者简介:陈永来,1972年出生,博士,高级工程师,主要从事铝合金合金、钛合金的研究工作

100 kHz,扫描速率为 10 mV/s,试样工作面积为 10 mm×10 mm,非工作面用硅胶密封。

## 2 结果与分析

从图 1 可见,新型高强铝锂合金经过 24 h、5% NaCl 溶液的浸泡后,均出现了晶粒的剥落,即发生了

晶间腐蚀;从腐蚀深度看,固溶处理样品的腐蚀深度最小,且随时效处理时间的延长晶间腐蚀的深度逐渐增大、从 64 μm 增大到 102 μm,即新型高强铝锂合金晶间腐蚀的敏感性随时效处理时间的延长而增大。

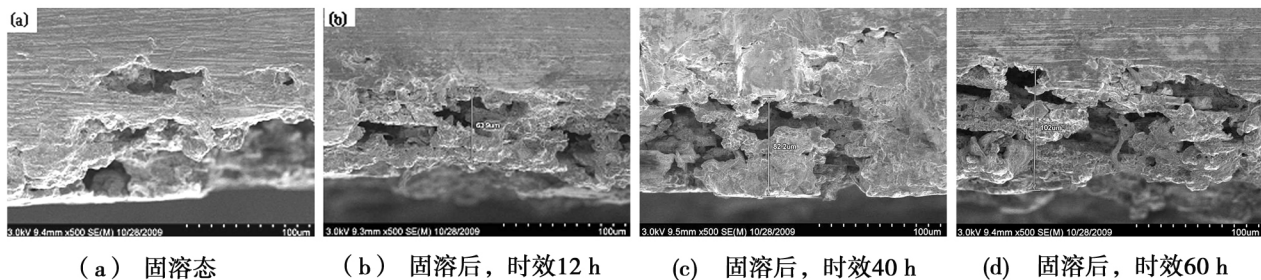


图 1 不同热处理条件下的新型高强铝锂合金晶间腐蚀的剖面形貌

Fig. 1 Morphologies of intercrystalline corrosion of new high-strength Al-Li alloy under different state

新型高强铝锂合金产生晶间腐蚀的原因在于合金在时效过程中析出的  $T_1$  ( $Al_2CuLi$ ) 强化相、贫 Cu 无沉淀析出带 (PFZ) 与基体之间因晶体结构和成分上存在差异,致使析出相、贫 Cu 无沉淀析出带 (PFZ) 以及基体具有不同的电极电位,这样当存在腐蚀介质时,即构成微电池,阳极发生溶解,造成沿晶的选择性腐蚀<sup>[4-5]</sup>。新型高强铝锂合金固溶处理后得到的是过饱和的  $\alpha$  固溶体以及少量的  $\theta'$  相 ( $Al_2Cu$ ),少量的细小  $\theta'$  相与  $\alpha$  固溶体构成了腐蚀微电池,产生了微弱的晶间腐蚀[图 1(a)];合金固溶后经 12 h 时效,致使合金不仅存在少量的  $\theta'$  相,而且还开始有  $T_1$  相析出,这就造成合金腐蚀程度加深[图 1(b)];随着时效时

间延长,析出  $T_1$  相数量增多变大,晶界上也开始出现了析出相  $T_1$  和贫 Cu 无沉淀析出带 (PFZ),使得  $T_1$  相和 PFZ 共同作为阳极,Al 基体作为阴极,构成微电池,导致合金局部腐蚀敏感性进一步增大,晶间腐蚀程度更为严重[图 1(c)、(d)]。

从图 2 可知,随浸泡时间的延长,新型高强铝锂合金先后出现了变色[图 2(b)]、鼓泡[图 2(c)]、鼓泡长大、增多[图 2(d)]等现象;经干燥处理后,合金表面的鼓泡开裂、剥落。从时效处理时间看,未经时效处理的固溶样品仅在局部发生了鼓泡;随时效处理时间的延长,新型高强铝锂合金的剥落腐蚀程度增大。

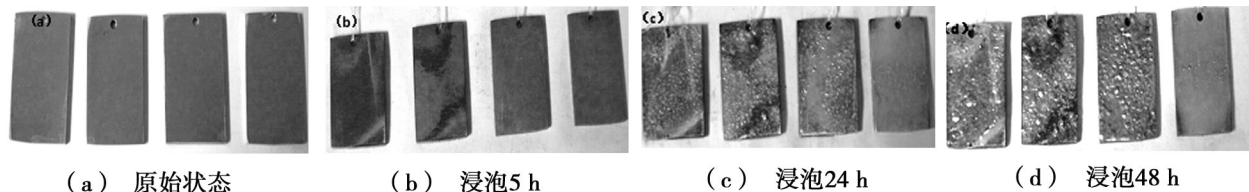


图 2 不同时效处理下 Al-Li 合金剥落腐蚀的宏观形貌 (样品从左到右依次是:时效 60 h、时效 40 h、时效 12 h、固溶)

Fig. 2 Overview of spalling corrosion of new high-strength Al-Li alloy under different state (sample from left to right: 60 h aging, 40 h aging, 12 h aging, solution treatment)

图 3 可见未经时效处理的固溶态新型高强铝锂合金样品仅在局部表面发生了腐蚀[图 3(a)];随时效处

理时间的延长,合金表面的腐蚀程度增大[图 3(b)]、腐蚀产物膜开裂[图 3(c)]和片状剥落[图 3(d)]。

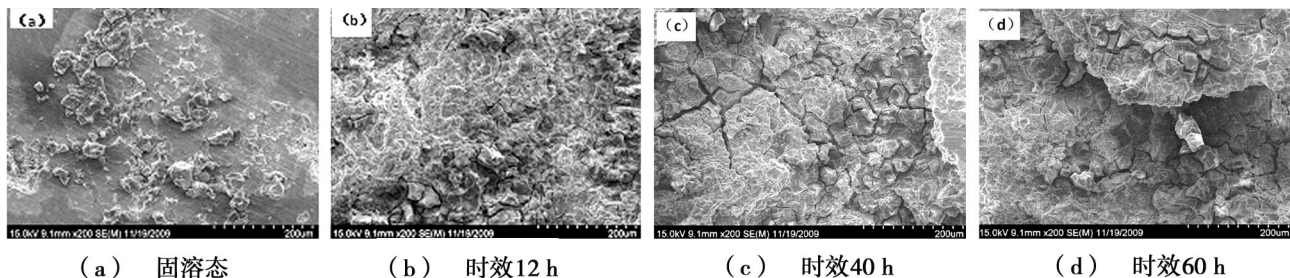


图 3 不同热处理条件下通用型铝锂合金剥落腐蚀的表面形貌

Fig. 3 Morphologies of spalling corrosion of new high-strength Al-Li alloy under different state

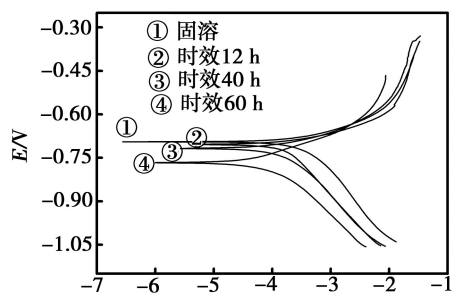
对不同热处理条件下的新型高强铝锂合金剥落腐蚀的程度评级如表 1 所示。

表 1 不同热处理条件下的新型高强铝锂合金抗剥落腐蚀能力

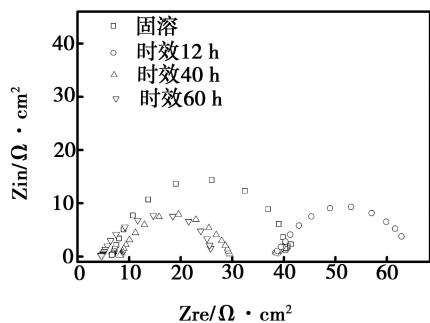
Tab.1 Level of spalling corrosion of new high-strength Al-Li alloy under different state

热处理状态	剥落腐蚀级别
固溶	P
时效 12 h	EA
时效 40 h	EB
时效 60 h	EC

图 4 为不同热处理条件下的新型高强铝锂合金在 5% NaCl 溶液中的极化曲线和电化学阻抗谱。



(a) 极化曲线



(b) 电化学阻抗谱

图 4 不同热处理条件下新型高强铝锂合金在 5% NaCl 溶液中的极化曲线与电化学阻抗谱

Fig.4 Dynamic potential polarization and electrochemical resistance curves in 5% NaCl solution of new high strength Al-Li alloy under different state

表 2 为不同热处理条件下的新型高强铝锂合金腐蚀电位、极化电阻。由此可知,固溶处理下,新型高强铝锂合金的腐蚀电位最正、极化电阻最大,即耐蚀性最好;随时效处理时间的延长,新型高强铝锂

合金的腐蚀电位向负方向移动、极化电阻变小,即耐蚀性变差。

表 2 不同热处理下新型高强铝锂合金在 5% NaCl 溶液中的腐蚀电位、极化电阻

Tab.2 Corrosion potential and polarization electric resistance in 5% NaCl solution of new high strength Al-Li alloy under different state

热处理状态	腐蚀电位/V	阻抗/ $\Omega \cdot \text{cm}^2$
固溶	-0.6957	34.65
时效 12 h	-0.7042	28.35
时效 40 h	-0.7180	21.30
时效 60 h	-0.7671	21.16

### 3 结论

(1) 新型高强铝锂合金耐晶间腐蚀性能较差。从腐蚀深度看,固溶处理的新型高强铝锂合金腐蚀深度最小,并且其晶间腐蚀的深度随时效处理时间的延长而逐渐增大,即新型高强铝锂合金晶间腐蚀的敏感性随时效处理时间的延长而增大。

(2) 新型高强铝锂合金在不同热处理条件下的剥落腐蚀的程度评定为:固溶处理的新型高强铝锂合金为 P 级,时效处理 12 h 的为 EA 级,时效处理 40 h 的为 EB 级,时效处理 60 h 的为 EC 级。

### 参考文献

- [1] DeJong H F. A Survey of the development, properties and application of aluminum-lithium alloys [J]. Aluminum, 1984, 60(9):673-679
- [2] Cui Wenfang, Sun Qiuxia, Cui Jianzhong. Study of 1420 Al-Li alloy resist corrosion [J]. Rare Metal Material Engineering, 1995, 24(2):40-44
- [3] 陈圆圆,郑子樵,魏修宇,等. 2197 铝锂合金在不同热处理状态下的晶间腐蚀及剥蚀行为 [J]. 腐蚀与防护, 2010,31(1):29-33
- [4] Buchheit R G, Moran J P, Stone G E. Electrochemical behavior of  $T_1(\text{Al}_2\text{CuLi})$  intermetallic compound and its role in localized corrosion of Al-2% Li-3% Cu alloy [J]. Corrosion, 1994, 50(2):120-130
- [5] Kumai C, Kusinski J, Thomas G, et al. Influence of aging at 200°C on the corrosion resistance of Al-Li and Al-Cu-Li alloys [J]. Corrosion, 1989, 45(4):294-302

(编辑 任涛)