

席夫碱与硝酸铈复配物对 1060 纯铝的缓蚀作用

刘 翠, 于 锦, 孙 硕

(沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110870)

摘 要: 采用极化曲线、电化学阻抗谱、扫描电镜和能谱分析, 研究合成的 3-吡啶-4-氨基-1,2,4-三唑-5-硫酮席夫碱及其复配物硝酸铈在质量分数为 3.5%NaCl 溶液中对 1060 纯铝的缓蚀作用。结果表明: 在 293 K 时席夫碱可有效抑制纯铝在 3.5%NaCl 溶液中的腐蚀, 当席夫碱浓度为 0.4 g·L⁻¹ 时缓蚀率最高, 可达 76.0%。席夫碱为混合型缓蚀剂, 其在 1060 纯铝表面的吸附符合 Langmuir 吸附模型, 且同时存在物理吸附和化学吸附。0.2 g·L⁻¹ 席夫碱与 0.03 g·L⁻¹ 硝酸铈复配缓蚀率可达 88.8%, 二者具有协同缓蚀作用。

关键词: 缓蚀剂; 席夫碱; 硝酸铈; 1060 纯铝

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2019)09-2930-07

铝及其合金具有优良的理化特性和冶金特性, 广泛应用于航空、航天、船舶、汽车、电子等国家重大工程领域^[1]。在大气或水中铝基体会生成致密的氧化铝薄膜, 从而阻挡了腐蚀介质与铝基体的接触, 但是当铝材的应用环境中含有侵蚀性离子如 Cl⁻ 等时, 其耐蚀性则会明显降低并且发生腐蚀, 尤其是小孔腐蚀, 极易造成材料的快速失效, 具有很大的危害性^[2,3]。添加缓蚀剂是抑制金属腐蚀最简单有效的技术之一^[4,5]。随着安全环保意识的加强, 一些对人体和环境有毒有害的缓蚀剂如铬酸盐、有机磷酸盐等已经被限制和禁止使用。因此研究和开发出对人体环境不构成破坏作用的绿色友好型缓蚀剂, 是缓蚀剂未来的研究方向。

席夫碱分子中含有 O、N、S 电负性元素, 这些元素含有未共用电子对, 可以和金属进行配位结合且 -C=N- 官能团使分子中含有较多的活性吸附中心, 便于形成致密的吸附膜, 从而改变金属表面性质及阻挡腐蚀介质来抑制腐蚀^[6]。目前尚无该物质作为海水介质铝缓蚀剂的研究。本实验合成一种席夫碱并将其与硝酸铈复配, 研究分析席夫碱与硝酸铈复配物对 1060 纯铝在质量分数为 3.5%NaCl 溶液中的缓蚀作用与缓蚀机理。

1 实 验

电化学测试仪器为 CHI660 电化学工作站(上海华辰仪器公司)。采用三电极体系: 辅助电极为铂电极, 参比电极为饱和甘汞电极, 工作电极为 1060 纯铝电极^[7]。极化曲线由阴极向阳极进行扫描, 扫描速度为

0.005 V/s, 扫描区间为 -2 ~ 0 V。在开路电位下进行交流阻抗测量, 由高频向低频扫描, 频率范围为 10⁵ ~ 0.1 Hz, 交流信号幅值为 0.005 V。将镁合金电极分别浸入无缓蚀剂、含不同浓度的席夫碱、硝酸铈及席夫碱与硝酸铈复配物的质量分数为 3.5%NaCl 溶液中(分别以 A、B、C、D、E 代表 0.06 g·L⁻¹ 硝酸铈、0.1 g·L⁻¹ 席夫碱+0.045 g·L⁻¹ 硝酸铈、0.2 g·L⁻¹ 席夫碱+0.03 g·L⁻¹ 硝酸铈、0.3 g·L⁻¹ 席夫碱+0.015 g·L⁻¹ 硝酸铈、0.4 g·L⁻¹ 席夫碱), 体系稳定以后开始进行电化学测试。使用 ProX 飞纳台式扫描电镜(荷兰飞纳公司)观察样品形貌。

动电位极化曲线的缓蚀效率(η)计算公式如式(1)所示^[8]。

$$\eta = \frac{i_{\text{corr}}^0 - i_{\text{corr}}}{i_{\text{corr}}^0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, i_{corr}^0 和 i_{corr} 分别为加入缓蚀剂前后的自腐蚀电流密度。

参照文献[9]的方法制备得到白色席夫碱产品 3-吡啶-4-氨基-1,2,4-三唑-5-硫酮, 化学结构式如图 1 所示。

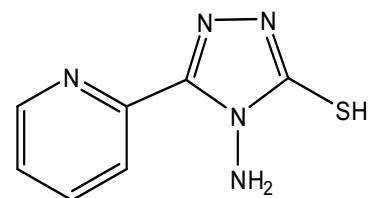


图 1 席夫碱的化学结构

Fig.1 Chemical molecular structure of schiff base

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 国家材料环境腐蚀平台资助(2005DKA10400-15-Z04)

作者简介: 刘 翠, 女, 1993 年生, 硕士, 沈阳工业大学理学院, 辽宁 沈阳 100870, E-mail: 1933784517@qq.com

2 结果与讨论

2.1 动电位极化曲线

图 2~图 4 为 1060 纯铝在空白溶液和含不同浓度席夫碱、硝酸铈及席夫碱与硝酸铈复配物的 3.5%NaCl 溶液中的极化曲线。根据 Tafel 外推法分别拟合极化曲线所得数据见表 1~表 3。

由图 2 和表 1 可知：相对空白溶液，加入席夫碱后自腐蚀电流密度减小，极化电阻增大，当席夫碱浓度为 0.4 g·L⁻¹ 时，缓蚀率达到最大值为 76.0%，但随着席夫碱浓度的增加，自腐蚀电位先负移再正移，且缓蚀率下降。表明席夫碱吸附在铝表面上，形成有机分子膜层，起到保护铝基体的作用。但随着席夫碱浓度加大后，其分子之间的相互作用增强，脱附作用大于其吸附作用，从而影响了保护膜。此外，由图 2 中也可以看出极化曲线的阴、阳极斜率均受到影响，但阳极阻滞作用显著，表明席夫碱在 3.5%NaCl 介质中对 1060 纯铝为阳极抑制作用为主的混合型缓蚀剂。

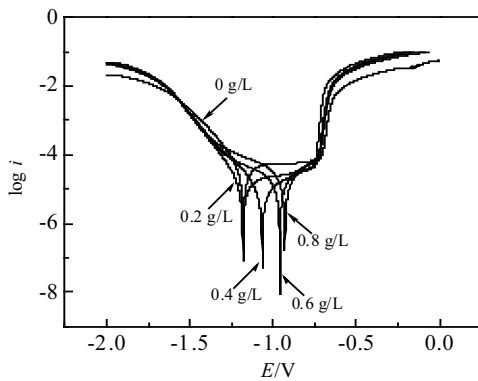


图 2 纯铝在含不同浓度席夫碱的 3.5%NaCl 溶液中的极化曲线

Fig.2 Polarization curves for pure aluminum in 3.5%NaCl solution with various concentrations of schiff base

表 1 纯铝在含不同浓度席夫碱的 3.5%氯化钠溶液中的极化曲线拟合数据

Table 1 Fitting data of polarization curves of pure aluminum in 3.5%NaCl solution with various concentrations of schiff base

Concentration/ g·L ⁻¹	E_{corr}/V	$i_{corr}/\times 10^{-5}$ A·cm ⁻²	R/Ω	$\eta/\%$
0	-1.1800	3.542	1216	—
0.2	-1.1824	1.344	3104	62.05
0.4	-1.0656	0.852	4885	75.95
0.6	-0.9608	1.602	3088	54.77
0.8	-0.9283	2.072	2391	41.50

由图 3 和表 2 可以得出，在空白溶液中，纯铝的自腐蚀电位最负。随着硝酸铈浓度的增加，自腐蚀电流密度先减小再增大，阳极极化曲线的塔菲尔斜率增大，当硝酸铈浓度增大到 0.06 g·L⁻¹ 时，缓蚀率达到 55.6%，表明铝离子要克服更大的能垒才能从铝表面转入到 NaCl 介质中去，因而减缓腐蚀，但当硝酸铈浓度继续增大时，金属表面部分氧化膜发生溶解，未被覆盖到的地方发生腐蚀，硝酸铈在 3.5%NaCl 介质中对纯铝表现为阳极型缓蚀剂。

由图 4 和表 3 可知，席夫碱与硝酸铈复配后的缓蚀效果更好，0.2 g·L⁻¹ 席夫碱与 0.03 g·L⁻¹ 硝酸铈复配缓蚀效率可达 88.8%，且这种缓蚀效果的提高是两种缓蚀剂相互促进的结果，表明席夫碱与硝酸铈具有协同缓蚀作用，吸附物的相互作用，提高了表面覆盖度以及吸附层的稳定性。

2.2 电化学阻抗谱

图 5~图 7 为 1060 纯铝在空白溶液和含不同浓度席夫碱、硝酸铈及席夫碱与硝酸铈复配物的 3.5%NaCl 溶液中的 Nyquist 曲线。

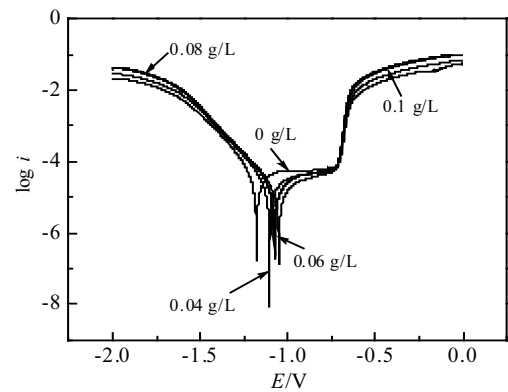


图 3 纯铝在含不同浓度硝酸铈的 3.5%NaCl 溶液中的极化曲线

Fig.3 Polarization curves for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with various concentrations of Ce(NO₃)₃

表 2 纯铝在含不同浓度硝酸铈的 3.5%氯化钠溶液中的极化曲线拟合数据

Table 2 Fitting data of polarization curves of pure aluminum in 3.5%NaCl solution with various concentrations of Ce(NO₃)₃

Concentration/ g·L ⁻¹	E_{corr}/V	$i_{corr}/\times 10^{-5}$ A·cm ⁻²	R/Ω	$\eta/\%$
0	-1.1800	3.542	1216	—
0.04	-1.1029	2.169	1974	38.76
0.06	-1.0517	1.573	2780	55.59
0.08	-1.0773	1.982	2139	44.04
0.1	-1.0749	2.063	2122	41.76

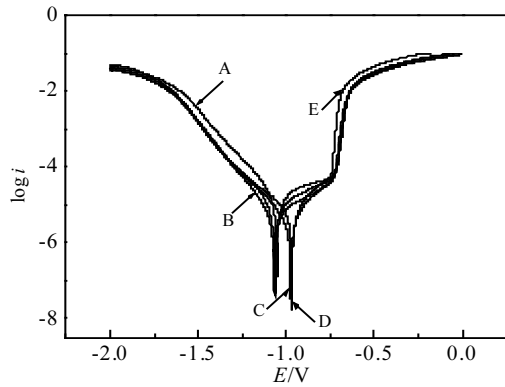


图 4 纯铝在含不同浓度席夫碱与硝酸铈复配物的 3.5%NaCl 溶液中的极化曲线

Fig.4 Polarization curves for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with various concentrations of schiff base and $Ce(NO_3)_3$ complex

表 3 纯铝在含不同浓度席夫碱与硝酸铈复配物的 3.5%氯化钠 溶液中的极化曲线拟合数据

Table 3 Fitting data of polarization curves of pure aluminum in 3.5%NaCl solution with various concentrations of schiff base and $Ce(NO_3)_3$ complex

Concentration/ $g \cdot L^{-1}$	E_{corr}/V	$i_{corr}/$ $\times 10^{-5} A \cdot cm^{-2}$	R/Ω	$\eta/\%$
0	-1.1800	3.542	1216	—
A	-1.0517	1.573	2780	55.59
B	-1.0659	0.569	7150	83.92
C	-0.9749	0.417	8889	88.82
D	-0.9672	0.753	5704	78.74
E	-1.0656	0.852	4885	75.95

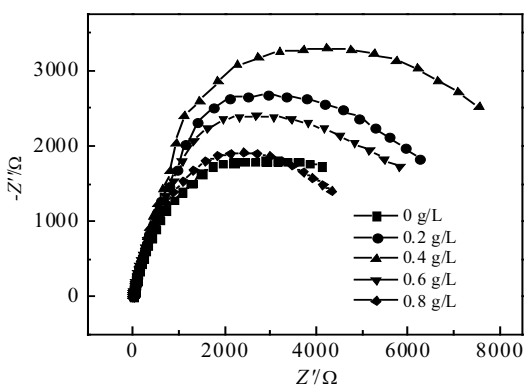


图 5 纯铝在含不同浓度席夫碱的 3.5%NaCl 溶液中的 Nyquist 曲线

Fig.5 Nyquist curves for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with various concentrations of schiff base

从图中可以看出曲线是由容抗弧组成；阻抗谱中容抗弧代表电荷传递电阻和双电层电容组成的阻容弛豫过程，反映腐蚀进行的阻力大小，容抗弧越大，说明腐蚀阻力越大，铝表面分子覆盖率越大，缓蚀效果越好^[10]。图 5 显示席夫碱浓度达 $0.4 g \cdot L^{-1}$ 时容抗弧最大，继续增加浓度，容抗弧减小，但没有改变其他电化学特性。是由于浓度过大时，席夫碱分子之间的相互作用力过大，从而损坏了吸附膜层的稳定性，缓蚀效果减弱。从图 6 可以看出随着硝酸铈浓度的增加，容抗弧增大，说明铝发生腐蚀受到的阻力增大，缓蚀效果增强。硝酸铈浓度达 $0.06 g \cdot L^{-1}$ 时，容抗弧最大，原因是 Ce^{3+} 是在铝基体形成沉淀膜，阻碍铝合金腐蚀的发生。但浓度继续增加时，容抗弧减小是因为 Ce^{3+} 的转移受到阻碍，膜层电阻减小，缓蚀率减小。

从图 7 可知，席夫碱与硝酸铈复配后的容抗弧比单一缓蚀剂的容抗弧大，表明纯铝表面形成的膜层更

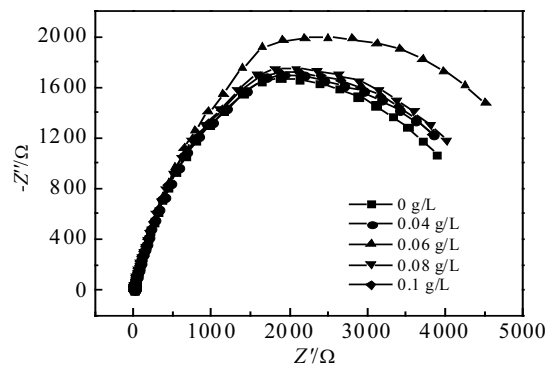


图 6 纯铝在含不同浓度硝酸铈的 3.5%NaCl 溶液中的 Nyquist 曲线

Fig.6 Nyquist curves for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with various concentrations of $Ce(NO_3)_3$

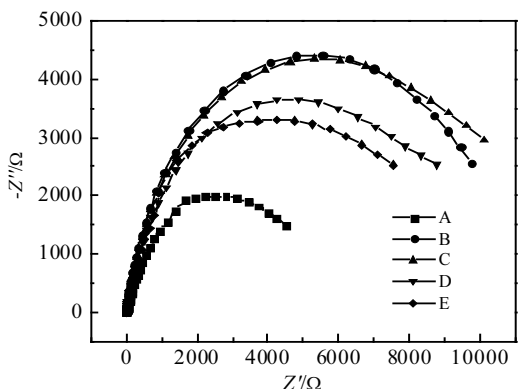


图 7 纯铝在含不同浓度席夫碱与硝酸铈复配物的 3.5%NaCl 溶液中的 Nyquist 曲线

Fig.7 Nyquist curves for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with various concentrations of schiff base and $Ce(NO_3)_3$ complex

加稳定，腐蚀发生的电荷转移电阻更高，缓蚀效果更好，与之前极化曲线得出的结果一致，席夫碱与硝酸铈具有协同缓蚀作用。

2.3 扫描电镜腐蚀形貌分析

图 8 为 1060 纯铝含有不同缓蚀剂的 3.5%NaCl 溶液中极化后的表面形貌。从图 8a 中可以看出，在空白溶液中的铝表面凹凸不平，有大量的点蚀坑纵横交错，呈疏松状结构，说明铝发生了全面腐蚀和点蚀，腐蚀十分严重。由图 8b 可知，添加了 0.4 g·L⁻¹ 席夫碱后，铝试样表面的腐蚀坑变少，腐蚀程度相对较轻；从图 8c 可以看出，添加 0.06 g·L⁻¹ 硝酸铈后，铝试样表面腐蚀坑减少，但仍有几处较大的腐蚀坑；由图 8b 和图 8c 说明席夫碱和硝酸铈均能抑制铝基体的腐蚀，具有一定的缓蚀作用。由图 8d 可知，添加了 0.2 g·L⁻¹ 席夫碱+0.03 g·L⁻¹ 硝酸铈后，腐蚀坑数量明显减少，没有出现较大的腐蚀坑，且蚀孔处有类似钝化膜层的小块覆盖，没有完全敞口，腐蚀状况大大改善，缓蚀效果最好。

2.4 X 射线能谱

图 9~图 12 为 1060 纯铝在空白溶液和含 0.4 g·L⁻¹ 席夫碱、0.06 g·L⁻¹ 硝酸铈及 0.2 g·L⁻¹ 席夫碱+0.03 g·L⁻¹ 的 3.5%NaCl 溶液中极化后的 EDS 分析。能谱显示图 9 中的铝表面蚀坑内 (a 处)、外 (b 处) 均只含有 Al 元素，这是由于 Cl⁻ 容易吸附在铝表面的氧化膜上，将氧化膜中的氧离子取代出来，破坏了致密的氧化铝薄膜，使铝表面发生了点蚀。而图 10 中的蚀孔内 (a 处) 除了含有 Al 元素外还含有 1.01% 的 N 元素和 0.27% 的 C 元素，在蚀孔外 (b 处) 存在 Al 元素外还含有 1.97% 的 C 元素和 0.59% 的 N 元素。说明席夫碱分子中的-NH₂ 与水中的 H⁺ 结合，生成带有正电荷的(RNH₃)⁺，因为铝在腐蚀的过程中表面带有负电荷，促进了(RNH₃)⁺ 在铝基体表面的吸附且极性的-NH₂ 基团容易在纯铝的表面发生化学吸附。此外席夫碱中的-C=N-官能团使分子中含有较多的活性吸附中心^[11]，铝表面形成了吸附膜，阻挡了氯离子的侵入，起到缓蚀作用。

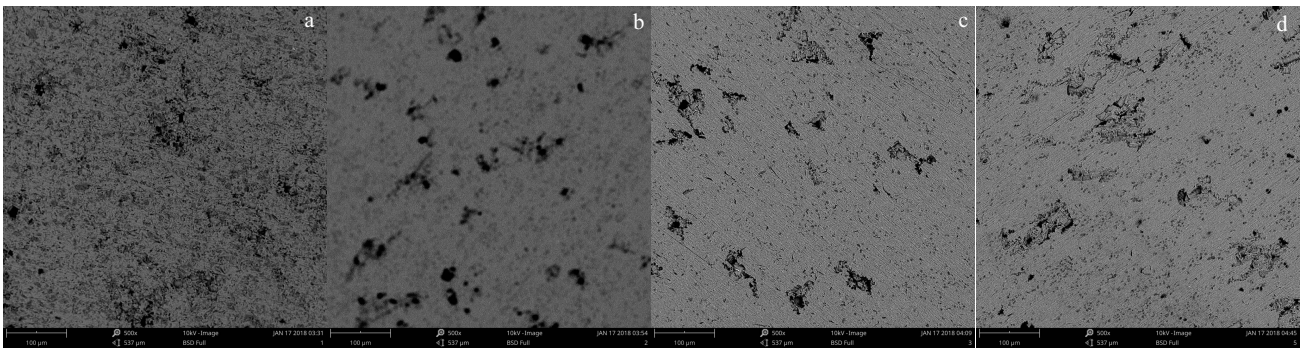
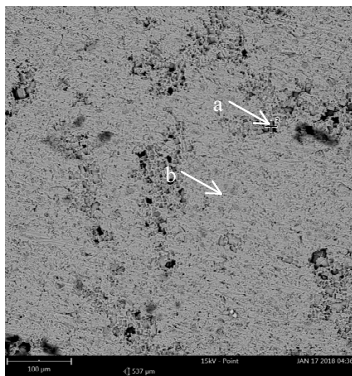


图 8 纯铝在含不同缓蚀剂的 3.5%NaCl 溶液中极化后的 SEM 照片

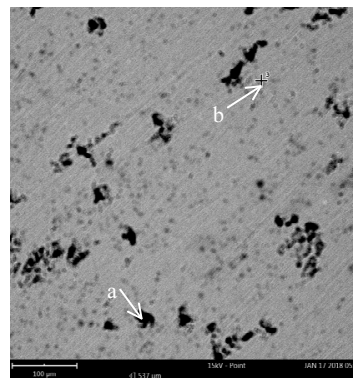
Fig.8 SEM images of pure aluminum after polarized in 3.5% NaCl solution with different corrosion inhibitors: (a) blank, (b) 0.4 g·L⁻¹ schiff base, (c) 0.06 g·L⁻¹ Ce(NO₃)₃, and (d) 0.2 g·L⁻¹ schiff base+0.03 g·L⁻¹ Ce(NO₃)₃



Site	Element	ω/%
a	Al	100
b	Al	100

图 9 纯铝在 3.5%NaCl 溶液中极化后的 EDS 分析

Fig.9 EDS analysis of pure aluminum after polarized in 3.5% NaCl solution



Site	Element	ω/%
a	Al	98.72
	C	0.27
	N	1.01
b	Al	97.44
	C	1.97
	N	0.59

图 10 纯铝在含 0.4 g·L⁻¹ 席夫碱的 3.5%NaCl 溶液极化后的 EDS 分析

Fig.10 EDS analysis of pure aluminum after polarized in 3.5% NaCl solution with 0.4 g·L⁻¹ schiff base

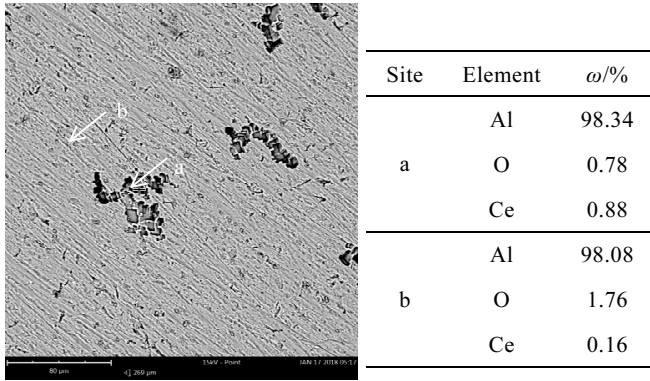


图 11 纯铝在添加了 0.06 g·L⁻¹ 硝酸铈的 3.5%NaCl 溶液中极化后的 EDS 分析

Fig.11 EDS analysis of pure aluminum after polarized in 3.5% NaCl solution with 0.06 g·L⁻¹ Ce(NO₃)₃

图 11 中在蚀孔内 (a 处) 除了含有 Al 元素外还含有 0.78% 的 O 元素和 0.88% 的 Ce 元素, 在蚀孔外 (b 处) 存在 Al 元素外还含有 1.76% 的 O 元素和 0.16% 的 Ce 元素, 说明可能铝表面产生了 Ce₂O₃ 膜层, 起到保护铝基体的作用, 减缓铝的腐蚀^[12]。Ce³⁺ 的加入使 Cl⁻ 向蚀点内的迁移速率低于 Al³⁺ 的水解速率, 抑制了铝表面亚稳态蚀点的发展。蚀孔内 Ce 元素较多, 说明硝酸铈主要抑制铝的点蚀。

图 12 中蚀坑内 (a 处) Ce 元素相对多一些, 说明硝酸铈主要对铝的点蚀有抑制作用, 两种缓蚀剂相互作用提高了吸附膜的稳定性起到协同缓蚀作用。铝合金表面成分 (b 处) 增加了 C、N、O、Ce、S 元素, 且 C、N、O 元素分布在整个观察的铝表面, 说明席夫碱在铝表面形成了一层较均匀的膜层, 有效抑制了铝的腐蚀。

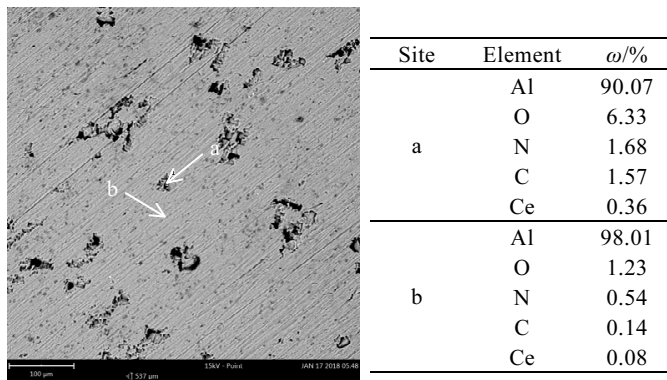


图 12 纯铝在添加了 0.2 g·L⁻¹ 席夫碱+0.03 g·L⁻¹ 硝酸铈的 3.5%NaCl 溶液中极化后的 EDS 分析

Fig.12 EDS analysis of pure aluminum after polarized in 3.5% NaCl solution with 0.2 g·L⁻¹ schiff base+0.03 g·L⁻¹ Ce(NO₃)₃

2.5 吸附模型

缓蚀剂与纯铝表面作用机理可以通过吸附等温线来研究。假设缓蚀剂在纯铝表面的吸附符合 Langmuir 吸附模型^[13], 则符合式(2):

$$\frac{c}{\theta} = \frac{1}{K} + c \tag{2}$$

式中, c 为缓蚀剂浓度(g·L⁻¹); K 为吸附平衡常数; θ 为试样表面覆盖度, 覆盖度 θ 与缓蚀率 η 值相等。

图 13 为 1060 纯铝在 293.15 K 时添加席夫碱的 3.5%NaCl 溶液的 Langmuir 吸附模型。由图 13 可以看出 c/θ 与 c 的线性相关系数 R 值近似 1, 说明拟合度很好, 且席夫碱在纯铝表面的吸附行为属于 Langmuir 吸附, 其斜率与理论值 1 有些许偏差是因为席夫碱在铝表面的吸附受到席夫碱分子间相互作用力的影响。Langmuir 吸附模型中, 反应的吉布斯自由能 ΔG^0 可由式(3)计算得出^[14]:

$$\Delta G^0 = -RT \ln(55.5K) \tag{3}$$

式中, ΔG^0 为吉布斯吸附自由能(kJ·mol⁻¹); T 为绝对温度(K); R 为标准气体热力学常数($R=8.314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$); 55.5 为水的摩尔浓度(mol·L⁻¹)。

将拟合结果代入式(2)算得吸附平衡常数 K 等于 1065.17 L·mol⁻¹, 再由式 (3) 可以算得吉布斯吸附自由能 ΔG^0 为 -26.78 kJ·mol⁻¹。 ΔG^0 绝对值介于 20 与 40 kJ·mol⁻¹ 之间, 说明席夫碱在铝上的吸附属于混合型吸附, 即吸附机理包括物理吸附和化学吸附^[15], 而 ΔG^0 的为负值, 说明席夫碱吸附在金属铝试样表面的吸附过程属于自发行为。分析原因是席夫碱分子中含有 O、N、S 电负性元素, 这些元素及 π 电子提供孤对电子, 可以和铝基体进行配位结合形成吸附膜且 -C=N- 官能团使分子中含有较多的活性吸附中心, 便于形成致密的吸附膜, 从而改变金属表面性质及阻隔腐蚀介质来减缓腐蚀。此外席夫碱分子的近平面结构也有助于吸附行为的发生。

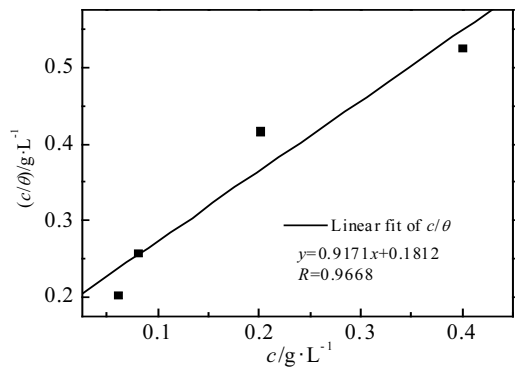


图 13 纯铝在 293.15 K 时添加席夫碱的 3.5%NaCl 溶液的 Langmuir 吸附模型

Fig.13 Langmuir adsorption isotherm of schiff base on the pure aluminum in 3.5% NaCl solution at 293.15 K

2.6 腐蚀反应的动力学参数

研究 20, 25, 30, 35, 40 °C 下 1060 纯铝分别在含有不同缓蚀剂的腐蚀溶液中的缓蚀性能, 并且根据 Arrhenius 方程得到纯铝腐蚀过程的活化能。Arrhenius 方程如式(4)所示^[16]。

$$\ln i_{\text{corr}} = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

式中, i_{corr} 为动电位极化曲线测试所得的腐蚀电流(A); A 为 Arrhenius 指前因子; E_a 为腐蚀过程的表现活化能 ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$); R 为标准气体热力学常数 ($R=8.314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$); T 为绝对温度(K)。

图 14 为以缓蚀剂的 $\ln i_{\text{corr}}$ 对 $1/T$ 做图得到的 Arrhenius 曲线。通过线性回归拟合, 得到所拟合直线的斜率 $-E_a/R$ 和截距 $\ln A$, 分别计算得到添加不同缓蚀剂时铝腐蚀反应的活化能 E_a 和反应指前因子 A , 计算结果如表 4 所示。由图 14 可知, 随着温度的升高, 纯铝在含有各缓蚀剂 3.5%NaCl 溶液中的自腐蚀电流密度增加, 腐蚀程度加深。从表 4 可以看出, 添加缓蚀剂后, 纯铝腐蚀活化能值高于空白溶液纯铝腐蚀活化能值, 说明加入缓蚀剂后铝表面氧化反应的表现活化能更高, 因此腐蚀过程在铝金属表面受到阻碍。此外添加缓蚀剂后指数

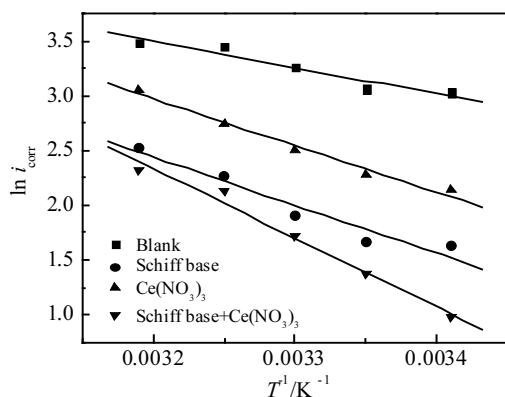


图 14 纯铝在含不同缓蚀剂的 3.5%NaCl 溶液中的 Arrhenius 曲线

Fig.14 Arrhenius plots for pure aluminum in 3.5% NaCl solution with different corrosion inhibitors

表 4 纯铝在添加不同缓蚀剂的 3.5%NaCl 溶液中的动力学参数

Table 4 Kinetic parameters of pure aluminum in 3.5% NaCl solution with different corrosion inhibitors

Corrosion inhibitors	A	$E_a/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Blank	7.5039×10^4	20.07
$0.4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ Schiff base	1.2744×10^7	36.17
$0.06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	1.4226×10^7	35.07
$0.4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ Schiff base+ $0.06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	5.6992×10^9	52.29

因子 A 也增加, 说明缓蚀剂形成的保护膜覆盖了铝表面的活性位点, 使得腐蚀反应需要克服更高的能垒才能进行, 减缓了铝的腐蚀。

3 结论

1) 席夫碱能有效抑制纯铝在 3.5%NaCl 溶液中的腐蚀, 席夫碱浓度为 $0.4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时缓蚀率为 76.0%。继续增大席夫碱浓度, 缓蚀率降低。席夫碱为混合型缓蚀剂, 其在纯铝表面的吸附符合 Langmuir 吸附模型, 且同时存在物理吸附和化学吸附。席夫碱分子中的 O、N、S 等电负性元素及 π 电子提供孤对电子与铝基体配位结合, 形成了致密的吸附膜。

2) 硝酸铈在 3.5%NaCl 溶液中的腐蚀也有一定的缓蚀作用, 浓度为 $0.06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时缓蚀效率为 55.6%。硝酸铈可能通过在铝表面产生了 Ce_2O_3 膜层, 起到保护铝基体的作用。

3) 席夫碱与硝酸铈具有协同缓蚀作用, 复配后的缓蚀率提高到 88.8%, 两种缓蚀剂相互促进的结果, 提高了表面覆盖度以及吸附层的稳定性。

参考文献 References

- [1] Raghavendra N, Ishwara Bhat J. *Res Chem Intermed*[J], 2016, 42: 6351
- [2] Fouda A S, Mohamed F S, Eisherbeni M W. *Bio Tribol Corros*[J], 2016(11): 1
- [3] Yang Biaobiao (杨标标), Sun Qingqing (孙擎擎), Sun Ruiji (孙睿吉) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2015, 25(11): 2990
- [4] Xiao Tao(肖涛), Dang Ning(党宁), Hou Lifeng(侯利锋) *et al. Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2016, 45(6): 1600
- [5] Zhao Yuhong(赵玉红), Du Min(杜敏), Zhang Jing(张静). *Corrosion Science and Protection Technology*(腐蚀科学与防护技术)[J], 2016, 28(4): 361
- [6] Zhu Lin(朱麟), Yang Wenzhong(杨文忠). *Corrosion & Protection*(腐蚀与防护)[J], 2012, 33(1): 6
- [7] Rosliza R, Noraaini A, Wannik W B. *J Appl Electrochem*[J], 2010, 40: 833
- [8] Zhou Na(周娜), Hou Lifeng(侯利锋), Wei Yinghui(卫英慧) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2015, 44(9): 2260
- [9] Zhu Lin(诸林), Liu Hong(刘红), Wang Zhihong(王治红) *et al. China Patent*(中国专利), 103232440[P], 2013
- [10] Mohamad A B, Abdul Amir H K, Ahmed A A. *Met Mater Int*[J], 2014, 20(3): 459

- [11] Musa A Y, Khadom A A, Kadhun A A H *et al. Res Chem Intermed*[J], 2012(38): 91
- [12] Ruan Hongmei (阮红梅), Dong Zehua (董泽华), Shi Wei (石维) *et al. Acta Phys-Chim Sin*(物理化学学报)[J], 2012, 28(9): 2097
- [13] Mustafa A, Sevgi N, Omur C *et al. Res Chem Intermed*[J], 2015(41): 899
- [14] Fouda A S, Abdallah Y M. *Arab J Sci Eng*[J], 2014(39): 5363
- [15] Ahmed Y M, Mohamad A B, Kadhun A A H *et al. JMEPEG*[J], 2011(20): 394
- [16] Reena Kumar P D, Nayak J, Shetty A N. *J Coat Technol Res*[J], 2011(6): 685

Inhibition Effect of Schiff Base and Ce(NO₃)₃ Complex on the Corrosion of 1060 Pure Aluminum

Liu Cui, Yu Jin, Sun Shuo

(Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: A kind of triazole schiff base was synthesized: 3-pyridine-4-amino-1,2,4-triazole-5-thione. The inhibition effects of schiff base and Ce(NO₃)₃ complex on corrosion of 1060 pure aluminum in 3.5% NaCl have been studied by potentiodynamic polarization, electrochemical impedance spectroscopy and scanning electron microscopy with energy dispersive spectrometer. The results show that schiff base can effectively inhibit the corrosion of pure aluminum in NaCl solution at 293 K. When concentration of schiff base is 0.4 g·L⁻¹, the inhibition efficiency is up to the highest, 76.0%. Schiff base is a mixed inhibitor, whose adsorption on the 1060 pure aluminum surface is well fitted by the Langmuir isotherm model, and there are both physisorption and chemisorption. Schiff base can inhibit the corrosion of pure aluminum and possesses a good synergistic effect with Ce(NO₃)₃, and the corrosion inhibition efficiency of 0.2 g·L⁻¹ Schiff base and 0.03 g·L⁻¹ Ce(NO₃)₃ is up to 88.8%.

Key words: corrosion inhibitor; schiff base; Ce(NO₃)₃; 1060 pure aluminum

Corresponding author: Yu Jin, Ph. D., Professor, College of Science, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, P. R. China, Tel: 0086-24-25496502, E-mail: keyanzuzy@163.com