

# 一种新型耐海水腐蚀的铝合金板材

刘存玉 李裕仁 关淑菊 苏锡九

该合金是为水上飞机研制的。由于飞机要在海面起落和潜伏，长时间浸泡，蒙皮接缝和铆钉孔容易渗入海水，尤其是内部舱底部分经常积水，这就带来了蒙皮和结构件材料的腐蚀问题。

近年来，国外水上飞机所用的材料主要有两种，一是2024合金（苏联、日本），一是6061合金（美国），前者强度较高，耐蚀性很差；后者强度低，耐蚀性较好。

我国现用的LY12 CZ合金属于前一种类型，目前主要靠防护，而防护并不完全可靠，同时维护保养也十分麻烦。为此，设计部门提出了为水机蒙皮和结构件研制耐海水和海洋大气腐蚀的材料任务。其机械性能要求不低于LY12 CZ合金。

根据这些要求，我们首先进行了系统的成分选择，确定采用Al-Zn-Mg-Cu系。在此基础上对各种添加元素的影响进行了试验，选择了满意的合金成份，命名为LB733。

此外，还进行了热处理工艺、杂质含量影响等方面试验，测定了常温机械性能及各种腐蚀性能（包括强度损失、点腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀和重量损失等）。试验结果表明，该合金在强度和塑性方面都与LY12 CZ合金相当，而在抗腐蚀性能上显著地优于LY12 CZ合金。

研制工作是在实验室条件下进行的。各项性能均采用不包铝的1.5毫米薄板，淬火人工时效状态。而与之对比的LY12 CZ合金板材是工厂条件下生产的包铝板材（ $\delta=1.5$ 毫米），试验前不再进行热处理，只去掉包铝层。

本文仅介绍该合金的机械性能及耐腐蚀性

能方面的一些数据。

## 一、机械性能

### 1. 室温拉伸性能

试验方法按六二一所标准HCS46-73，屈服极限用画图法测定。试验结果见表1。

表1 拉伸性能试验结果

合金	状 态	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5\%$
		公斤/毫米 <sup>2</sup>		
LB733	淬火+人工 时效	46.0~52.0	41.0~48.0	16~19
	退 火	21.7	—	25.7
LY12	淬火+自然 时效	49.0	35.5	20.5
	退 火	17.8	—	22.3

表中数据是3~5个试样的平均值，其中新合金是7个炉次成分上下限的性能范围。试验结果表明强度与LY12 CZ合金相当，塑性也相近。

### 2. 周期强度

试验方法按六二一所标准HCS151-73，最大循环应力为相同试样一次拉断强度的70%，循环频率 $n=10$ 次/分，试验结果见表2，表中还引用了LC9合金的试验数据。

表2 周期强度试验结果

合金	最大循环应力	最小循环应力	平均寿命
	公斤/毫米 <sup>2</sup>		次
LB733CS	34.7	3.5	4662
	27.6	2.8	9358
LY12CZ	27.6	2.8	17262
LC9CS	36.6	3.7	4120

试验结果表明LB733合金的周期强度低于

LY12合金，而与同系的LC9合金相当。

3. 缺口敏感性

试验方法按美国ASTME338-68，采用宽75毫米、长200毫米的侧缺口试样，缺口半径 $r \leq 0.018$ 毫米。试验结果见表3。

表3 缺口敏感性试验结果

合 金	$\sigma_b$	$\sigma_{bH}^*$	$\eta_H^{**} \%$
	公斤/毫米 <sup>2</sup>		
LB733CS	47.2	40.8	13.5
LY12CZ	49.0	31.6	35.5

\*  $\sigma_{bH}$ 为缺口强度。  
\*\*  $\eta_H = (\sigma_b - \sigma_{bH}) / \sigma_b \times 100\%$ 为缺口敏感系数。

试验结果表明LB733合金的缺口敏感性比LY12CZ合金明显地优越。

二、腐蚀性能

1. 实验室条件下

(1) 强度损失 试验方法按六二一所标准HCS206-60，在3%NaCl+0.1%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液中交替浸蚀168小时，试样装在交替腐蚀轮上，轮速为2转/小时，每转在溶液中浸蚀5分钟，试验温度35℃。浸蚀后将试样冲洗吹干，再测定拉伸强度，计算其损失率。试样与拉伸试样相同，截面尺寸按腐蚀前尺寸计算。试验结果见表4。

表4 强度损失试验结果

合金	腐蚀前		腐蚀后		损失率，%	
	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	强度	延伸率
LB733CS	48.9	17.3	48.1	12.2	1.12	29.4
LY12CZ	49.0	20.5	39.6	5.5	19.2	73.2

试验结果表明LB733合金的强度损失比LY12合金低得多。

(2) 点腐蚀 试验条件与强度损失试验一样，试样尺寸为50×100毫米。试验后试样表面状况如图1所示，新合金只有极轻微的点腐蚀，而LY12合金则严重得多。

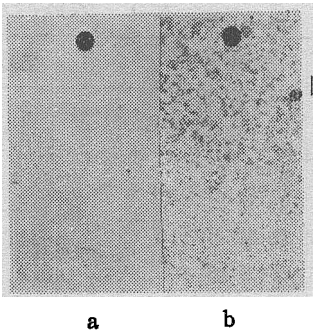


图1 点腐蚀试样表面照片  
a 为733CS合金；  
b 为LY12CZ合金。

(3) 晶间腐蚀 试验方法按六二一所标准HCS203-66，在3%NaCl+1%HCl溶液中浸泡24小时，试验温度为35℃，然后冲洗吹干作金相观察。新合金经多次试验均未出现晶间腐蚀，因此该合金对晶间腐蚀倾向是不敏感的。

(4) 应力腐蚀 试验方法按六二一所标准HCS207-64，腐蚀介质是3%NaCl+0.5%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的水溶液，溶液温度为35℃，试验应力为75% $\sigma_{0.2}$ 。新合金的应力腐蚀寿命都在一个月以上，而LY12CZ合金两次试验结果只有23小时的寿命。因此，新合金的抗应力腐蚀性能很好。

2. 天然海水池条件下

试验是在青岛某地露天循环流动的海水池内进行的，池内装有交替腐蚀轮，轮速为1转/小时，试样在海水中浸泡15分钟，试验时池内水温为22~31℃交替腐蚀的试验周期分一个月、两个月和六个月三种；另外，还做了为期两个月的全浸腐蚀。试样分点腐蚀和拉伸性能试样两种，试验结果分述如下。

(1) 强度损失 各种腐蚀条件下的强度损失试验结果见表5。

试验结果表明在天然海水腐蚀条件下，新合金的强度损失比LY12合金低得多。

(2) 点腐蚀 经过海水腐蚀后的点腐蚀试样表明，LB733合金比LY12合金的情况要轻一些，尤其是全浸两个月的更明显减轻，见图2。而交替腐蚀由于条件恶劣试样表面要重一些。

(3) 晶间腐蚀 从上述点腐蚀试样上切取金相试样，检查晶间腐蚀，结果表明LB733

表 5 天然海水条件下的强度损失

合 金	腐 蚀 前		交替腐蚀一个月				交替腐蚀两个月				交替腐蚀半年				全浸腐蚀两个月			
	$\sigma_b$ 公斤/ 毫米 <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_b$ 公斤/ 毫米 <sup>2</sup>	强度 损失 %	$\delta_5$ %	延伸 率损 失率 %	$\sigma_b$ 公斤/ 毫米 <sup>2</sup>	强度 损失 %	$\delta_5$ %	延伸 率损 失率 %	$\sigma_b$ 公斤/ 毫米 <sup>2</sup>	强度 损失 %	$\delta_5$ %	延伸 率损 失率 %	$\sigma_b$ 公斤/ 毫米 <sup>2</sup>	强度 损失 %	$\delta_5$ %	延伸 率损 失率 %
LB733CS	47.2	16.6	47.3	0	10.1	39.2	46.4	1.7	11.1	33.1	46.0	2.5	6.42	61.4	46.0	2.5	6.5	60.8
LY12CZ	49.0	20.5	42.2	13.4	5.5	73.1	40.8	16.7	5.4	73.6	39.4	19.5	3.92	80.9	44.0	10.2	9.6	53.1

CS合金在几种腐蚀条件均无晶间腐蚀, 而LY12合金在几种腐蚀条件均有晶间腐蚀。轻重程度不等, 全浸两个月后的试样最严重, 如图3所示。

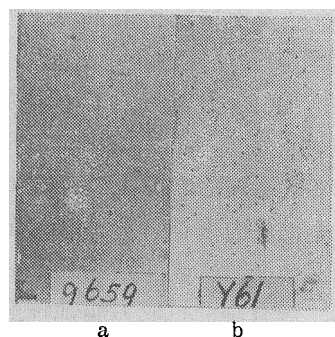


图 2 天然海水全浸腐蚀后试样表面照片  
a 为 LB733CS 合金;  
b 为 LY12CZ 合金。

试验结果见表 6。由表可知LB733 合金的重量损失在各种腐蚀条件下都比LY12合金小得多。

表 6 在天然海水中的重量损失  
(毫克/厘米<sup>2</sup>·天)

合 金	交 替 腐 蚀			全浸腐蚀
	一个月	两个月	半 年	两 个 月
LB733CS	0.0167	0.0138	0.00230	0.0152
LY12CZ	0.0928	0.0472	0.00393	0.0402

### 三、结果讨论

上述试验结果表明, 新合金达到了设计部门的要求, 一方面强度与LY12CZ合金相当, 大于46公斤/毫米<sup>2</sup>, 塑性相近。此外, 缺口敏感性明显地获得改善, 不足的是周期疲劳寿命低于LY12CZ合金。而与同系的LC4CS或LC9CS合金相当。另一方面, 根据实验室和天然海水试验的各种腐蚀性能指标可以认为: 新合金的抗腐蚀性能显著地优于LY12CZ合金, 尤其是晶间腐蚀、强度损失、重量损失、应力腐蚀等方面更突出, 点腐蚀也明显减轻。

当前水上飞机使用的 LY12 合金严重的问题是点腐蚀和晶间腐蚀, 甚至出现剥落腐蚀, 这主要是由于其合金成分中含有很高的铜, 其主要强化相S 和  $\theta$  相与基体的电位差很大, 这是形成点腐蚀和晶间腐蚀的内在原因。新合金则选定了较低的铜含量和中等的锌镁总量, 以及适当的锌镁比, 从而合理地解决了这一矛盾。

为了减轻腐蚀倾向, 严格控制铁硅杂质是非常重要的, 这取决于原材料的纯度和熔炼工

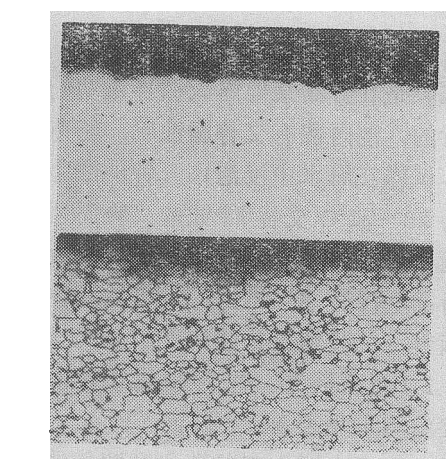


图 3 天然海水全浸两个月后的高倍组织  
上为LB733CS合金;  
下为LY12CZ合金。

(4) 重量损失 测定方法是用精度为 1/10000 克的 天平称出点腐蚀试样腐蚀前后的重量差, 计算出受腐蚀的面积及受腐蚀的时间, 按下式计算重量损失:

$$\text{重量损失} = \frac{\text{腐蚀前重量} - \text{腐蚀后重量 (毫克)}}{\text{受腐蚀面积 (厘米}^2\text{)} \times \text{受腐蚀时间 (天)}}$$

艺。考虑到经济性,我们仍采用工业纯合金,但通过系统的杂质含量试验确定了合理允许范围,从而保证了点腐蚀倾向在最小限度内。

另外选择适当的热处理工艺也是提高抗蚀性能的一个重要方面,为此在成分选定的基础上进行了系统的热处理工艺研究,确定了最佳工艺条件,保证了上述优越的综合性能。

## 四、结 论

1. 该合金具有与LY12合金相当的机械性

能。

2. 该合金在耐海水腐蚀性能上显著地优于LY12合金,具体表现在晶间腐蚀、点腐蚀、强度损失、重量损失以及抗应力腐蚀敏感性等方面。

3. 该合金可以代替LY12CZ合金用于水机蒙皮和内部结构件以及其它要求耐腐蚀性高的产品。

4. 该合金具有成分和工艺均较简单,生产工艺易于掌握的优点。

☆

☆

☆

☆

☆

## 彩色断口金相

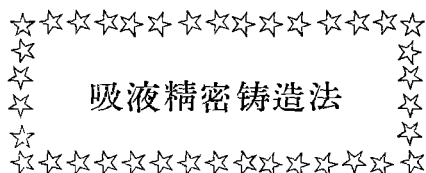
一种新的断口金相技术被用来测定低循环疲劳试验断口,材料取自蒸汽轮机转子的镗孔区。1950年以来,发现大量蒸汽轮机的转子带有内部缺陷,包括夹杂、显微收缩空穴等。在研究高应力低循环疲劳状态下裂纹的起始和扩展方面,逐渐发展了这种有价值的加热着色断口金相技术。它可以根据断口的不同色区,明确地判断出各种断裂机理。

收缩缺陷保持银白色,疲劳条带为棕色,塑性断口为蓝色,解理面为金黄至紫色。据此可以推断出转子试样的裂纹起始和扩展过程,并与扫描电镜断口照片对比加以证实。此外还可以测定裂纹稳定增长和裂纹过载区的相对缺陷面积,并与金相试样上缺陷面积率比较。

这种着色断口金相的原理如下。当一块金属在空气中加热时,形成氧化物的厚度取决于氧化速率、温度和时间。氧化物上形成干涉色彩,现用的简便方法是将碳钢或低合金钢加热至315°C,具有清晰断口的试样应断面朝上放在一块加热板上加热,直至出现彩色。时间为10~30分钟。对含铬的高合金钢,应提高加热温度。

加热着色断口技术可以用于清洁断口和未损坏断口的故障分析,以及试验室试样的分析测定。

(郝摘自《Metal progress》1980.8)



## 吸液精密铸造法

目前失蜡精铸法已广泛应用,其缺点是难以实现自动化,生产率和材料利用率低。针对这些缺点,美国和日本正在推广吸液精铸法。将透气性铸型吸口朝下置于真空室内,抽气时吸口浸入熔融金属中,即充满铸型,并从外周开始部分凝固。当停止抽气并通入大气压后,浇道内未凝固的液体仍旧流回熔化炉内,浇道成为空腔。

失蜡精铸法由于有浇口、浇道的损失,材料利用率仅35~40%,而吸液法达70%以上,加上节省电力和浇桶耐火材料,使成本大为降低。将铸型预热至800°C再进行吸铸,液体流动性良好,可铸成0.3毫米的薄壁件。

此外,吸铸法对熔融金属沾污少,铸件晶粒细,机械性能有不同程度的提高。

目前这种方法的技术难点是正确控制吸气和通入大气压的时间,过短则铸件未凝固,过长则堵塞浇道。此时间一般为10秒,有时为5秒。铸件数目在1000以下时也不宜用此法。

(郝摘自日《金属》1980.4)