

[文章编号] 1004-0609(2001)S1-0027-04

# 不同加工及表面处理状态 LF6 铝镁合金的深海腐蚀行为<sup>①</sup>

赵月红, 林乐耘

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

**[摘 要]** 对旋压及标准处理、阳极氧化和化学铣切表面处理的卷焊 LF6 铝合金进行深海暴露 1 年腐蚀试验。通过腐蚀宏观和微观形貌及成分测定结果可知, 旋压铝筒耐蚀性能优于卷板焊接铝筒, 经阳极氧化表面处理的卷焊铝筒的耐蚀性优于标准处理和化学铣切的耐蚀性。在卷焊铝筒焊缝上基本未发生腐蚀, 焊缝附近的区域却有较深的蚀坑。焊缝内第二相的规则排列及富锰相相对 LF6 合金基体较少是焊缝耐腐蚀的原因。

**[关键词]** 腐蚀; 旋压; 卷焊; 表面处理

**[中图分类号]** TG 172.82

**[文献标识码]** A

Al-Mg 系合金具有较高的强度和优良的耐海水腐蚀性能, 因此在海洋工程中获得广泛的应用<sup>[1~5]</sup>。大量研究表明, 铝合金的海水腐蚀既与合金自身有关, 又受海水环境因素的影响, 甚至海水二氧化碳-碳酸盐体系的变化也会影响铝合金的海水腐蚀性能<sup>[6~11]</sup>。本文在以往实海暴露及加工热处理试验研究工作的基础上, 对以旋压和卷焊 2 种工艺加工的 LF6 铝合金圆筒结构件, 进行实海浸泡试验。暴露试验结束后, 将全部圆筒取回进行后处理, 并取小片试样进行扫描电镜观察, 分析腐蚀规律及产生原因。

## 1 实验

### 1.1 旋压

用三旋轮非对称分布卧式台力旋压机进行 3 道次热旋成形, 热旋温度为: 预热到 300~330 °C, 第 1 道次 280~310 °C, 第 2 道次 200~250 °C, 第 3 道次为 150 °C<sup>[6]</sup>。旋压出的管材规格为  $d_{290.7\text{ mm}}$  (内径)  $\times 12\text{ mm}$  (厚度)  $\times 500\text{ mm}$  (长度)。

### 1.2 卷板焊接

#### 1.2.1 卷焊工艺

将厚 5 mm 的板材卷成直径为 300 mm, 高为 500 mm 的圆筒, 选成分和 LF6 相近的专用焊丝将圆筒一端和厚 3 mm 的同种板材焊接好。

#### 1.2.2 表面处理

##### 1.2.2.1 碱洗酸洗标准处理

试样在温度为 20 °C, 浓度为 10% 的 NaOH 溶液中碱洗 2 min, 再用 30% 硝酸酸洗, 随后水洗干净, 最后用热水洗净, 吹干。

##### 1.2.2.2 阳极氧化

氧化前碱洗除油 2 min, 并进行酸洗处理, 以除去残留在试样表面的黑色挂灰。阳极氧化工艺的主要参数为 180 g/L 硫酸, 温度 20 °C, 电压 16 V, 电流密度 1.3 A/dm<sup>2</sup>, 氧化时间 30 min, 最后在 90 °C 水中浸泡 1 min 进行封孔处理。在此条件下所形成的氧化膜的厚度约为 10  $\mu\text{m}$ 。

##### 1.2.2.3 化学铣切

化学铣切是把工件需要加工的表面露出来, 非加工表面用耐蚀涂层保护起来, 然后浸在化学腐蚀液中, 以达到加工的目的。其加工步骤为: 表面预处理  $\rightarrow$  涂层保护  $\rightarrow$  固化  $\rightarrow$  刻型  $\rightarrow$  腐蚀  $\rightarrow$  清洗  $\rightarrow$  去保护层。腐蚀溶液为 250 g/L NaOH 溶液 (Al 含量为 5~50 g/L), 加工温度 70~90 °C, 腐蚀速度 0.02~0.05 mm/min。

每种状态平行试样 2 个, 将全部试样投放 16 m 深的厦门海域, 暴露时间为 1 年。随着从各种试样上取下小块进行扫描电镜观察并测试成分。

## 2 结果与讨论

### 2.1 宏观形貌

实海浸泡 6 个月后, 试样的宏观形貌如图 1 所示。可见试样的腐蚀有以下特点: 1) 试样上皆有海生物附着; 2) 卷焊圆筒腐蚀轻微, 焊接热影响区的

① [收稿日期] 2000-09-28; [修订日期] 2000-12-13

[作者简介] 赵月红(1973-), 女, 工程师, 硕士。

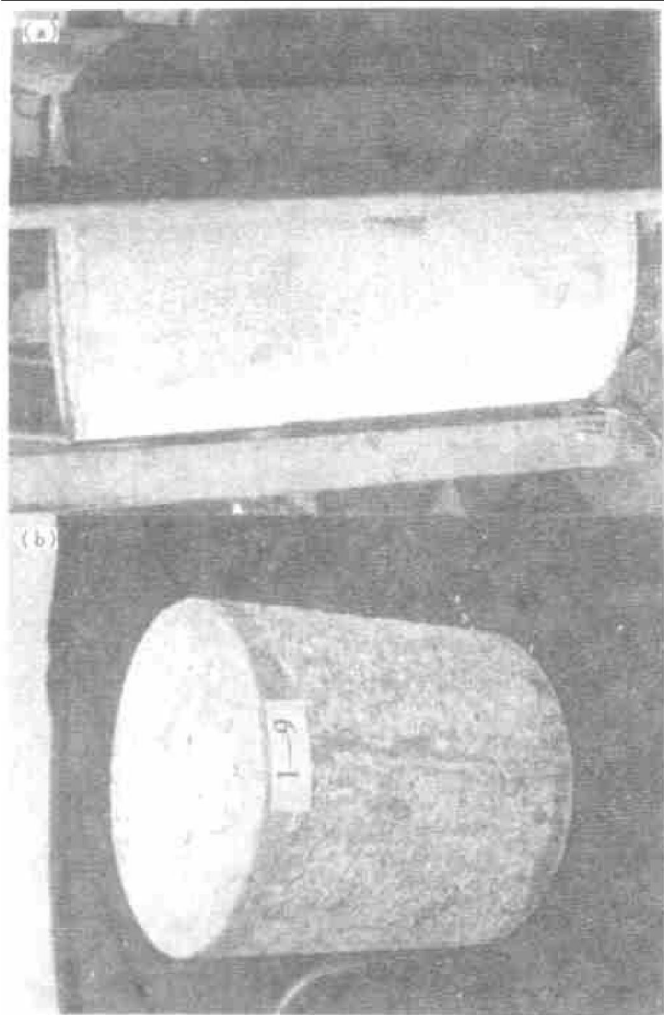


图 1 深海腐蚀 6 个月后试样的宏观腐蚀形貌

Fig. 1 Macro-morphologies of samples immersed in seawater for six months

(a) —Spinning sample;

(b) —Welding sample with standard surface treatment

腐蚀状况与其它部分没有明显差别; 3) 旋压试样比卷焊试样耐蚀性好。

## 2.2 微观形貌

### 2.2.1 加工工艺及表面处理对微观形貌的影响

实海浸泡 1 年后, 旋压铝合金的腐蚀微观形貌见图 2。可以看出, 旋压铝合金的晶粒呈长形片状, 并且晶粒比较细小, 整体上呈片状剥落腐蚀, 剥落处腐蚀比较均匀。旋压试样上蚀坑平均深度为 1.24 mm, 最大深度是 1.50 mm; 但在卷板焊接试样上蚀坑的平均深度为 1.53~ 2.47 mm, 最大蚀坑深度为 1.80~ 2.80 mm。由此可见卷板焊接的 LF6 铝合金圆筒上的腐蚀相对旋压铝合金圆筒的腐蚀严重得多。对于旋压试样, 旋压之前需对坯料和芯模预加热到 350 ℃左右, 时间约需要 1~ 1.5 h, 这无疑相当于一次热处理过程<sup>[9]</sup>, 因此旋压铝合金的耐腐蚀

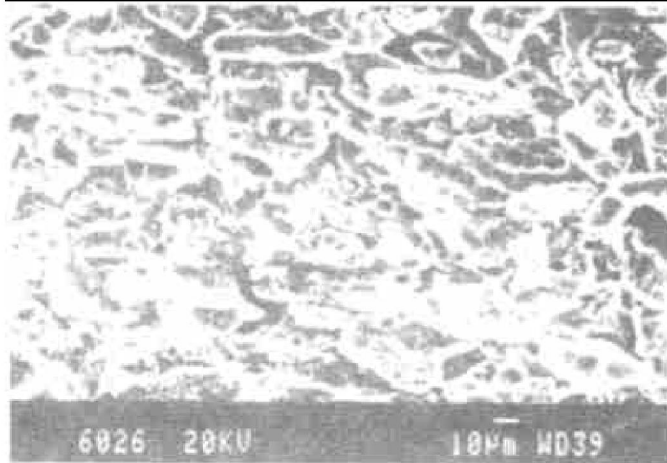


图 2 旋压试样的腐蚀微观形貌

Fig. 2 SEM morphology of spinning sample

性要优于卷焊铝合金。

对于卷板焊接 LF6 铝合金圆筒来说, 用不同方法处理表面, 其腐蚀情况不尽相同。标准处理表面与化铣表面上腐蚀的程度相差不多, 均比氧化处理表面的腐蚀严重。这是因为阳极氧化表面由于氧化保护膜的保护作用, 只有轻微的腐蚀。图 3 是标准处理表面卷焊试样的腐蚀微观相片。可见, 卷板焊接试样不但有沿晶腐蚀, 而且在晶粒内还有方形的蚀坑, 即发生了沿晶体学方向的腐蚀。

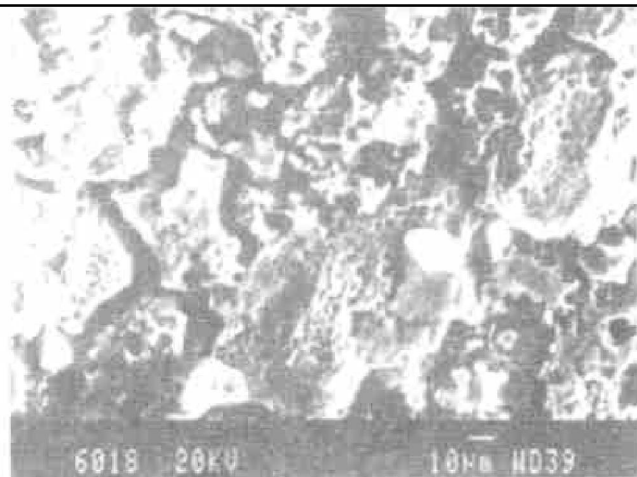


图 3 标准表面处理卷焊试样的腐蚀微观形貌

Fig. 3 SEM morphology of welding sample with standard surface treatment

### 2.2.2 卷焊试样焊缝及附近区域的腐蚀微观形貌

图 4 所示为经氧化表面处理卷焊试样的腐蚀形貌, 其中图 4(a) 为焊缝区及热影响区的微观腐蚀形貌。可见焊缝上存在层状的腐蚀产物膜, 基本未受到腐蚀。表 1 所列数据也表明这一点。焊缝基体成分中镁含量为 5.23%, 锰含量为 0.50%, 而焊缝上杂质成分中硅、氯、硫含量偏高, 说明焊缝上也有腐蚀, 但这些点只是轻微贫镁、锰, 这证明焊缝腐蚀很轻微; 热影响区的腐蚀产物膜相对厚且疏松,

表 1 卷焊圆筒焊缝上的合金成分

Table 1 Alloy composites on welding seam of welding cylinder

| Surface treatment  | Location                 | w (Al) / % | w (Mg) / % | w (Mn) / % | w (Fe) / % | w (Si) / % | w (Cl) / % | w (S) / % | w (P) / % | w (K) / % | w (Na) / % | w (Ca) / % |
|--------------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Anodic oxidation   | Welding seam             | 40.79      | 3.83       | 0.23       | 6.65       | 17.80      | 15.12      | 6.85      | 1.94      | 1.53      | 0.07       | 5.19       |
|                    | Welding seam             | 39.64      | 2.94       | 0.84       | 6.66       | 23.96      | 13.45      | 2.82      | 1.22      | 1.97      | 0.04       | 6.47       |
|                    | Matrix near welding seam | 93.25      | 5.23       | 0.50       | 0          | 0.86       | 0          | 0.04      | 0         | 0         | 0          | 0          |
|                    | Heat affected zone       | 62.72      | 3.68       | 0.26       | 1.14       | 13.70      | 12.52      | 1.50      | 1.16      | 0.36      | 0          | 3.23       |
| Standard treatment | Welding seam             | 89.29      | 4.68       | 0.52       | 0          | 3.46       | 1.10       | 0.44      | 0.48      | 0         | 0          | 0.04       |
|                    | Matrix near welding seam | 41.00      | 1.91       | 0.25       | 9.87       | 27.16      | 6.41       | 6.41      | 2.27      | 1.61      | 0.03       | 6.74       |
|                    | Heat affected zone       | 74.23      | 2.47       | 0.22       | 0.66       | 4.79       | 6.03       | 10.58     | 1.01      | 0         | 0          | 0          |

除了有大量 β 相析出外, 还有密度较大的夹杂相, 焊缝上的第二相排列规则(如图 5(a) 所示), LF6 基体上第二相排列杂乱(如图 5(b) 所示), 而且焊缝成分与 LF6 相近。这些保证了焊缝具有比基体更优异的耐腐蚀性能。该合金存在富锰相的沿晶析出, 这是该合金普遍呈现沿晶腐蚀的内在原因。

3 结论

1) 旋压成形的铝筒耐蚀性能优于卷板焊接铝筒。前者呈现剥落腐蚀形貌, 剥落处腐蚀比较均



图 4 氧化表面处理卷焊试样的腐蚀形貌

Fig. 4 Morphologies of welding sample with anodic oxidation surface treatment  
(a) —SEM; (b) —OM

没有出现沿晶腐蚀, 从成分看, 热影响区硅、氯、硫偏多, 镁、锰轻微贫化。标准处理表面的焊缝虽有裂纹的, 但从成分上看, 镁与锰贫化并不严重, 也说明焊缝基本未腐蚀。但离焊缝稍远处, 有蚀坑, 蚀坑中为晶界腐蚀, 也有沿晶体学方向的腐蚀。

图 4(b) 是焊缝与筒体交界处的金相组织照片, 其中暗区为基体, 亮区为焊缝。可见焊缝与 LF6 均存在第二相, 但焊缝中夹杂要比 LF6 中的少; LF6

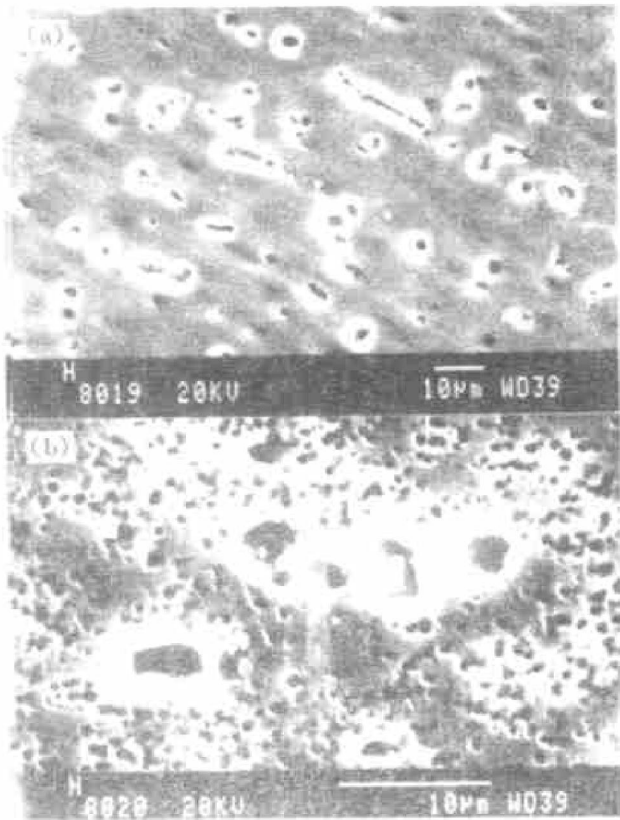


图 5 焊缝与基体中第二相形貌

Fig. 5 SEM morphologies of second phase  
(a) —In welding seam; (b) —In matrix

匀; 后者则呈现沿晶腐蚀形貌。

2) 受到阳极氧化保护膜的保护作用, 阳极氧化的铝筒试样较标准处理和化学铣切处理的卷焊铝筒腐蚀轻微。

3) 在卷焊铝筒焊缝上基本未发生腐蚀, 焊缝附近的区域, 有较深的蚀坑, 蚀坑内呈严重的多层沿晶腐蚀形貌。焊缝内第二相排列规则, 且富锰相相对 LF6 合金基体较少, 这是焊缝耐腐蚀的内在原因。

## [ REFERENCES ]

- [ 1 ] Schumacher M. Seawater Corrosion Handbook [ M ]. Park Ridge, New Jersey, USA, 1979.
- [ 2 ] Southwell C R, Alexander A L, Hummer C W. Corrosion of metals in tropical environments—aluminum and magnesium [ J ]. Materials protection, 1965, 10: 30–35.
- [ 3 ] Groover R E, Lennox T J, Peterson M H. Cathodic protection of 19 aluminium alloys exposed to sea water—corrosion behavior [ J ]. Materials protection, 1969, 11: 25–30.
- [ 4 ] Beccaria A M, Poggi G. Influence of hydrostatic pressure on pitting of aluminium in sea water [ J ]. British Corrosion Journal, 1985, 20(4): 183–186.
- [ 5 ] Beccaria A M, Poggi G. Effect of some surface treatments on kinetics of aluminium corrosion in NaCl solutions at various hydrostatic pressures [ J ]. British Corrosion Journal, 1986, 21(1): 19–22.
- [ 6 ] Beccaria A M, Poggi G, Gingaud D, et al. Effect of hydrostatic pressure on passivating power of corrosion layers formed on 6061 T6 aluminium alloy in sea water [ J ]. British Corrosion Journal, 1994, 29(1): 65–69.
- [ 7 ] Basse J L. Corrosion of aluminum alloys in ocean thermal energy conversion seawaters [ J ]. Materials performance, 1984, 23(7): 16–21.
- [ 8 ] LIN Le-yun, ZHANG Qi-hai, YANG Zhi-min. Influence of precipitates and their distribution on seawater corrosion resistance of Al-Mg alloy [ J ]. Trans Nonferrous Met Soc China, 1997, 7(1): 116–119.
- [ 9 ] Babic R, Metikos-Hukovic M, Omanovic S, et al. Electrochemical behaviour of aluminium base alloys in presence of chloride ions [ J ]. British Corrosion Journal, 1995, 30(4): 288–291.
- [ 10 ] Dexter S C, Culberson C. Global variability of natural sea water [ J ]. Materials Performance, 1980, 19(9): 16–28.
- [ 11 ] Rowland H T, Dexter S C. Effects of the sea water carbon dioxide system on the corrosion of aluminium [ J ]. Corrosion, 1980, 36(9): 458–467.

# Corrosion behaviors of LF6 Al-Mg alloy with different processing and surface treatment in deep seawater

ZHAO Yue-hong, LIN Le-yun

(General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, P. R. China)

**[ Abstract ]** The spinning samples and welding samples with standard, anodic oxidation or chemical milling surface treatment were immersed in seawater for one year. The results of corrosion morphologies and alloy composites show that corrosion resistance property of spinning samples is better than that of welding ones and corrosion resistance property of welding samples with anodic oxidation is better than that of those with standard or chemical milling. There is nearly no corrosion on the welding seam and some corrosion pits in the heat affected zone. The excellent corrosion resistance of the welding seam is due to more regular and less second phases in welding seam than that in substrate of LF6 alloy.

**[ Key words ]** corrosion; spinning; welding; surface treatment

(编辑 杨 兵)