

# 磷酸钠在 NaCl 溶液中对 AZ31 镁合金的缓蚀作用

周娜, 侯利锋, 卫英慧, 郭春丽, 杜华云

(太原理工大学, 山西 太原 030024)

**摘要:** 采用电化学阻抗法、动电位极化曲线法、全浸泡失重法和扫描电镜, 研究了在 3.5% (质量分数) NaCl 溶液中磷酸钠 ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) 对 AZ31 镁合金腐蚀的抑制作用。结果表明:  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  对 3.5% NaCl 溶液中的 AZ31 镁合金具有缓蚀作用, 其缓蚀率随着  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  含量增大逐渐提高, 当  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  质量浓度为 1.0 g/L 时, 缓蚀率达到 81.5%。结合扫描电镜分析表明,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  在镁合金表面形成含有  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  和  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  的保护层, 这层致密的膜减少了基体与 Cl 接触, 抑制了镁合金的阳极反应。

**关键词:** AZ31 镁合金; 缓蚀剂;  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ; 电化学阻抗谱; 极化曲线

**中图分类号:** TG174.4; TG146.2<sup>+2</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2015)09-2260-05

镁及镁合金资源丰富, 同时具有较高的比强度、比硬度, 超强的吸收塑性变形能量等良好的综合性能<sup>[1,2]</sup>, 在汽车、航空航天、电子通讯、生物医学等方面都有广泛的应用<sup>[2-5]</sup>。但镁的标准电极电位为-2.37 V, 在常用的介质中腐蚀电位较低, 耐蚀性差, 这限制了其进一步的应用, 因此改善镁及镁合金的耐蚀性就显得尤为重要。

通常可以在镁合金表面生成一层保护膜来减缓其腐蚀程度<sup>[6,7]</sup>, 还可以在其所在的应用体系中加入一定量的缓蚀剂来增强其耐蚀性能<sup>[8,9]</sup>。其中缓蚀剂技术的经济方便有效等优点, 使其成为关注热点。当前开发研究的无机缓蚀剂主要有硅酸盐、钼酸盐、铬酸盐和磷酸盐等无机盐及其复配体系<sup>[10-12]</sup>, 但硅酸盐与基体成膜时间长, 易形成硅垢从而降低缓蚀率, 钼酸盐单独使用性能不佳, 而且价格偏高, 铬酸盐有毒, 已经逐渐减少应用<sup>[13]</sup>。磷酸盐作为缓蚀剂具有良好的缓蚀作用<sup>[14,15]</sup>, 但其对 AZ31 镁合金的缓蚀机理鲜见报道。本实验采用电化学交流阻抗法、动电位极化曲线法、静态失重法和扫描电镜 (SEM), 研究分析了在质量分数为 3.5% 的 NaCl 溶液中磷酸钠 ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) 对 AZ31 镁合金的缓蚀作用和缓蚀机理。

## 1 实验

所用电化学测量仪器为武汉科斯特 CS350 电化学工作站。采用三电极体系: 辅助电极为铂片, 参比电极为饱和甘汞 (SCE), 工作电极为 AZ31 镁合金试样。

实验前用水砂纸 (300#、600#、1000#) 将试样逐级打磨光滑, 然后用环氧树脂封装备用。电化学阻抗谱 (EIS) 测定在开路电位下进行, 交流激励信号峰值为 5 mV, 频率范围为  $10^5 \sim 10^{-2}$  Hz。极化曲线扫描速率为 2 mV/s, 扫描范围为 -500~+500 mV (相对于开路电位)。将镁合金电极浸入溶液中, 体系稳定以后开始进行电化学测试。

电化学阻抗及极化曲线的缓蚀率 (IE) 分别用式

(1) 和 (2) 计算:

$$IE = \frac{R_t - R_t^0}{R_t} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $R_t^0$  和  $R_t$  分别为空白溶液 (不添加缓蚀剂的 3.5% NaCl 溶液) 及含有缓蚀剂溶液的电极反应电阻。

$$IE = \frac{i_{\text{corr}}^0 - i_{\text{corr}}}{i_{\text{corr}}^0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $i_{\text{corr}}^0$  为空白溶液中的腐蚀电流密度;  $i_{\text{corr}}$  为添加缓蚀剂后的腐蚀电流密度。

静态失重实验所用镁合金尺寸为 15 mm×15 mm×5 mm, 实验前用 300#、600#、1000#水砂纸逐级打磨光滑, 蒸馏水冲洗, 丙酮超声清洗除油, 再用蒸馏水冲洗干净, 冷风吹干, 称重  $W_0$ 。将试样分别在空白溶液和添加不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中完全浸泡 24 h, 实验温度为  $25 \pm 1$  °C。试样取出后, 在含铬酸的溶液 (200 g/L  $\text{CrO}_3$ +10 g/L  $\text{AgNO}_3$ ) 酸洗 5~10 min, 除掉表面的腐蚀产物, 再经丙酮和去离子水清洗

收稿日期: 2014-09-13

基金项目: 国家自然科学基金 (51001079, 21201129, 51374151); 山西省自然科学基金 (2011011020-2)

作者简介: 周娜, 女, 1989 年生, 硕士, 太原理工大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030024, 电话: 0351-86018685, E-mail: zhouna118@163.com

后干燥，称重  $W_1$ 。所用药品均为分析纯。

腐蚀速度 ( $V$ ) 由下式计算：

$$V = \frac{W_0 - W_1}{At} \quad (3)$$

式中： $W_0$  和  $W_1$  分别是浸泡腐蚀前后试样的质量， $A$  为电极面积， $t$  为浸泡时间。静态失重实验所得缓蚀效率 ( $IE$ ) 由下式计算：

$$IE = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $V_0$  和  $V$  分别是空白溶液和添加缓蚀剂溶液中试样的腐蚀速率。

将 AZ31 镁合金在不同介质中浸泡 24 h 后清洗干净（与上文中静态失重试样清洗工艺相同，用于横截面形貌观察的试样略过酸洗步骤），用 TESCAN-VEGA3 型扫描电子显微镜观察其表面形貌。

## 2 结果与分析

### 2.1 电化学交流阻抗

图 1、2 分别为 AZ31 镁合金在空白溶液和含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (0.5~2.0 g/L) 的 3.5 % NaCl 溶液中的 Nyquist 图和 Bode 图。其中  $Z$  为阻抗， $Z'$ 、 $Z''$  分别表示阻抗实部与虚部， $f$  为频率。由图 1 可以看出，5 种溶液的阻抗谱相似，均由一段圆弧和收缩环组成，它们分别为高、中频容抗弧和低频感抗弧，其中容抗弧是由电荷传递电阻  $R_t$  及双电层界面电容  $\text{CPE}_{dl}$  组成的阻容弛豫过程<sup>[16]</sup>引起，弧半径的大小反映了腐蚀阻力的大小。图 1 中随着  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  浓度从 0 g/L 逐渐增加到 1.0 g/L 时，容抗弧半径逐渐增大，说明溶液传递电阻逐渐增大，耐腐蚀性变好。而当  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  浓度继续增大以后，圆弧半径反而逐渐缩小，并在低频出现明显的收缩环，这可能是由膜层的吸附-脱附引起。

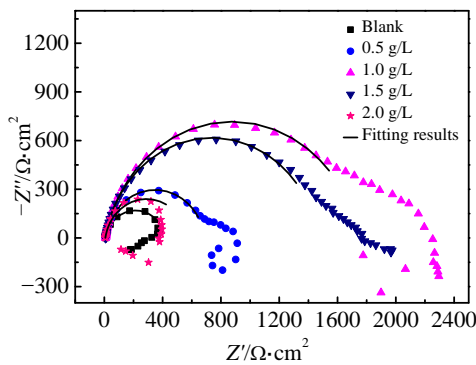


图 1 AZ31 镁合金在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的 Nyquist 图

Fig.1 Nyquist diagrams of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

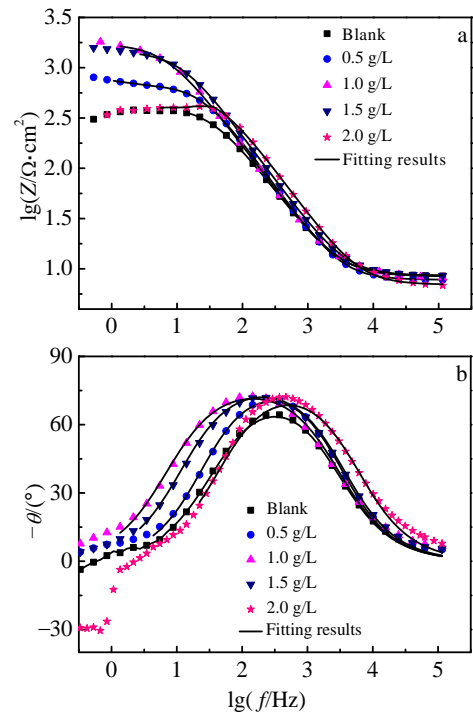


图 2 AZ31 镁合金在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的 Bode 图

Fig.2 Bode diagrams of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ : (a) modulus value plots and (b) phase value plots

从图 2a 模值图可以看出，添加  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  浓度为 1.0 g/L 时，最低频率阻抗模值比空白溶液中增大许多，耐蚀性得到很大提高；相角图中（图 2b），随着  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的增加，相位角逐渐增大，可能与镁合金表面产生了致密平整的膜有关，从而导致弥散效应<sup>[17]</sup>减小。同时表征腐蚀反应的相位角峰也向低频移动，表明缓蚀剂  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  抑制了镁合金的腐蚀。

图 3 为 AZ31 镁合金的等效电路图  $R_s(\text{CPE}_{dl}-R_t)$ ，其中  $R_s$  为溶液电阻。

表 1 为根据图 3 拟合的阻抗谱图数据。考虑到弥散效应，双电层界面电容  $\text{CPE}_{dl}$  常采用 CPE-T、CPE-P 这 2 个常数来表示，CPE-T 代表双电层电容量，CPE-P 则代表分散效应指数，相当于弥散因子。可以看出，随着  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  浓度从 0 g/L 逐渐增大到 1.0 g/L 时，电荷

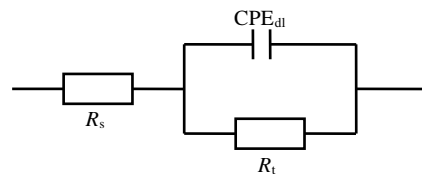


图 3 AZ31 镁合金的等效模拟电路

Fig.3 Equivalent simulation circuit of AZ31 magnesium alloy

表 1 AZ31 镁合金在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的交流阻抗拟合数据

Table 1 Fitting data of AC impedance of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

Concentration/ $\text{g L}^{-1}$	$R_s/$ $\Omega \cdot \text{cm}^2$	CPE-T/ $\mu\text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$	CPE-P	$R_t/$ $\Omega \cdot \text{cm}^2$	$IE/$ %
0.0	8.402	16.594	0.86402	314	—
0.5	8.571	17.757	0.88496	682	53.9
1.0	8.935	23.148	0.94618	1737	81.9
1.5	8.546	15.932	0.91548	1459	78.5
2.0	7.954	13.757	0.89137	565	44.2

表 2 AZ31 镁合金电极在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的 Tafel 曲线拟合数据

Table 2 Fitting data of Tafel polarization curves of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

Concentration/ $\text{g L}^{-1}$	$i_{\text{corr}}/$ $\times 10^{-5} \text{A cm}^{-2}$	$E_{\text{corr}}/$ V	Corrosion rate/ $\text{mm a}^{-1}$	$IE/$ %
0.0	8.1134	-1.5758	1.8775	—
0.5	4.3383	-1.5354	0.9058	51.8
1.0	2.3773	-1.4686	0.5037	73.5
1.5	4.5632	-1.5392	0.5877	68.7
2.0	6.2606	-1.5435	1.0504	44.1

传递电阻  $R_t$  呈线性增大趋势, 根据式 (1) 计算所得缓蚀率也达到最大。当  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  浓度继续增大时,  $R_t$  又开始呈减小趋势。添加 1.0 g/L  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  时, CPE-P 值最趋近于 1, 说明电极表面光滑平整, 形成了较致密的保护膜。

### 2.2 动电位极化曲线

图 4 为动电位极化曲线测试结果。根据 Tafel 外推法拟合极化曲线所得数据见表 2。在空白溶液中, 自腐蚀电位  $E_{\text{corr}}$  最负。当加入缓蚀剂后,  $E_{\text{corr}}$  正移, 自腐蚀电流密度  $i_{\text{corr}}$  也呈下降趋势, 拟合数据中的腐蚀速率也在  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  添加量为 1.0 g/L 时降到最低, 根据式 (2) 计算所得缓蚀率达到极值。同时, 溶液中添加的  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  含量无论如何变化, 都只是阳极极化曲线斜率有所增大, 阴极极化曲线变化不大。以上均说明缓蚀剂对腐蚀过程的阳极反应的抑制作用明显大于对阴极反应的抑制作用,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  为阳极型缓蚀剂<sup>[18]</sup>。

### 2.3 静态失重实验

为了证明上述分析, 采用静态失重实验, 研究了 AZ31 镁合金在添加不同缓蚀剂浓度下的缓蚀情况, 结

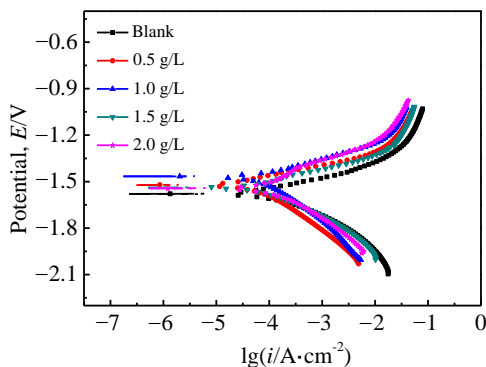


图 4 AZ31 镁合金在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的极化曲线

Fig.4 Polarization curves of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

果见图 5。由图 5 可以看出, 腐蚀速率随着缓蚀剂浓度的增大先减小后增大, 缓蚀率则随着缓蚀剂浓度的增大先增大后减小, 即当  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  质量浓度为 1.0 g/L 时, 腐蚀速率从在空白溶液里的 0.28  $\text{g/m}^2 \text{h}$  降到 0.07  $\text{g/m}^2 \text{h}$ , 缓蚀率达到最大。

从图 5 中可以看出, 静态失重法与电化学阻抗法所得缓蚀率相差不大, 动电位极化曲线法所得的缓蚀率较交流阻抗法所得较小, 但总体的变化趋势都是一致的。这是因为电化学方法测得的腐蚀速率是短时间的, 即时性较强, 而静态失重法测得的腐蚀速率是长时间的平均值, 因此后者是更精准、更能反映客观实际的测量方法, 前者的结果一般用来判断缓蚀率的变化趋势。

### 2.4 表面形貌

为了更进一步解释  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  对 AZ31 镁合金的缓蚀机理, 分别把在不同介质里浸泡后的试样表面和横截面用扫描电镜观察比较分析 (见图 6)。从图 6a 中可以看出, 在空白溶液中浸泡之后, 镁合金表面出现了颜色深浅不一的区域, 产生了大量的点蚀坑, 并且浸

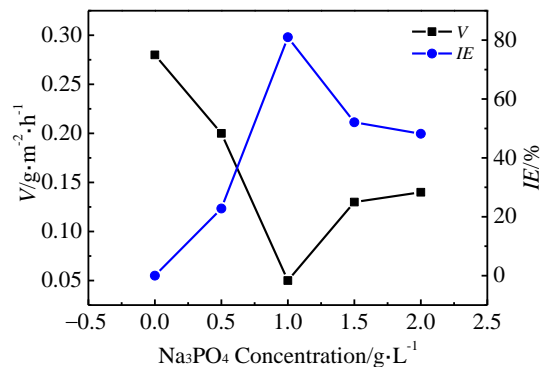


图 5 AZ31 镁合金在含不同浓度  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的 3.5% NaCl 溶液中的腐蚀速率和对应的缓蚀率

Fig.5 Corrosion rate and relative inhibition efficiency of AZ31 magnesium alloy in 3.5% NaCl solution containing different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

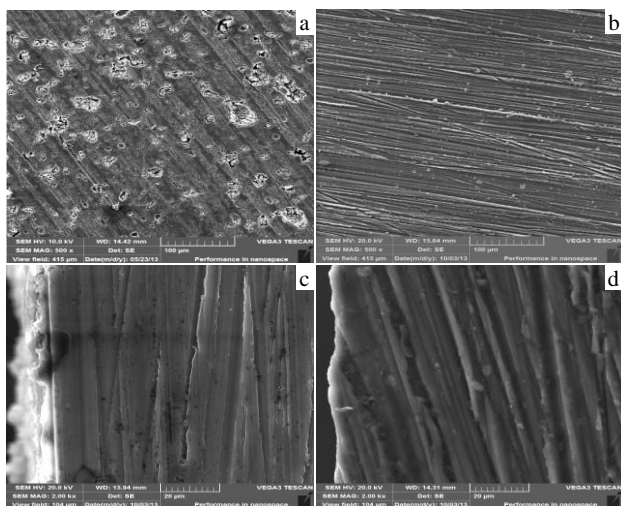


图 6 AZ31 镁合金浸泡后的 SEM 照片

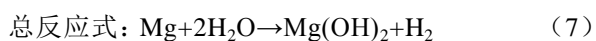
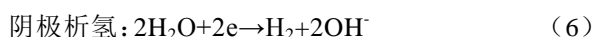
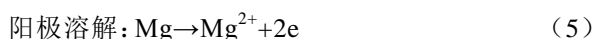
Fig.6 SEM images of AZ31 magnesium alloy after immersing in the solution with different concentrations of  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ : (a) blank, (b) 1.0 g/L, (c) cross-section of Fig.6a, and (d) cross-section of Fig.6b

泡过程中容器壁上和 AZ31 镁合金表面都附有大量的气泡, 表明发生了严重的析氢腐蚀; 图 6b 则为试样在添加了 1.0 g/L  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  溶液中浸泡以后的表面形貌。显而易见, AZ31 镁合金表面除了打磨划痕, 几乎没有腐蚀现象产生, 同时浸泡过程中溶液里没有气泡产生, 浸泡容器壁也没有气泡附着, 说明该缓蚀剂有效地保护了镁合金的表面。图 6c 为 AZ31 镁合金在空白溶液中浸泡以后未经酸洗的横截面形貌。基体表面覆盖了凹凸不平的腐蚀产物, 而相同条件下, 浸泡在含有  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的溶液中的试样横截面生成的膜层平整连续 (图 6d)。这说明在此溶液环境下, AZ31 镁合金表面形成了致密的保护膜, 从而减少  $\text{Cl}^-$  与镁合金基体的接触, 显著抑制了其腐蚀。

### 3 讨论

#### 3.1 AZ31 镁合金在 NaCl 溶液里的腐蚀行为

通常情况下, 镁合金在溶液中很容易发生腐蚀, 该过程属于阴极阳极构成的微电池腐蚀, 其发生的化学反应式为:

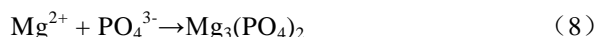


AZ31 镁合金主要含  $\alpha$ -Mg 相和分布在晶粒和晶界的金属间化合物第二相。在水溶液中, 这些少量惰性的、更耐蚀的金属间化合物相对于  $\alpha$ -Mg 基体相来说是阴极相。作为阳极的  $\alpha$ -Mg 反应产生的  $\text{Mg}^{2+}$  与阴极

反应过程中产生的  $\text{OH}^-$  相结合, 形成相对较厚的腐蚀产物膜  $\text{Mg(OH)}_2$ , 沉积在电极表面。但是分布在基体上的金属间化合物影响了膜层的连续性 (图 6c), 因此, 这层腐蚀产物膜虽然能在一定程度上抑制镁合金腐蚀, 但其保护作用非常有限。甚至这层疏松多孔的腐蚀产物膜反而会有助于半径小的  $\text{Cl}^-$  在竞争吸附中被优先吸附在镁合金表面缺陷处, 从而引起点蚀。

#### 3.2 $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 对 AZ31 腐蚀行为的影响

当腐蚀介质中加入  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  后,  $\text{PO}_4^{3-}$  与溶液中的  $\text{Cl}^-$  竞争吸附在镁合金表面, 降低了腐蚀性离子  $\text{Cl}^-$  对基体的腐蚀; 同时  $\text{PO}_4^{3-}$  与阳极溶解的  $\text{Mg}^{2+}$  发生反应 (8) 生成沉积物  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ :



$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  溶度积远小于  $\text{Mg(OH)}_2$  溶度积<sup>[19]</sup>, 因此  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  比  $\text{Mg(OH)}_2$  更易于沉积下来, 且沉积在 AZ31 镁合金表面的  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  相对于原始的  $\text{Mg(OH)}_2$  膜层要更致密完整。

结合上文中 AZ31 镁合金在 NaCl 溶液里的腐蚀行为的讨论, 可以看出, 反应式 (8) 的反应速率主要取决于溶液中  $\text{Mg}^{2+}$  的浓度, 而溶液中的  $\text{Mg}^{2+}$  主要来源于  $\alpha$ -Mg 相阳极区的  $\text{Mg}^{2+}$  溶解, 因此  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  基本沉淀在阳极区域附近, 使得阳极区原本疏松的  $\text{Mg(OH)}_2$  膜的缝隙得到很好的填充。因此, 这层复合的腐蚀产物膜比单一成分的  $\text{Mg(OH)}_2$  膜要致密, 腐蚀产物膜的电阻因此增大; 此外, 这层复合产物膜也增大了溶液中  $\text{Cl}^-$  的吸附阻力和传输阻力, 使电荷转移电阻增大 (这可从电化学阻抗的拟合结果得到证明), 随之腐蚀电流密度降低, 阳极区域得到保护, 提高了镁合金的耐蚀性能。

但  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的缓蚀效果并不是随着其含量增加而更显著。电化学测试和全浸泡静态失重实验结果均显示, 随着  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  质量浓度从 0 g/L 增大到 2.0 g/L, 缓蚀率在缓蚀剂浓度为 1.0 g/L 时出现极值, 继续提高添加量缓蚀率却降低, 说明形成的  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  薄膜过厚, 反而容易从表面脱落, 影响了缓蚀效果。

### 4 结论

1) 在 3.5% NaCl 溶液中添加含量为 1.0 g/L  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  时, AZ31 镁合金的腐蚀速率达到最低, 缓蚀率达到 81.5%, 继续增大  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  含量, 膜层会脱落, 缓蚀作用下降。

2)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的缓蚀机理为: 产生的腐蚀产物  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  与  $\text{Mg(OH)}_2$  形成致密紧凑的复合产物膜, 增大了膜电阻和电荷转移电阻, 有效减缓了 AZ31 镁合金在 NaCl 溶液中的腐蚀。

3)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  是一种阳极抑制型缓蚀剂。

### 参考文献 References

- [1] Wei Yinghui(卫英慧), Xu Bingshe(许并社). *Corrosion Protection Theory & Practice of Magnesium Alloy*(镁合金腐蚀防护的理论与实践)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007: 340
- [2] Hua Fuan(花福安), Wang Shanshan(王珊珊), Li Qiang(李强) et al. *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2012, 41(S2): 845
- [3] Li Yonggang(李永刚), Yang Lijing(杨丽景), Hou Lifeng(侯利锋) et al. *China Sciencepaper*(中国科技论文)[J], 2012, 7(2): 154
- [4] Dang Chunmei(党春梅), Xie Weidong(谢卫东). *Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2011, 40(4): 1
- [5] Zi Bingtao(訾炳涛), Wang Hui(王辉). *Chinese Journal of Rare Metals*(稀有金属)[J], 2004, 28(1): 229
- [6] Supplit Ralf, Koch Thomas, Schubert Ulrich. *Corrosion Science*[J], 2007, 49(7): 3015
- [7] Wang Fuhui(王福会), Du Keqin(杜克勤), Zhang Wei(张伟). *Materials China*(中国材料进展)[J], 2011, 30(2): 29
- [8] Song G L, StJohn David H. *JOM*[J], 2004, 56(11): 343
- [9] Cai Qizhou(蔡启舟), Wang Lishi(王立世), Wei Bokang(魏伯康). *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2003, 3: 33
- [10] Li Yuming(李玉明), Liu Jingmin(刘静敏), Ma Zhichao(马志超) et al. *Corrosion & Protection*(腐蚀与防护)[J], 2004, 25(6): 248
- [11] Tang Jun(唐俊), Xu Zhangfa(徐章法), Xu Boxing(徐伯兴) et al. *Industrial Water Treatment*(工业水处理)[J], 2004, 24(6): 1
- [12] Jiang Shan(江珊), Xiong Jinping(熊金平), Zuo Yu(左禹). *Materials Protection*(材料保护)[J], 2011, 44(7): 23
- [13] Wang Huilong(王慧龙), Zheng Jiamiao(郑家燊). *Corrosion Science and Technology Protection*(腐蚀科学与防护技术)[J], 2002, 14(5): 275
- [14] Liu Song(柳松), Zhong Yan(钟燕), Jiang Rongying(蒋荣英) et al. *Journal of South China University of Technology*(华南理工大学学报)[J], 2011, 39(1): 36
- [15] Cachet C, Ganne F, Maurin G et al. *Electrochimica Acta*[J], 2001, 47(3): 509
- [16] Cao Chunan(曹楚南), Zhang Jianqing(张鉴清). *Introduction to the Electrochemical Impedance Spectroscopy*(电化学阻抗谱导论)[M]. Beijing: Science Press, 2002: 175
- [17] Wu Mengshun(吴萌顺), Zheng Jiamiao(郑家燊). *Electrochemical Protection and Application of Corrosion Inhibitor Technology*(电化学保护和缓蚀剂应用技术)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 6
- [18] Cao Chunan(曹楚南). *Corrosion Electrochemical Principle*(腐蚀电化学原理)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 235
- [19] Huang Daobing(黄道兵), Guo Xingpeng(郭兴蓬) Song Guangling(宋光玲) et al. *Electrochimica Acta*(电化学)[J], 2011, 56: 10 166

## Inhibition Effect of Sodium Phosphate on the Corrosion of AZ31 Magnesium Alloy in 3.5 wt% NaCl Solution

Zhou Na, Hou Lifeng, Wei Yinghui, Guo Chunli, Du Huayun  
(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** The corrosion inhibition behaviors of sodium phosphate (SP) on AZ31 magnesium alloy in 3.5 wt% sodium chloride solution were investigated by electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization curve, static weight-loss test and scanning electron microscope (SEM). The results indicate that SP protects AZ31 magnesium alloy from corrosion in 3.5 wt% sodium chloride solution, and the inhibition efficiency increases with higher SP content. When the SP concentration is 1.0 g/L, the inhibition efficiency is up to 81.5%. Moreover, according to the results of SEM, it is found that the corrosion inhibition of AZ31 magnesium alloy by SP is attributed to the protective film containing  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  and  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  formed on the electrode surface. The compact film, which reduces the substrate contact with  $\text{Cl}^-$ , thus inhibits the anodic reaction of the magnesium alloy.

**Key words:** AZ31 magnesium alloy; corrosion inhibitor; sodium phosphate; EIS; polarization curves

Corresponding author: Hou Lifeng, Associate Professor, College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, P. R. China, Tel: 0086-351-86018685, E-mail: houlifeng78@126.com