

# 镁、铝合金间的连接腐蚀行为及不同表面处理的保护效果研究\*

蒋百灵, 袁 芳, 袁 森, 时惠英, 袁 兵

(西安理工大学 材料学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 按照 GB/T 10125—1997《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》试验标准, 采用对比试验, 对镁合金与铝合金连接的腐蚀行为进行研究。结果表明: 由于镁合金电极电位低于铝合金, 因此, 镁合金与铝合金连接后, 置于含 NaCl 的腐蚀气氛时, 发生电偶腐蚀, 加速了镁合金的全面腐蚀; 当对镁合金进行适当的表面处理后, 腐蚀明显减少, 且有电偶腐蚀效应大大减小; 在两种表面处理工艺的对比中, 微弧氧化处理效果较佳。

**关键词:** 镁合金; 连接腐蚀; 微弧氧化

中图分类号: TG174

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)05-0039-04

## Study on Junction Corrosion of Magnesium Alloy Coupled With Aluminum Alloy and Protection Effects of Different Surface Treatment

JIANG Bai-ling, YUAN Fang, YUAN Sen, SHI Hui-ying, YUAN Bing

(Xi'an University of technology, Shannxi, Xi'an, 710048)

**Abstract:** The corrosion behaviors of magnesium alloy coupled with aluminum alloy were investigated by applying GB/T 10125—1997 test criteria and using contrast test in this paper. The results showed that the galvanic corrosion occurs on magnesium alloy due to the lower electrode potential when the two alloys linked together, and the general corrosion was accelerated. The suitable surface treatments on magnesium alloy can reduce the corrosion and the galvanic corrosion effect is decreased. The Micro-arc Oxidation Coating was better than the other.

**Key words:** magnesium alloy; junction corrosion; Micro-arc Oxidation

### 0 引 言

随着镁合金的开发应用, 人们越来越感到镁合金腐蚀问题危害的严重性, 镁合金腐蚀已经成为限制其应用的关键问题之一<sup>[1,2]</sup>。尤其是在其作为汽车、船舶零部件使用时, 更要求其安全可靠。在实际环境中, 由于镁合金总是与其它金属配套使用的, 而在与不同金属的电接触中, 镁由于其低的电极电位, 一般做阳极, 电偶对的作用会更加加剧其腐蚀破坏<sup>[3]</sup>。采用适当的表面处理对镁合金进行保护, 可以防止其与异种金属接触时发生严重的电偶腐蚀<sup>[4]</sup>。对镁合金制品进行微弧氧化处理, 可得到一层致密、高阻抗且与基体结合性能良好的陶瓷层<sup>[5]</sup>, 该陶瓷层有望能阻止镁合金与异种金属接触时而产生电偶腐蚀。文中旨在通过对镁、铝合金的连接

腐蚀行为进行研究, 为镁合金制品的腐蚀防护提供试验依据。

### 1 试 验

#### 1.1 试验材料

试验所用镁合金为 AZ31 变形镁合金, 与镁合金偶接材料为 LY12 铝合金, 成分见表 1。

#### 1.2 试样的尺寸

镁合金试样加工成 30 mm×30 mm×6 mm 的小方片, 铝合金为 25 mm×25 mm×3 mm。中心分别有一  $\phi$ 7 mm 的圆孔。

#### 1.3 处理试样

1#、6#试样用砂纸打磨, 作为未进行处理试样。2#、7#试样做铬化处理。3#、4#、5#、8#、9#、10#分别做微弧氧化处理。3#、8#试样陶瓷层厚度为 5  $\mu$ m; 4#、9#试样陶瓷层厚度为 10  $\mu$ m; 5#、10#试样陶瓷层厚度为 15  $\mu$ m。

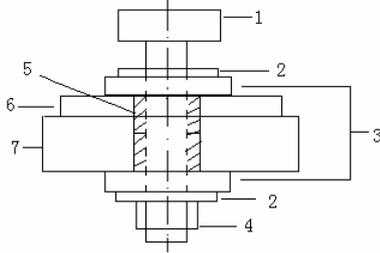
收稿日期: 2005-09-05; 修回日期: 2005-09-07

基金项目: \*国家“十五”科技攻关计划(2001BA311A063)

作者简介: 蒋百灵(1960-), 男(汉), 陕西渭南人, 教授, 博导。

### 1.4 安装试样

试样安装方式如图1所示:



1-螺栓 2-螺栓垫 3-绝缘垫片 4-螺母 5-绝缘套管 6-LY12 试样  
7-AZ31 镁合金试样

图1 试样安装示意图

Fig.1 The fixing scheme of specimen

### 1.5 试验方法

文中盐雾腐蚀试验所用的设备是HSS-150型盐雾腐蚀试验箱,根据国家标准GB/T 10125-1997《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》之规定进行腐蚀试验,试验周期为24 h。

文中采用质量损失法研究镁合金在未经任何处理、进行铬化处理、微弧氧化处理后的腐蚀行为。并且,根据ASTM标准G149-97的规定,材料的电偶腐蚀效应为<sup>[3]</sup>:

$$\gamma = \Delta m / \Delta m_0 - 1 \quad (1)$$

(1) 式中  $\gamma$ —大气电偶腐蚀效应;  $\Delta m$ —试片质量损失;  $\Delta m_0$ —空白试片质量损失

以此类推加速腐蚀条件下材料的电偶腐蚀效

应。由此公式可以看出:由于试样面积大小相同,在相同时刻, $\Delta m$ 、 $\Delta m_0$ 可以反映试样的腐蚀速率。电偶腐蚀效应是一个无量纲值。 $\gamma > 0$ ,即存在电偶腐蚀, $\gamma$ 值越大,电偶腐蚀效应越大; $\gamma \leq 0$ ,无电偶腐蚀,且 $\gamma$ 值越大,说明涂层保护效应越好。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 不同腐蚀溶液浓度条件下镁、铝合金的连接腐蚀行为

不同腐蚀溶液浓度条件下镁合金未连接与连接腐蚀失重对比如表3所示:由于腐蚀介质含有 $Cl^-$ , $Cl^-$ 对镁合金有加速腐蚀作用,镁合金在含5%NaCl溶液的腐蚀介质中的腐蚀速率是在去离子水介质中的2~4倍。而且随着NaCl浓度的增大,腐蚀速率也相应增加。电偶腐蚀结果表明:镁合金在不做任何表面处理的情况下,当其与铝合金连接后产生电偶腐蚀效应已经达到1以上,明显加速了镁合金的腐蚀,且腐蚀溶液浓度越大,电偶腐蚀效应越大。

从腐蚀形貌(图3)看,镁合金在经72 h盐雾腐蚀,腐蚀程度相当严重。在连接处的外围腐蚀坑较深,这是由于电偶腐蚀所形成了电偶影响区,在电偶影响区内腐蚀较为严重,使腐蚀速率增加。腐蚀溶液浓度越高,电偶影响区相应也越大,图3(c)为浓度为10%NaCl溶液腐蚀条件下镁合金连接腐蚀形貌,腐蚀已经遍布整个表面。

表1 试验用材料的化学成分

Table 1 The component of material using in this test

材料	质量分数/%						
	Al	Mn	Zn	Ca	Si	Cu	Mg
AZ31 镁合金	2.5~3.5	0.2~1.0	0.7~1.3	~0.04	~0.05	~0.01	余量
	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	杂质	Al
LY12 铝合金	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	0.5	0.5	<1.5	余量

表2 不同腐蚀溶液浓度条件下的腐蚀失重数据(mg)及电偶腐蚀效应

Table2 The juncture corrosion weightlessness and the effect of galvanic corrosion in different solution concentration

介质	腐蚀时间 $t_1/24$ h			$t_2/48$ h			$t_3/72$ h		
	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{24}$	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{48}$	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{72}$
去离子水	5.66	7.25	0.28	5.76	8.40	0.46	9.17	10.32	0.13
5%NaCl	7.80	11.64	0.49	14.24	24.07	0.69	16.46	30.29	0.84
10% NaCl	11.35	26.43	1.33	17.39	36.05	1.07	23.25	44.06	0.90

注:表中 $\Delta m_0$ 为未连接; $\Delta m$ 为连接件

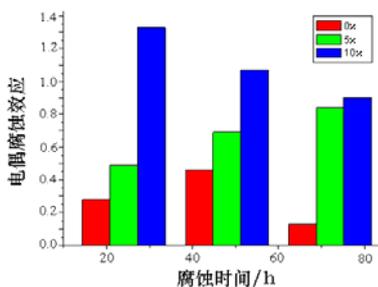


图 2 不同浓度腐蚀溶液条件下镁铝合金连接的电偶腐蚀效应图

Fig.2 The effect of galvanic corrosion for magnesium alloy coupled with aluminum alloy in different solution concentration

2.2 不同表面处理方法对镁合金连接腐蚀的保护程度

镁合金未经表面处理(空白)、铬化处理、微弧氧化处理试样与铝合金连接后, 置于盐雾试验箱中, 经标准盐雾试验后的腐蚀失重。试样腐蚀失重数据如表 3, 数据表明: 两种表面处理均可以减小腐蚀失重, 减缓电偶腐蚀效应; 铬化处理在 48 h 以后, 出现电偶腐蚀效应, 数值等同于空白镁合金在

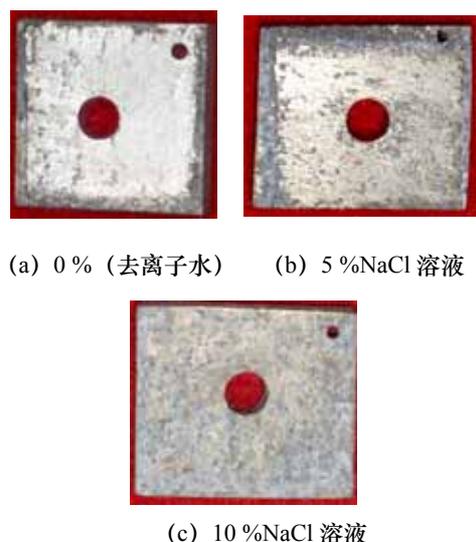


图 3 不同浓度空白镁合金的盐雾腐蚀形貌(72 h)

Fig.3 The corrosion morphology of magnesium alloy in different solution concentration (72 h)

24 h; 微弧氧化陶瓷层耐蚀性较铬化处理的好, 减缓电偶腐蚀时间超过 72 h。图 4 为几种试样腐蚀后的电偶腐蚀效应图。

表 3 空白镁合金、铬化处理、微弧氧化镁合金腐蚀失重数据(mg)及电偶腐蚀效应

Table3 The junction corrosion weight-loss of magnesium alloy, Cr treated and micro-arc oxidized alloy and the effect of galvanic corrosion in different solution concentration

处理方法	24 h			48 h			72 h		
	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{24}$	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{48}$	$\Delta m_0$	$\Delta m$	$\gamma_{72}$
去离子水	7.80	11.64	0.49	14.24	24.07	0.69	16.46	30.29	0.84
5%NaCl	1.38	1.05	-0.24	2.09	1.99	-0.05	3.98	5.68	0.43
10% NaCl	1.15	0.59	-0.48	1.86	0.97	-0.48	3.21	3.12	-0.03

注: 表中  $\Delta m_0$  为未连接;  $\Delta m$  为连接件

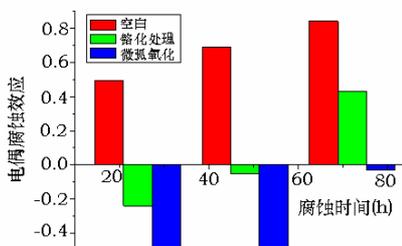


图 4 未经处理和经铬化、微弧氧化处理镁合金电偶腐蚀效应图

Fig.4 The effect of galvanic corrosion of untreated, chromated and micro-arc oxidized magnesium alloy

表面形貌见图 5: 通过对腐蚀过程中镁合金的腐蚀形貌的观察可以发现, 空白镁合金试样上, 在未连接面有大量点蚀坑, 而在与铝合金连接的另一面, 由于铝合金面积小于镁合金的面积, 在连接面的外围, 有较未连接面深的腐蚀坑, 这说明电偶对的形成对连接处外围有一定的电偶影响效应; 铬化处理膜层对镁合金连接腐蚀保护作用是有限的, 在腐蚀初期并没有出现明显的腐蚀现象, 但是膜层有被盐雾溶解现象, 随着时间的延长, 膜层逐渐溶解, 露出镁合金基体, 腐蚀现象与空白镁合金相同; 而微弧氧化陶瓷层在腐蚀过程中, 由于其具有高阻抗、结合力好和耐蚀性好的特性, 不仅没有产生电

偶腐蚀, 而且有连接后腐蚀失重明显小于未连接件。这可能是因为在连接处连接紧密, 盐雾沉积量少, 腐蚀明显较轻。因此可以得出: 镁合金经微弧氧化处理后, 可以明显减缓其与铝合金的连接腐蚀。



(a) 未处理

(b) 铬化处理



(c) 微弧氧化处理

图5 不同表面处理方法盐雾腐蚀形貌(72 h)

Fig.5 The corrosion morphologies using different surface techniques (72 h) (a) untreated (b) chromated (c) micro-arc oxidized

### 3 讨论

由于 $\text{Cl}^-$ 的作用, 腐蚀溶液 $\text{NaCl}$ 浓度越大, 镁合金腐蚀速率越快, 对于连接腐蚀亦是如此; 对镁合金进行适当表面处理可以改善其连接腐蚀状况, 延缓或避免电偶腐蚀效应的发生; 铬化处理对于短时期保护来说是有效的, 而在实际应用中, 绝大多数零部件要求耐标准盐雾腐蚀大于48 h, 因此比起微弧氧化来说, 铬化处理是很难达到零件实际可靠的要求的; 微弧氧化技术为这一难题开辟了新途径, 为镁合金制品提供很好的耐腐蚀性, 避免了电偶腐蚀的发生。

### 4 结论

(1) 镁、铝合金连接后形成电偶对, 使镁合金腐蚀加速, 且 $\text{NaCl}$ 浓度越大, 腐蚀越严重。

(2) 表面处理后的镁合金与铝合金连接, 连接腐蚀明显减小。铬化处理由于膜层结合力较差, 对镁铝合金连接腐蚀保护作用在48 h以内, 而微弧氧化陶瓷层的保护作用可达72 h以上, 并且连接处无

陶瓷层损坏现象。

### 参考文献:

- [1] 余刚, 刘跃龙, 李瑛, 等. Mg合金的腐蚀与防护 [J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(6):1087-1098.
- [2] 何积铨, 王湛, 张巍, 等. 模拟大气环境中加速镁合金电偶腐蚀的研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(3):141-143.
- [3] Hiroyuki U, Malsufurmi T, Tetsuji I. Atmospheric Galvanic Corrosion Behavior of AZ91D Couple to Other Metals [J]. Journal of Japan Institute of Light Metals, 1999, 49(4):172-177.
- [4] 战广深, 肖向辉. Mg-Al-Zn-Mn合金在 $\text{NaCl}$ 溶液中的接触腐蚀行为 [J]. 上海有色金属, 1996, 17(1): 8-24.
- [5] 蒋百灵, 张淑芬, 吴国建, 等. 镁合金微弧氧化陶瓷层显微缺陷与相组织及其耐蚀性 [J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(3):454-457.

作者地址: 西安理工大学 518 信箱 710048

Tel: 13891918834 (袁芳)

E-mail: yuan--fang@163.com

• 简讯 •

### 世界可持续发展与寿命周期工程会议 论文译文集即将出版

随着国际工业化和现代化建设的推进, 资源需求将持续大幅度增加, 资源供需矛盾日益突出, 环境压力越来越大。2004年9月29~10月1日在德国柏林召开了“世界可持续发展与寿命周期工程国际会议”。会议主题是“明确开展环保型设计与制造的必要性, 研究可持续制造领域的当前需求、发展趋势、未来方向及全球合作”。会议论文集收集了全寿命周期技术、逆向物流与再循环、再制造技术、可持续设计、全寿命周期评估和政策法规6个领域的55篇论文。为加强学术交流, 使中国学者了解到当今可持续制造所取得的最新进展和发展动向, 在国家自然科学基金委员会, 再制造技术国防科技重点实验室等单位及德国 Seliger 教授的支持下, 由徐滨士院士任主编。选择其中的51篇论文, 译为文集, 可供国内从事相关研究的科研院所、企事业单位学习和借鉴, 该译文集今年10月可以出版。

联系人: 史佩京 (010) 66718541

(本刊编辑部)