

# Y元素对均匀态Mg-6Zn-0.25Ca镁合金耐蚀性能的影响

郭树国<sup>1</sup>, 刘全<sup>1</sup>, 贾征<sup>2</sup>, 寇荣辉<sup>2</sup>, 刘绪栋<sup>1</sup>

(1. 沈阳化工大学 机械与动力工程学院, 辽宁 沈阳 110142)

(2. 沈阳大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110044)

**摘要:** 研究了Y元素对均匀态Mg-6Zn-0.25Ca合金耐蚀性能的影响。通过XRD、OM、SEM、失重、析氢和极化曲线实验研究了均匀态Mg-6Zn-0.25Ca和Mg-6Zn-1Y-0.25Ca这2种合金的微观组织及耐蚀性能。研究表明, 均匀态Mg-6Zn-0.25Ca合金的第二相是Mg<sub>2</sub>Ca, 加入Y元素后平均晶粒尺寸稍有变大, Mg<sub>2</sub>Ca相减少, 还生成新的第二相Mg<sub>12</sub>ZnY、Mg<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>, 并且第二相体积分数增加且分布更加均匀, 这使得在腐蚀试验中镁基体上形成更加致密的腐蚀膜, 该腐蚀膜可以起到屏障作用, 新生成的Mg<sub>12</sub>ZnY、Mg<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>都分布在晶界附近或枝晶间, 显著降低了合金在腐蚀液中的电化学活性。这些使得Mg-6Zn-0.25Ca合金在3.5wt% NaCl的溶液中氢气析出量减少, 增加Y元素使Mg-6Zn-0.25Ca合金的自腐蚀电位提高, 并且减小自腐蚀电流密度, 即有效地增强了均匀态Mg-6Zn-0.25Ca合金的耐蚀性能。所以Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的耐蚀性能远高于Mg-6Zn-0.25Ca合金。

**关键词:** Mg-6Zn-0.25Ca合金; Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金; 均匀化; 耐蚀性能; Mg<sub>2</sub>Ca相

中图分类号: TG146.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2025)08-2136-06

## 1 引言

镁合金的比强度高、比刚度高、阻尼性能好, 在汽车制造、航空航天、通讯等方面具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。其中Mg-Zn系合金在析出强化方面有较好优势且成本低<sup>[2]</sup>, 同时Mg-Zn系合金有高强度、耐蚀性好等特点, 因此它的应用前景比较好。但是Mg-Zn系合金存在着机械性能差、易产生微孔及热裂等问题<sup>[3]</sup>。想要增强镁合金的耐腐蚀性主要有2种方法<sup>[4]</sup>: 第1种方法是增加新元素来改变合金组织性能以此来增强镁合金的耐腐蚀性能, 第2种方法是通过在镁合金表面添加保护膜, 防止镁和空气接触来增强镁合金的耐腐蚀性能, 但是第2种方法比较复杂, 一般情况下需要通过合金化来提高镁合金的耐腐蚀性能。

稀土元素Ca可以使得镁合金晶粒得到细化并使得合金组织更加均匀, 合金的拉伸性能也能得到相应的提高<sup>[5]</sup>, 正因为这些特点使其在镁合金的应用中受到广泛关注。龚晓毅等<sup>[6]</sup>研究了Ca对Mg-6Zn合金组织与力学性能的影响, 发现了钙元素的加入使合金的显微组织有了显著的细化, 拉伸强度、屈服强度、延伸率都有了很大的提高。丁雨田等<sup>[7]</sup>研究发现加入2.0wt% Zn和0.5wt%

Ca的合金具有最佳的耐腐蚀性能。李雷<sup>[8]</sup>研究发现加入Ca元素后, 镁合金的力学性能和耐腐蚀性能先增强后减弱, 其中Mg-2.1Zn-0.22Ca合金的耐腐蚀性能较好。

稀土Y的加入可明显减少镁合金的腐蚀速率<sup>[9]</sup>。解瑞军等<sup>[10]</sup>研究发现在AZ91D合金中加入Y元素可以明显降低合金腐蚀速率。刘松<sup>[11]</sup>研究发现, 加入稀土Y元素使得镁合金的晶粒得到细化, 增强其耐腐蚀性能。马宏等<sup>[12]</sup>研究发现在AJ61镁合金中加入稀土Y后, 晶粒变细, 耐腐蚀性能有了显著提高, Y含量在0~1.5wt%之间时, 随着Y含量的增加耐腐蚀性能增强。Xu等<sup>[13]</sup>研究发现添加Y元素的AZ61合金可以使晶粒得到细化, 并且形成熔点高的第二相来改变相的分布, 此外, 添加Y能有效地降低AZ61镁合金在NaCl溶液下的侵蚀电流, 显著改善其耐蚀性。袁俊文等<sup>[14]</sup>研究发现Y的添加可以细化合金晶粒尺寸, 还能够减小合金的自腐蚀电流密度, 当Y含量为1.5wt%时耐腐蚀性能最佳。

热处理能够显著提高镁合金的耐腐蚀性能<sup>[15]</sup>。Shahri等<sup>[16]</sup>研究对Mg-6Zn进行均匀化处理发现, 均匀化24 h后合金耐蚀性相较于铸态合金提高了60%以上。庞浩等人<sup>[17]</sup>通过对Mg-Gd-Y-Zr合金的固溶和时效处理, 发

收稿日期: 2024-08-10

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(52201131); 辽宁省科技厅自然科学基金(2022-MS-253)

作者简介: 郭树国, 男, 1978年生, 博士, 教授, 沈阳化工大学机械与动力工程学院, 辽宁 沈阳 110142, E-mail: guoshuguo@126.com

现其耐蚀性得到提高,固溶后的耐蚀性最好,且腐蚀程度更轻。因此,本工作通过失重、析氢以及电化学实验研究对比均匀态 Mg-6Zn-0.25Ca 和 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 2 种合金的显微组织及耐蚀性能。

2 实验

分别制备了 3 kg 的 Mg-6Zn-0.25Ca 合金和 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 2 种合金。其制备方法为:在预热的坩埚中投入纯镁(99.9%),然后将坩埚加热至 750 ℃,使纯镁全部熔化,冷却到 710 ℃,去渣,然后按顺序添加 Mg-25%Ca 合金、Zn 块、Mg-30%Y 合金,搅拌 2~3 min,放置 20 min 后,在混合气体的保护下,将其倒入钢模具内。在冷却到室温之后使锭料均匀化,将 SG-XL1200 设备加热到 400 ℃ 时放入铸锭,保温 400 ℃ 持续 12 h,随后取出立即水淬,获得实验铸锭。合金样品化学成分检测结果如表 1 所示。

利用线切割切出 10 mm 的正方体样品进行取样分析,取样位置全部在铸锭的中央位置,如图 1。采用德国布鲁克 D8 ADVANCE 型多晶 X 射线衍射仪进行物相分析:对试样进行打磨、抛光,然后使用苦味酸溶液(4.2 g 苦味酸、10 mL 蒸馏水、10 mL 乙酸和 70 mL 乙醇)对合金腐蚀直至合金表面出现明显晶界,然后采用 AE2000 MET 金相显微镜和 JSM-IT800 型扫描电子显微镜设备来观察相貌,同时用附带的能谱仪检测物相成分。

浸泡试验过程如下:将 10 mm×10 mm×10 mm 的试件所有表面打磨至无划痕,将抛光后的试件浸泡在 3.5wt% NaCl 的溶液中 24 h,用滴定管采集氢气,并且每 2 h 做一次记录。为了保证溶液的浓度稳定,在每隔 12 h 进行一次 NaCl 溶液更换,然后在配制的铬酸盐溶液中进行

行 10 min 的超声洗涤,烘干后测质量。然后通过公式(1)计算合金的失重速率  $L_w$ ,通过公式(2)计算析氢速率  $L_H$ 。

$$L_w = \frac{8.76 \times 10^4 \Delta g}{At\rho} \tag{1}$$

$$L_H = \frac{8.76 \times 10^4 \Delta V M}{At\rho} \tag{2}$$

式中,  $L_w$  为失重腐蚀速率( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ );  $\Delta g$  为合金腐蚀前后质量损失(g);  $\Delta V$  为腐蚀过程中氢气总析出量(mL);  $M$  为氢气产生速率与合金质量损失速率之间的关系,其值为  $0.001\,083\,(\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$ ;  $A$  为浸泡试样总表面积( $\text{cm}^2$ );  $t$  为浸泡时间(h);  $\rho$  为失重测量试样密度( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )。

3 结果与分析

3.1 显微组织

图 2 为 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 和 Mg-6Zn-0.25Ca 2 种合金的 XRD 图谱。由图 2 可知, Mg-6Zn-0.25Ca 合金由  $\alpha$ -Mg 和第二相  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  组成,这与闫雪<sup>[18]</sup>发现的在铸态合金中,除了  $\alpha$ -Mg 基体,还检测到了  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  和  $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$  2 种第二相的存在,均匀化处理后  $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$  相溶解在  $\alpha$ -Mg 基体中的研究结果相同。袁卫华等<sup>[19]</sup>研究了 Y 对 Mg-Zn 合金组织和力学性能的影响,发现了合金由  $\alpha$ -Mg 和第二相  $\text{Mg}_3\text{Zn}_6\text{Y}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$  组成,但随着 Y 含量的变化合金的第二相由  $\text{Mg}_3\text{Zn}_6\text{Y}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$  相过渡到  $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$  相和  $\text{Mg}_{12}\text{YZn}$  相。基于袁卫华老师的研究成果和本研究 XRD 实验,由图 2 可知均匀态 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 合金由  $\alpha$ -Mg、 $\text{Mg}_{12}\text{ZnY}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$  组成。均匀态 Mg-6Zn-0.25Ca 合金主要存在第二相为  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  相,加入 Y 元素后形成新的第二相  $\text{Mg}_{12}\text{ZnY}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$ , 并且合金第二相体积分数增加,但 Y 元素的加入使得  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  相减少。

图 3 为 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 和 Mg-6Zn-0.25Ca 2 种合金的显微组织及 SEM-EDS 分析图。Mg-6Zn-0.25Ca 合金的平均晶粒尺寸为  $135\,\mu\text{m}$ ,晶粒细小且均匀,合金中存在大量白色颗粒状  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  相,且第二相  $\text{Mg}_2\text{Ca}$  主要分

表 1 镁合金化学成分

Table 1 Chemical composition of magnesium alloys (wt%)

Alloy	Zn	Ca	Y	Mg
Mg-6Zn-0.25Ca	5.73	0.246	0	Bal.
Mg-6Zn-1Y-0.25Ca	5.50	0.322	1.01	Bal.

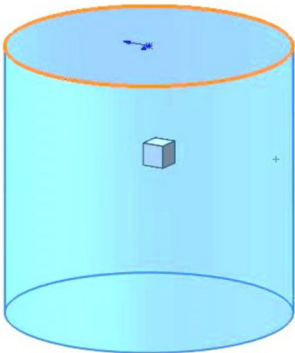


图 1 取样位置示意图  
Fig.1 Schematic diagram of the sampling location

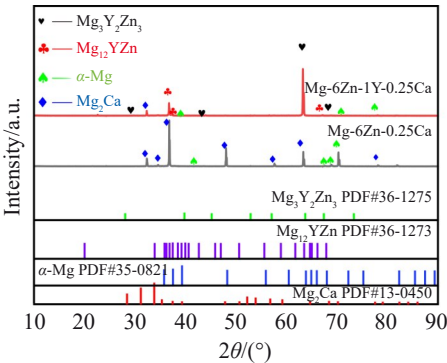


图 2 2 种合金的 XRD 图谱  
Fig.2 XRD patterns of two alloys

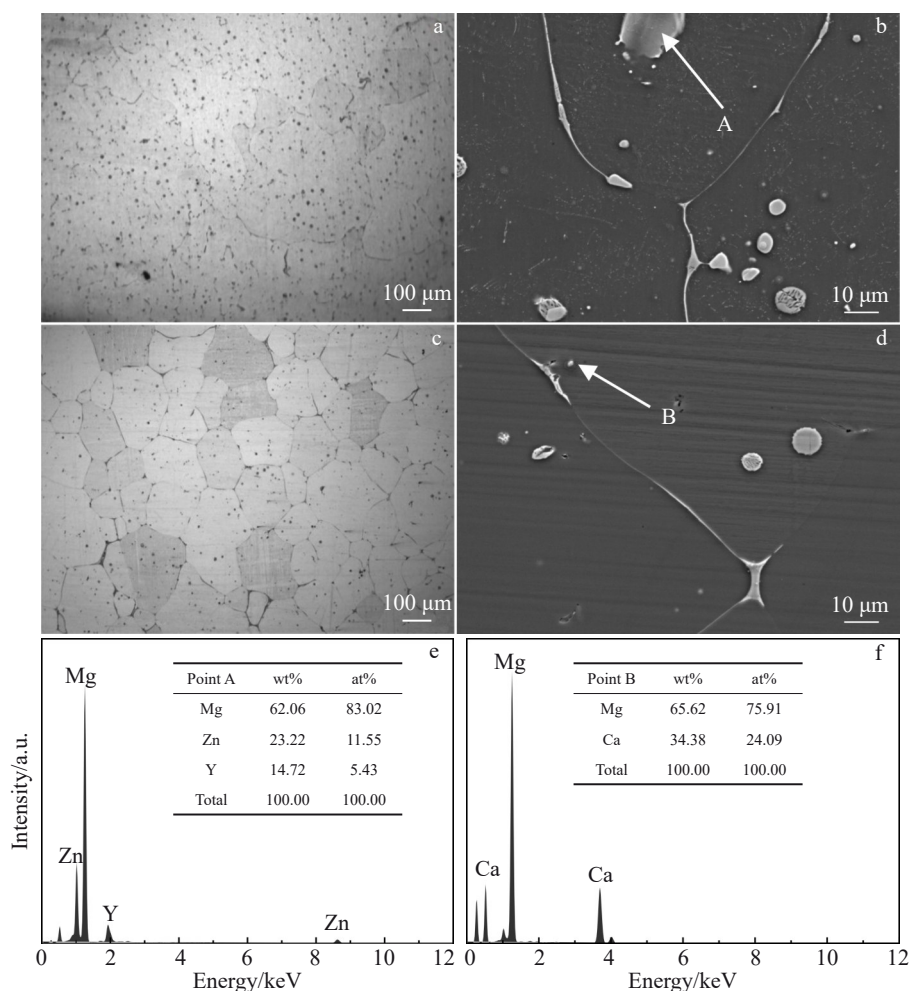


图3 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca和Mg-6Zn-0.25Ca合金的金相照片、SEM照片及能谱分析

Fig.3 OM images (a, c) and SEM images (b, d) of Mg-6Zn-1Y-0.25Ca (a-b) and Mg-6Zn-0.25Ca (c-d) alloys; EDS analysis (e-f) of marked points in Fig.3b and Fig.3d

布在晶粒上。添加1wt% Y元素后,晶粒尺寸稍有变大且不均匀,晶粒尺寸为166 μm,有 $Mg_{12}ZnY$ 、 $Mg_3Y_2Zn_3$ 相析出,分布在晶界附近或枝晶间,使得 $Mg_2Ca$ 相减少,并且Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的第二相的体积分数相比于Mg-6Zn-0.25Ca合金明显增加,如图3a、3c所示。此结果与Xie等人<sup>[20]</sup>研究发现的“在镁合金中加入超过0.7wt%的Y元素会使镁合金的晶粒尺寸变大”结论相符合。图3b、3d是Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金和Mg-6Zn-0.25Ca合金的扫描电镜图。图3e、3f是对A、B能谱分析结果图,加入1wt% Y元素后形成了立方结构和六边形结构的 $Mg_3Y_2Zn_3$ 相和 $Mg_{12}ZnY$ 相,如A点;B点是亮白色颗粒状 $Mg_2Ca$ 相。

### 3.2 耐腐蚀性能

图4是2种合金腐蚀产物XRD图谱,2种合金在3.5wt% NaCl水溶液中腐蚀的化学反应式都为<sup>[21]</sup>:



通过图4可以看出,2种合金的腐蚀产物都有 $Mg(OH)_2$ ,但是Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的腐蚀产物除了含有 $Mg(OH)_2$ 以外还含有少量的 $Mg_3Y_2Zn_3$ ,这是因为 $Mg_3Y_2Zn_3$ 相周围的 $\alpha$ -Mg相被腐蚀成 $Mg(OH)_2$ 导致 $Mg_3Y_2Zn_3$ 相脱落。在图4a中有 $Mg_3Y_2Zn_3$ 也能侧面地反映出第二相 $Mg_3Y_2Zn_3$ 相不容易被腐蚀,可以提高合金的耐腐蚀性能。

图5是在3.5wt% NaCl水溶液中浸泡24 h后2种合金的宏观相片及扫描电镜照片。从图5a、5b中可以看出,Mg-6Zn-0.25Ca合金的腐蚀更严重,在腐蚀产物脱落处可以看到腐蚀坑。与Mg-6Zn-0.25Ca合金相比,Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金表面受侵蚀程度更轻,且无明显的腐蚀坑。从图5c和5d可知,Mg-6Zn-0.25Ca合金腐蚀区域大于Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金腐蚀区域。结果显示,Mg-6Zn-0.25Ca合金受侵蚀程度较大,Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金受侵蚀程度相对较小,其原因通过图5e、5f对比可知:Mg-6Zn-0.25Ca合金在高倍镜下观察的腐蚀产物膜疏松多孔,形貌为花朵状,由于Y的加入,使合金生成了更密



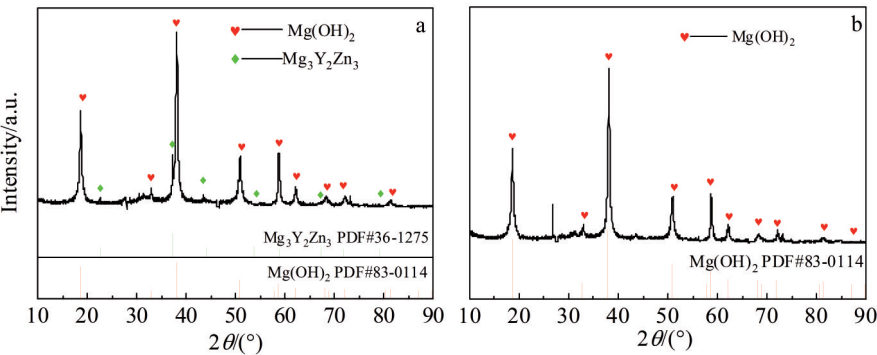


图4 2种合金腐蚀产物XRD图谱

Fig.4 XRD patterns of corrosion products of the two alloys: (a) Mg-6Zn-1Y-0.25Ca alloy and (b) Mg-6Zn-0.25Ca alloy

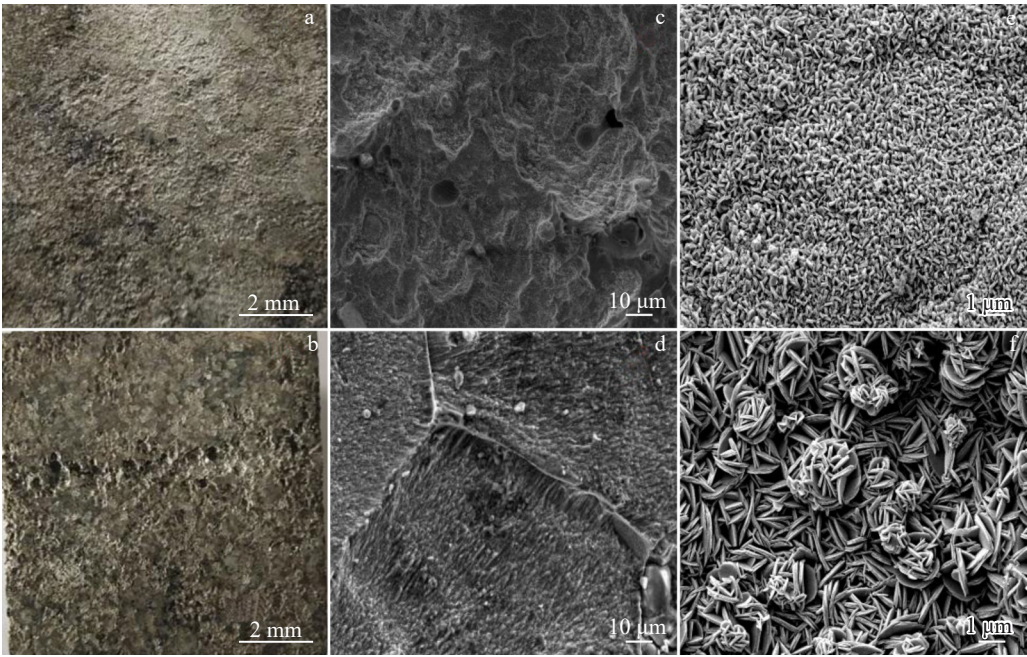


图5 Mg-6Zn-1Y-0.25Ca 和 Mg-6Zn-0.25Ca 合金的宏观照片和SEM照片

Fig.5 Surface appearance (a–b) and SEM images (c–f) of Mg-6Zn-1Y-0.25Ca (a, c, e) and Mg-6Zn-0.25Ca (b, d, f) alloys

实的腐蚀产物膜,对基体起到了很好的保护作用,在高倍镜下观察到Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的腐蚀产物膜是致密的,由短条交织在一起形成的。

图6是Mg-6Zn-1Y-0.25Ca和Mg-6Zn-0.25Ca 2种合金浸泡在3.5wt% NaCl水溶液24 h的氢气体积变化图。图6a(氢气析出量变化图)显示出Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金在0~16 h内的每个时间段氢气析出量呈明显增长趋势,在16~18 h内氢气析出量开始减缓,18 h后的每个时间段产生的氢气稳定。Mg-6Zn-0.25Ca合金在8 h前氢气析出量都呈增长趋势。8 h后每个时间段所产生的氢气量几乎一样。在0~6 h时间内Mg-6Zn-0.25Ca合金和Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金产生的氢气量相等是因为Mg本身形成Mg(OH)<sub>2</sub>钝化膜有效地保护了镁合金;但随着时间的推移,6 h后Mg-6Zn-0.25Ca合金产生的氢气量远高

于Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金,是由于NaCl水溶液中活性阴离子Cl<sup>-</sup>的扩散和吸附破坏了Mg(OH)<sub>2</sub>钝化膜<sup>[20]</sup>,使得镁合金的耐腐蚀性能减弱。

图7为2种合金的极化曲线图。贾征等<sup>[22]</sup>发现可以将极化曲线进行拟合,根据 $P_i=22.85J_{\text{corr}}^{[23]}$ 求出电化学腐蚀速率( $P_i$ ),见表2(合金电化学的自腐蚀电位 $E_{\text{corr}}$ 和自腐蚀电流 $J_{\text{corr}}$ )。增强合金的自腐蚀电位,降低自腐蚀电流密度可以改变合金的耐腐蚀性能<sup>[24]</sup>。添加1wt% Y元素后Mg-6Zn-0.25Ca合金的自腐蚀电位由原来的-1.727 V提升到-1.624 V,自腐蚀电流密度由原来的 $2.49\times10^{-5} \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 减小到 $2.31\times10^{-5} \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。所以Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的耐腐蚀性能优于Mg-6Zn-0.25Ca合金,即添加1wt%的Y元素可以增强Mg-6Zn-0.25Ca合金的耐腐蚀性能。

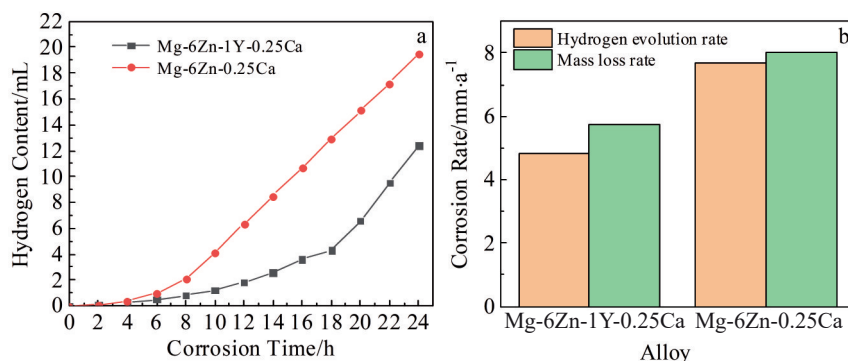


图6 合金析氢和失重腐蚀情况

Fig.6 Variation curves of hydrogen content with corrosion time (a) and corrosion rate (b) of two alloys

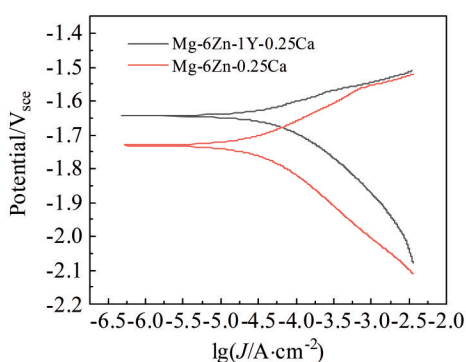


图7 2种合金极化曲线图

Fig.7 Polarization curves of two alloys

表2 合金电化学实验的自腐蚀电位和自腐蚀电流

Table 2 Self-corrosion potential and self-corrosion current of alloys in electrochemical experiment

Alloy	$E_{\text{corr}}/\text{V}$	$J_{\text{corr}}/\times 10^{-5} \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$	$P_i/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$
Mg-6Zn-0.25Ca	-1.727	2.49	0.569
Mg-6Zn-1Y-0.25Ca	-1.624	2.31	0.528

综上,失重及析氢实验表明,Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金腐蚀速率低于Mg-6Zn-0.25Ca合金,从极化曲线观察到在Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金中,自腐蚀电流密度降低,形成的钝化膜更加稳定,降低了腐蚀坑的形成。电化学实验表明,Mg-6Zn-1Y-0.25Ca合金的耐腐蚀性能优于Mg-6Zn-0.25Ca合金。失重和析氢实验以及电化学实验结果一致表明添加1wt% Y元素可以使得Mg-6Zn-0.25Ca合金的耐腐蚀性能得到增强。

## 4 讨论

镁合金的耐蚀性受组织均匀性和缺陷密度的影响<sup>[25]</sup>。Jiang等<sup>[26]</sup>研究表明,合金中的第二相对耐腐蚀性能起到重要作用。本研究中Mg-6Zn-0.25Ca合金具有宏观均匀性和微观不均匀性,当加入Y元素后晶粒尺寸有所增加,但是晶粒内生成新的第二相 $\text{Mg}_{12}\text{ZnY}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$ ,

使得第二相体积分数增加,并且分布更加均匀。这可以在镁基体上形成更加密集的腐蚀膜层,该腐蚀膜层可以阻碍腐蚀的进一步发生。加入Y元素后生成的 $\text{Mg}_{12}\text{ZnY}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$ 都分布在晶界附近或晶枝间,显著降低了合金在腐蚀液中的电化学活性,即加入Y元素后增强了Mg-6Zn-0.25Ca合金的耐腐蚀性能。

## 5 结论

1) Y元素的添加使得均匀态Mg-6Zn-0.25Ca合金生成新的第二相 $\text{Mg}_{12}\text{ZnY}$ 、 $\text{Mg}_3\text{Y}_2\text{Zn}_3$ ,并使得 $\text{Mg}_2\text{Ca}$ 相减少。

2) Y元素的添加有效地降低了均匀态Mg-6Zn-0.25Ca合金在3.5wt% NaCl水溶液24 h氢气的析出量,即增强了Mg-6Zn-0.25Ca合金的耐腐蚀性能。

3) 在Mg-6Zn-0.25Ca合金中加入Y元素能提高自腐蚀电位,同时降低自腐蚀电流密度,从而提高合金的耐蚀性能。

## 参考文献

## References

- [1] Zhang Yongzhong(张永忠), Zhang Kui(张奎), Fan Jianzhong(樊建中) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2002(S1): 296
- [2] Li Guojia(李国佳), Wang Chong(王冲), Guo Enyu(郭恩宇) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2022, 42(10): 1263
- [3] He S M, Peng L M, Zeng X Q et al. *Materials Science and Engineering A*[J], 2006, 433(1): 175
- [4] Sun Yangshan(孙扬善), Weng Kunzhong(翁坤忠), Yuan Guangyin(袁广银). *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 1999, 9(1): 55
- [5] Zhang Dahua(张大华), Chen Tijun(陈体军), Hao Yuan(郝远). *China Foundry Machinery & Technology*(中国铸造装备与技术)[J], 2009(5): 24
- [6] Gong Xiaoyi(龚晓毅), Qi Wenjun(戚文军), Huang Zhenghua(黄正华) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2014, 34(1): 96
- [7] Ding Yutian(丁雨田), Guo Bing(郭兵), Hu Yong(胡勇) et al. *Materials Reports*(材料导报)[J], 2012, 26(6): 1

- [8] Li Lei(李 雷). *Study on Mechanical and Corrosion Properties of Magnesium-Zinc Based Alloys for Biomaterial*(基于生物医用的镁锌基合金力学及耐腐蚀性能研究)[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2009
- [9] Chang Feng(常 峰), Yang Xiaoyu(杨晓禹), Mao Hongkui(毛红奎) *et al. Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2016, 37(5): 880
- [10] Xie Ruijun(解瑞军), Chen Furong(陈芙蓉), Li Shihui(李仕慧) *et al. Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2009, 30(2): 207
- [11] Liu Song(刘 松). *Effect of Rare Earth Y and Gd on the Microstructure and Corrosion Resistance of AM60B Magnesium Alloy*(稀土Y、Gd对AM60B镁合金组织及耐蚀性能影响)[D]. Wuhan: Jiangnan University, 2020
- [12] Ma Hong(马 宏), Peng Xiaodong(彭晓东), Xie Weidong(谢卫东). *Corrosion Science and Protection Technology*(腐蚀科学与防护技术)[J], 2011, 23(3): 223
- [13] Xu C X, Bai Z L, Wang Z Q *et al. Advanced Materials Research*[J], 2011, 284–286: 1529
- [14] Yuan Junwen(袁俊文), Lu Yalin(卢雅琳), Zhang Yang(张 扬) *et al. Transactions of Materials and Heat Treatment*(材料热处理学报)[J], 2023, 44(6): 54
- [15] Zhang Shuai(张 帅), Li Quan'an(李全安), Zhu Hongxi(朱宏喜) *et al. Materials Reports*(材料导报)[J], 2020, 34(20): 20070
- [16] Shahri S M G, Idris M H, Jafari H *et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2015, 25(5): 1490
- [17] Pang Hao(庞 浩), Li Quan'an(李全安), Chen Xiaoya(陈晓亚) *et al. Journal of the Chinese Society of Rare Earths*(中国稀土学报)[J], 2023, 41(2): 331
- [18] Yan Xue(闫 雪). *Effects of Homogenization and Hot Compression on Microstructure and Properties of Mg-Zn-Ca Alloy*(均匀化及热压缩对Mg-Zn-Ca合金组织及性能的影响)[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2022
- [19] Yuan Weihua(袁卫华), Zhang Xingjun(张兴军), Yang Shuqi(杨淑启) *et al. Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2008(8): 649
- [20] Xie Suyun, Peng Xiaodong, Li Junchen *et al. Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2014, 43(1): 52
- [21] Liu Wenfeng(刘文峰), Chai Yuesheng(柴跃生), Sun Gang(孙钢). *Foundry Equipment & Technology*(铸造设备研究)[J], 2008(6): 22
- [22] Jia Zheng(贾 征), Yu Bing(喻 兵), Fu Li(付 丽). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2023, 52(2): 568
- [23] Jia Zheng(贾 征), Wang Zhizhuo(王芷茁), Fu Li(付 丽) *et al. Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2023, 43(8): 1025
- [24] Xu Xinmei(徐昕媚). *Effect of Yttrium on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Mg-Sc Binary Alloys*(Y对Mg-Sc二元合金力学和腐蚀性能的影响)[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2019
- [25] Hu T, Xiao W L, Wang F *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2018, 735: 1494
- [26] Jiang P L, Blawert C, Scharnagl N *et al. Corrosion Science*[J], 2020, 174: 108863

## Effect of Y Element on Corrosion Resistance of Homogeneous Mg-6Zn-0.25Ca Magnesium Alloy

Guo Shuguo<sup>1</sup>, Liu Quan<sup>1</sup>, Jia Zheng<sup>2</sup>, Kou Ronghui<sup>2</sup>, Liu Xudong<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Power Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

(2. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

**Abstract:** The effect of Y on the corrosion resistance of homogenized Mg-6Zn-0.25Ca was studied. The microstructure and corrosion behavior of the homogenized Mg-6Zn-0.25Ca and Mg-6Zn-1Y-0.25Ca alloys were characterized by XRD, OM, SEM, mass loss, hydrogen evolution and polarization curve experiments. The results show that the secondary phase of homogeneous Mg-6Zn-0.25Ca alloy is Mg<sub>2</sub>Ca, and the average grain size increases slightly after the addition of Y element, while the Mg<sub>2</sub>Ca phase decreases. New secondary phases Mg<sub>12</sub>ZnY and Mg<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub> are also formed, and the volume fraction of them increases and the distribution is more uniform. This enables a denser and more compact corrosion film to form on the magnesium matrix during the corrosion test, which can act as a barrier. The Mg<sub>12</sub>ZnY and Mg<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub> are distributed near the grain boundary or between the dendrites, which significantly reduces the electrochemical activity of the alloy in corrosive solution. Thus, the hydrogen precipitation of Mg-6Zn-0.25Ca alloy is reduced in 3.5wt% NaCl solution. By increasing the Y element, the self-corrosion potential of Mg-6Zn-0.25Ca alloy is increased and self-corrosion current density is reduced, thereby improving the corrosion resistance of homogeneous Mg-6Zn-0.25Ca alloys. Therefore, the corrosion resistance of Mg-6Zn-1Y-0.25Ca alloy is much higher than that of Mg-6Zn-0.25Ca alloy.

**Key words:** Mg-6Zn-0.25Ca alloy; Mg-6Zn-1Y-0.25Ca alloy; homogenization; corrosion resistance; Mg<sub>2</sub>Ca phase