

# 温度对金属紧固件与碳纤维 / 环氧复合材料的电偶腐蚀影响的研究

北京航空航天大学 浦素云

应用电化学方法研究了碳纤维 / 环氧复合材料与 TC6 钛合金、LC4 铝合金、30CrMnSiNi2A 合金钢的电偶腐蚀行为。在 20~60℃ 温度范围内研究了温度对各偶对的电偶电位及电偶电流的影响。比较了各种紧固件金属材料与碳纤维复合材料构成偶对时的电偶腐蚀性能。

## Effect of Temperature on the Galvanic Corrosion Behaviour of Carbon Epoxy Composite-Metallic Fasteners

Pu Suyun

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

The galvanic corrosion behaviour of galvanic couples composed of carbon epoxy composite material and titanium alloy TC6, aluminium alloy LC4, steel 30CrMnSiNi2A has been studied by electrochemical method. The effect of temperature from 20 to 60℃ on galvanic potential and galvanic current density of galvanic couples has been studied. The different galvanic corrosion behaviours of various galvanic couples composed of carbon epoxy composite material and metal materials used for fasteners have been compared. The results show that the galvanic potentials are in the order of composite-TC6 > composite-30CrMnSiNi2A > composite-LC4.

### 引 言

复合材料已在某些飞机上得到应用, 并因此而改进了飞机的性能。A310-300 客机的复合材料垂尾重量为 510 公斤, 与类似飞机的垂尾相比, 重量减轻, 零件数目大大减少。AV-8B 战斗机中复合材料在结构中所占重量比例已达到 26.3%。据估计, 到本世纪末, 复合材料在飞机结构中的使用比例可能达到 40~50%。在飞机上使用复合材料, 必然遇到零、部件之间的联接与紧固问题。常用的金属紧固件的材料为高强铝合金、高强钢及钛合金。由于使用环境中复合材料电位较正, 常常会出现与金属紧固件的电偶腐蚀问题。

### 实 验

#### 1. 材料

所研究的金属材料为 TC6 钛合金 (双态及网篮组织)、LC4 铝合金和 30CrMnSiNi2A 合金钢。所研究的复合材料为 T300 / 648 环氧复合材料。

#### 2. 研究电极

所用小电极的尺寸为 10×10mm, 用于电位测

量。所用大电极的尺寸为 25×50mm, 用于测定电偶电位和电偶电流。

#### 3. 腐蚀环境

所研究的腐蚀环境为 3.5% NaCl 溶液, 在 20~60℃ 之间选定不同温度进行试验。

#### 4. 主要测试系统

自然腐蚀电位用 JH-2C 恒电位仪测量。参比电极为饱和甘汞电极。电偶电位电流用 FC-4 电偶腐蚀计测定。腐蚀环境溶液温度用一个 WMZK-02 型温度指示控制仪控制。

### 结果与讨论

#### 1. 自然腐蚀电位的测量

测量了 T300 / 648 环氧复合材料、TC6 钛合金、30CrMnSiNi2A 合金钢、LC4 铝合金在 3.5% NaCl 溶液中, 在 30~60℃ 区间自然腐蚀电位随时间的变化。从图 1 可以看出, 自然腐蚀电位随温度变化不大。在同样温度下, 复合材料的自然腐蚀电位最正, TC6 次之, 30CrMnSiNi2A 更负一些, LC4 的自然腐蚀电位最负。由此可以预估, 钛合金与复合材料构成偶对时, 耐电偶腐蚀性能最好, 而

30CrMnSiNi2A 及 LC4 发生电偶腐蚀可能性较大。

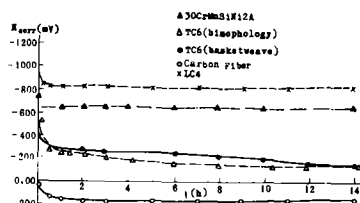


图 1 不同材料在 60°C 3.5% NaCl 溶液中自然腐蚀电位  $E_{\text{corr}}$  随时间  $t$  变化曲线

Fig.1 Environment corrosion potential versus time in solution NaCl 3.5% at 60°C for various materials

## 2. 电偶电流 $i_g$ 和电偶电位 $E_g$ 的测量

### (1) 电偶电流随时间的变化及温度的影响

从图 2~图 6 可以看出, 复合材料—TC6 (双态和网篮) 电偶对的电偶电流  $i_g$  在 20~60°C 温度范围内随着时间的增加都逐渐减小, 稳定 14 小时的  $i_g$  大约是 (0.040~0.034)  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  或 (0.056~0.068)  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。这说明 TC6 钛合金与复合材料构成电偶时, 即使温度上升到 60°C, 电偶电流  $i_g$  还是很小, 温度对电偶电流  $i_g$  影响不大。而 LC4 与复合材料构成电偶时, 以及 30CrMnSiNi2A 与复合材料构成电偶时, 电偶电流  $i_g$  随着温度的升高而增加, 特

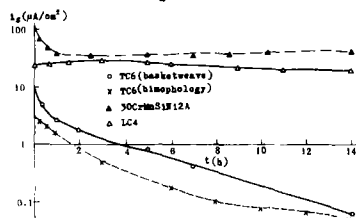


图 2 60°C, 3.5% NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $E_g$ - $t$  曲线

Fig.2  $E_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 60°C for various coupled materials

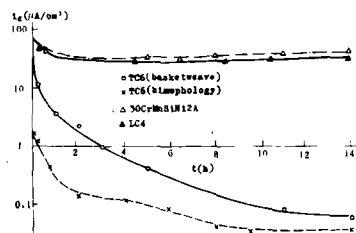


图 3 20°C, 3.5% NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $i_g$ - $t$  曲线

Fig.3  $i_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 20°C for various coupled materials

别是 LC4 与复合材料构成的电偶对的  $i_g$  随着温度的升高, 从 20  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  显著地增大到 88  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , 可见温度的影响较大, 温度升高时电偶腐蚀性能明显下降。

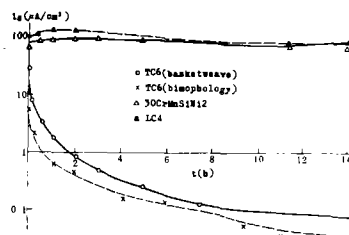


图 4 30°C, 3.5% NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $i_g$ - $t$  曲线

Fig.4  $i_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 30°C for various coupled materials

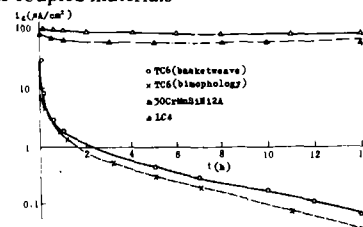


图 5 40°C, 3.5% NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $i_g$ - $t$  曲线

Fig.5  $i_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 40°C for various coupled materials

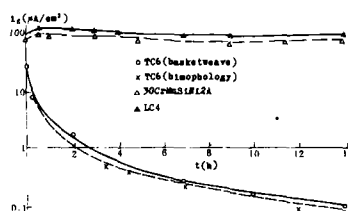


图 6 50°C, 3.5% NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $i_g$ - $t$  曲线

Fig.6  $i_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 50°C for various coupled materials

### (2) 不同电偶对的电偶电流 $i_g$ 和电偶电位 $E_g$ 随时间的变化

从图 7 可以看出在 20~60°C 温度范围内, 不同偶对材料的  $E_g$  依照从负到正排列顺序为: LC4、30CrMnSiNi2A 和 TC6。TC6 的电偶电流最小, 这从图 8 的照片也可以看出, TC6 钛合金试样表面在试验后仍然比较光亮, 无腐蚀, 其原因可能是钛的表面极易生成一种保护膜。这种保护膜可能是  $\text{TiO}_2$ 。而 LC4 与复合材料偶对, 30CrMnSiNi2A 与复合材

料偶对的电偶电流  $i_g$  随温度的升高而增大, 尤其是 LC4 与复合材料偶对的电偶电流变化更为明显。从

图 8 照片可以看到, LC4 和 30CrMnSiNi2A 的试样在试验后表面腐蚀严重。

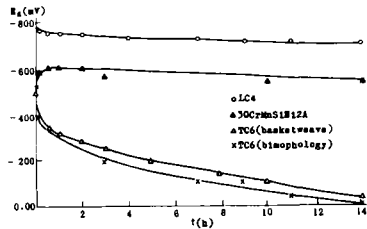
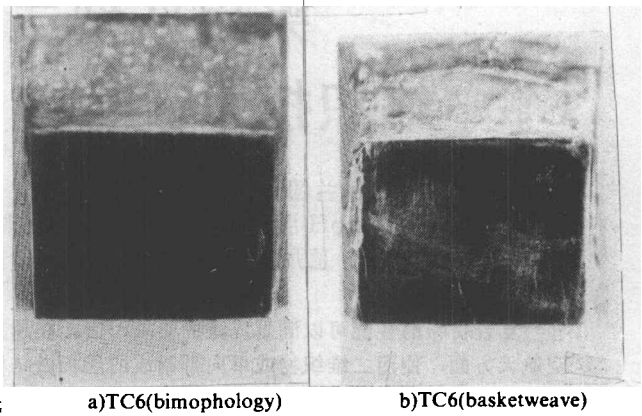
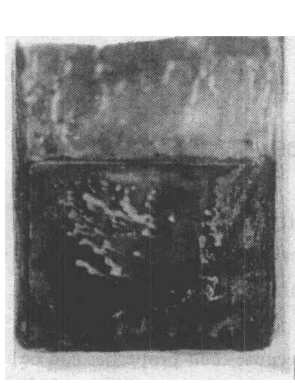


图 7 60℃, 3.5%NaCl 溶液中, 不同偶对材料的  $i_g-t$  曲线  
Fig.7  $i_g/t$  curves in solution NaCl 3.5% at 60℃ for various coupled materials

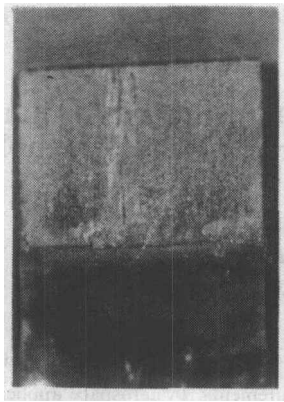


a)TC6(bimorphology)

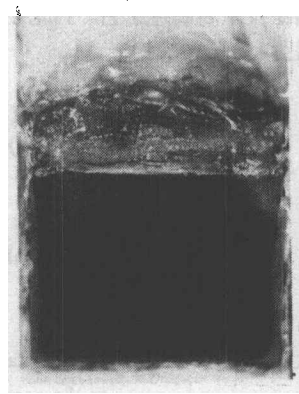
b)TC6(basketweave)



c)30CrMnSiNi2A



d)LC4



e)Composite material

图 8 研究电极表面腐蚀状态及 C/E 表面状态 (构成电偶对, 在 3.5%NaCl 中 14 小时浸泡, 溶液温度 60℃)

Fig.8 Corrosion on the surface of electrode and composite materials (galvanic couple, in solution NaCl 3.5% for 14h. at 60℃)

## 结 论

1. 在 30~60℃ 温度范围内, 在相同温度下, 不同材料的自然腐蚀电位按照由正到负的排列顺序为: 复合材料、TC6、30CrMnSiNi2A 和 LC4。
2. 在所研究的温度范围 (从 20~60℃) 内, 同种偶对在不同温度下测得的电偶电流表明, 当温度增加时, 复合材料—TC6 电偶电流变化不大, 而复合材料—LC4 与复合材料—30CrMnSiNi2A 的电偶电流随温度增加而显著上升, 复合材料—LC4 尤为明显。
3. 在所研究的温度范围内的相同温度下对不同偶

对进行比较, 可以看出 LC4 及 30CrMnSiNi2A 与复合材料构成偶对时电偶电流比较大, 而 TC6 与复合材料构成偶对时电偶电流比较小。

4. 在所研究的温度范围内的相同温度下, 不同偶对的电偶电位由正到负排列顺序为: 复合材料—TC6、复合材料—30CrMnSiNi2A、复合材料—LC4。

5. 与复合材料构成偶对时, TC6 耐电偶腐蚀性能最好, 30CrMnSiNi2A 较差, LC4 性能最差。

## 致 谢

成艳同学在毕业作业期间参加了本研究的实验工作, 特此鸣谢。