

表面失效及防护

铝酸钠溶液中 Na_2S 对 Q235 钢腐蚀的影响张曼^{1,2}, 陈朝轶^{1,2}, 李军旗², 赵聪^{1,2}, 杨夏琼^{1,2}

(1. 贵州大学 材料与冶金学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省冶金工程与过程节能重点实验室, 贵阳 550003)

摘要: **目的** 研究在含 S^{2-} 的铝酸钠溶液中 Q235 钢的腐蚀行为。**方法** 模拟生产条件配制种分母液, 采用盐雾腐蚀实验与 SEM 和 EDS 分析技术, 结合腐蚀质量损失动力学方程与极化曲线, 研究 Na_2S 质量浓度与时间对 Q235 钢腐蚀行为的影响。**结果** 腐蚀产物元素主要为 O, S, Al, Fe。在铝酸钠溶液中, 基体的表面会覆盖一层 Al_2O_3 保护膜, 可以阻碍溶液中的硫离子穿透到基体表面, 对基体起到一定的保护作用。因此腐蚀初期及低质量浓度下, 腐蚀速率缓慢; 但随着质量浓度的增加、腐蚀时间的延长, 保护膜被破坏, S^{2-} 穿过保护膜与基体反应, 生成硫化物加速了腐蚀速率; 当 S^{2-} 质量浓度增加到 6 g/L, 腐蚀时间为 9 d 时, 硫化物被氧化成具有较稳定结构的氧化物, 腐蚀被抑制。**结论** 在铝酸钠溶液中, S^{2-} 质量浓度及腐蚀时间对腐蚀有一定的促进作用, 但当腐蚀时间及 S^{2-} 质量浓度达到一定值时, 腐蚀速率呈现减小的趋势, 腐蚀被抑制。

关键词: 铝酸钠溶液; Q235; Na_2S 质量浓度; 腐蚀时间; 腐蚀速率; 极化曲线

中图分类号: TG172.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2015)08-0086-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.08.016

Effect of Na_2S in Sodium Aluminate Solution on the Corrosion Behavior of Q235 SteelZHANG Man^{1,2}, CHEN Chao-yi^{1,2}, LI Jun-qi², ZHAO Cong^{1,2}, YANG Xia-qiong^{1,2}

(1. College of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Guizhou Province Key Laboratory of Metallurgical Engineering and Process Energy Saving, Guiyang 550003, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the corrosion behavior of Q235 steel in the S^{2-} -containing sodium aluminate solution. **Methods** The production conditions were simulated to prepare the mother liquor. Salt spray corrosion method together with SEM and EDS analysis technology, combined with the corrosion weight loss dynamics equation and polarization curve were used to study the effects

收稿日期: 2015-04-22; 修订日期: 2015-05-20

Received: 2015-04-22; Revised: 2015-05-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51264006, 51474079, 51464008); 贵州省教育厅项目(黔教合重大专项字(2012)0002); 贵州省校企合作项目(LH[2014]7609)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (51264006, 51474079, 51464008), Guizhou Province Education Department Project (Qian Teach us the Special Word (2012) 0002) and Guizhou University Cooperation Projects (LH[2014]7609)

作者简介: 张曼(1989—), 女, 江苏人, 硕士研究生, 主要研究金属腐蚀。

Biography: ZHANG Man (1989—), Female, from Jiangsu, Master graduate student, Research focus: corrosion of metal materials.

通讯作者: 陈朝轶(1977—), 男, 贵州人, 博士, 副教授, 主要从事金属材料研究。

Corresponding author: CHEN Chao-yi (1977—), Male, from Guizhou, Ph. D., Associate professor, Research focus: metal materials.

of the Na_2S concentration and time on the corrosion behavior of Q235 steel. **Results** The elements of corrosion products were mainly O, S, Al and Fe. In sodium aluminate solution, the surface of the substrate was covered with a layer of Al_2O_3 protective film, which could hinder the penetration of sulfur ions in the solution to the substrate surface, and play a role in the protection of the matrix. Therefore, in the early corrosion stage and at low concentrations, the corrosion rate was low, but with the increase of the concentration and the prolonged corrosion time, the protective membrane was damaged, S^{2-} passed through the protective film and reacted with the substrate, generating sulphide which accelerated the corrosion rate. When the S^{2-} mass concentration increased to 6 g/L and the corrosion time was 9 d, sulfide was oxidized to oxide with a relatively stable structure, the corrosion was inhibited. **Conclusion** In sodium aluminate solution, S^{2-} concentration and corrosion time had a certain promoting effect of corrosion, but when the corrosion time and S^{2-} concentration reached a certain value, the corrosion rate showed a decreasing trend, the corrosion was inhibited.

KEY WORDS: sodium aluminate solution; Q235; Na_2S concentration; corrosion time; corrosion rate; polarization curve

高硫铝土矿中硫的主要存在形态为黄铁矿(FeS_2),黄铁矿通过与苛性碱反应,使得硫主要以大量 Na_2S 及微量的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2SO_3 和 Na_2SO_4 形式转入铝酸钠溶液中^[1-2]。 Na_2S 可以对钢制设备造成严重腐蚀,硫的腐蚀与防护是亟待解决的问题^[3-10]。Q235 钢是氧化铝生产过程中,罐体设备的主要生产材料。

目前存在许多纯碱溶液中 S^{2-} 对钢制设备腐蚀的研究^[11-13],主要观点为 S^{2-} 和碱对钢的腐蚀有促进作用,但针对铝酸钠溶液中硫对钢材的腐蚀作用报道较少。中南大学的谢巧玲、陈文汭^[14]采用了极化曲线法研究了 S^{2-} 对 16Mn 低合金钢(Q345B)的腐蚀,认为 S^{2-} 的存在使得钝化延迟,且随着 S^{2-} 质量浓度及温度的升高,这种现象更加明显。本文通过模拟 Q235 钢在含硫的铝酸钠环境中的腐蚀场景,研究 Na_2S 质量浓度与腐蚀时间对 Q235 钢腐蚀行为的影响的规律。

1 实验

实验材料为 Q235 钢,成分(以质量分数计)如下:C 0.197%,S 0.019%,P 0.069%,Mn 0.233%,Cr 0.105%,Si 0.055%,Fe 余量。试样切割成 15 mm×15 mm×2 mm。实验前,实验钢材用 180,240,360,600,800 目水砂纸逐级打磨光滑,用脱脂棉蘸取无水乙醇擦洗 3 遍,干燥,称量。以分析纯 NaOH 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 为原料,模拟种分母液成分配制铝酸钠溶液,利用分析纯 $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 调节 S^{2-} 的质量浓度。

采用挂片连续喷雾的方式在 YWX/Q-250 型盐雾腐蚀箱进行腐蚀实验,温度为 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。实验结束,用去离子水冲洗样品表面,迅速干燥后,利用 KYKY-2800B 型扫描电镜观察腐蚀产物微观形貌,并进行 EDS 分析。根据 GB/T 16545—1996,用 500 mL HCl+500 mL 蒸馏水+10 g 六次甲基四胺配成溶液去除腐

蚀产物,干燥,称量。

将打磨好后的样品制成面积为 1 cm^2 的工作电极,以铂电极为辅助电极,饱和甘汞电极为参比电极,扫描速度为 5 mV/s,室温下采用 VSP 多通道电化学工作站,测定试样在含硫铝酸钠溶液中的极化曲线与阻抗谱。

2 结果与分析

2.1 形貌分析

图 1 分别为试样在不同质量浓度的 Na_2S 的铝酸钠溶液中,腐蚀相同时间后的形貌图。图 2 分别为 Q235 钢在含有相同质量浓度的铝酸钠溶液中,腐蚀不同时间后的形貌图。

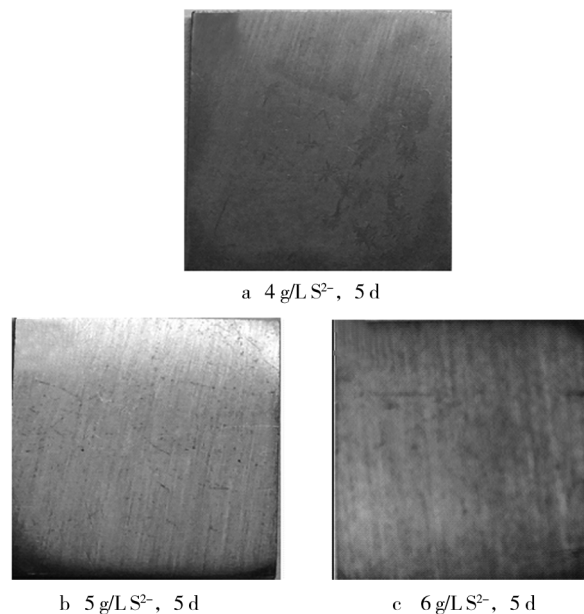


图 1 Q235 在不同 S^{2-} 质量浓度时腐蚀宏观形貌图
Fig.1 Q235 corrosion macro morphology at different S^{2-} concentration

由图 1a 所示,试样表面较光滑,试样表面没有腐蚀痕迹;由图 1b 所示,试样表面出现了较明显腐蚀坑现象;由图 1c 所示,试样表面局部出现了且显黄色的腐蚀面,腐蚀现象更加严重。

由图 2 所示,腐蚀 1 d 后,试样表面出现了零星的腐蚀坑,但腐蚀程度较轻;腐蚀 3 d 后,试样表面出现了较多且明显的腐蚀坑,点蚀现象严重;腐蚀 5 d 后,试样表面局部出现了黄色的腐蚀面;腐蚀 7 d 后,试样表面的腐蚀面范围扩大,出现了腐蚀面相互连接现

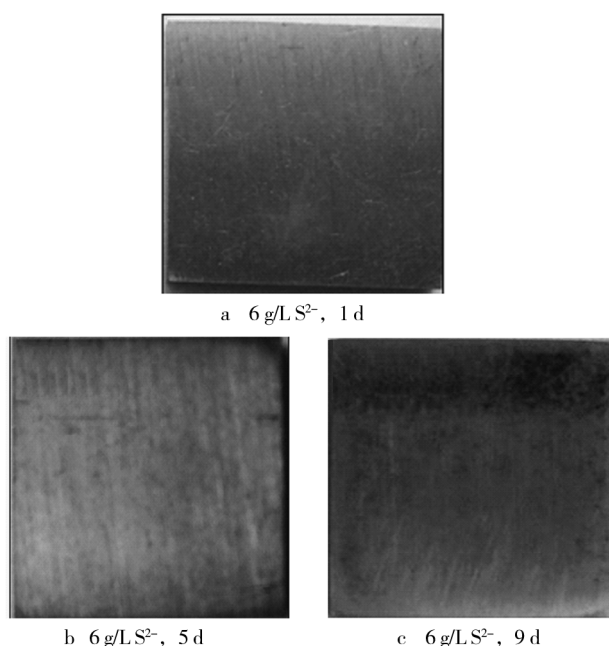


图 2 Q235 在不同腐蚀时间的宏观形貌图

Fig.2 Q235 macro morphology at different corrosion time

象且腐蚀产物的颜色加深;腐蚀至 9 d 时,试样整个表面出现了大量的腐蚀面,即出现了均匀腐蚀现象,腐蚀更加严重。腐蚀时间都为 5 d 时,在含有 4 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,试样表面较光滑没有腐蚀痕迹;在含有 5 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,试样表面出现了较明显腐蚀坑现象;在含有 6 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,试样表面局部出现了黄色的腐蚀面。

2.2 微观形貌分析

对腐蚀试样表面进行 SEM 分析,研究不同取样时间下试样的微观形貌变化,并对试样元素分布进行 EDS 标定。图 3 分别为在不同质量浓度的 S^{2-} 铝酸钠溶液中,腐蚀时间为 5 d 的微观形貌。图 4 分别为在质量浓度为 6 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,Q235 钢材腐蚀不同时间的 SEM 形貌。

如图 3 所示,在含有 4 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,表面总体成灰白色,腐蚀产物分散附着在基体表面;在含有 5 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,腐蚀区域颜色灰白色加大,成块出现且面积增大,并伴随少量腐蚀产物堆积;在含有 6 g/L S^{2-} 的铝酸钠溶液中,试样表面腐蚀现象明显,出现了明显的腐蚀裂痕且呈扩张趋势,在裂痕周围明显分布着细微腐蚀物。

表 1 为 Q235 钢材腐蚀 5 d 后,腐蚀区域 EDS 分析。随着 S^{2-} 质量浓度的升高,硫和氧元素含量具有上升趋势,铁元素含量下降,铝元素含量先增后减。 S^{2-} 质量浓度降低时,基体表面的 Al_2O_3 阻碍了 S^{2-} 的

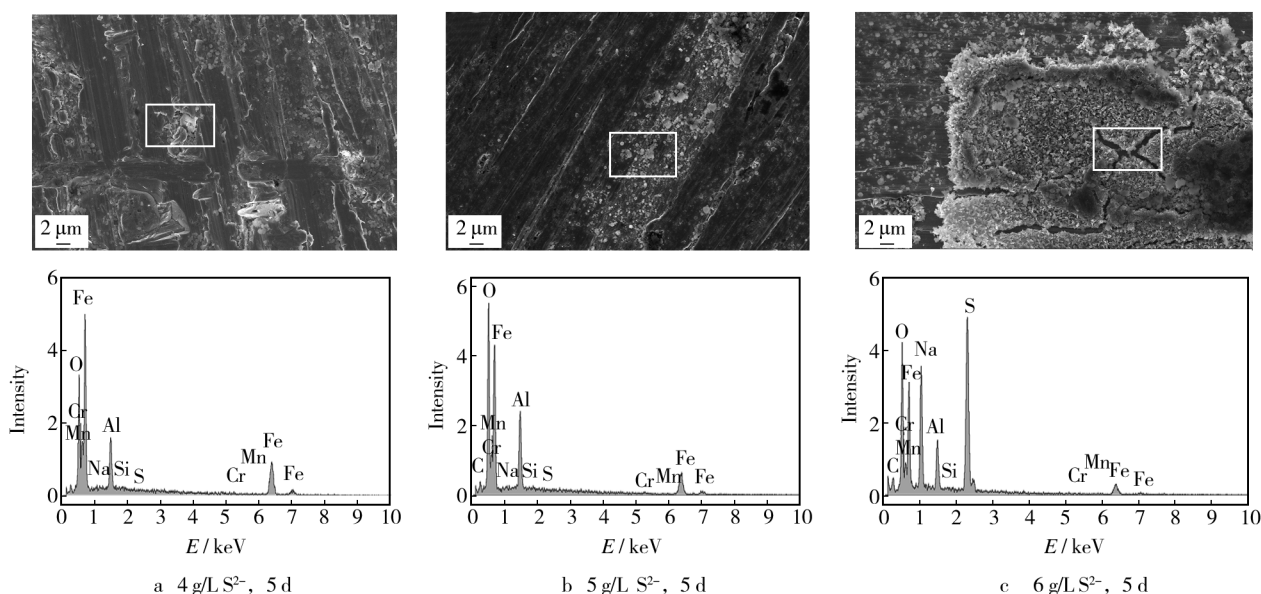


图 3 Q235 腐蚀形貌及腐蚀产物能谱图

Fig.3 Q235 morphology of corrosion and energy spectra of corrosion products

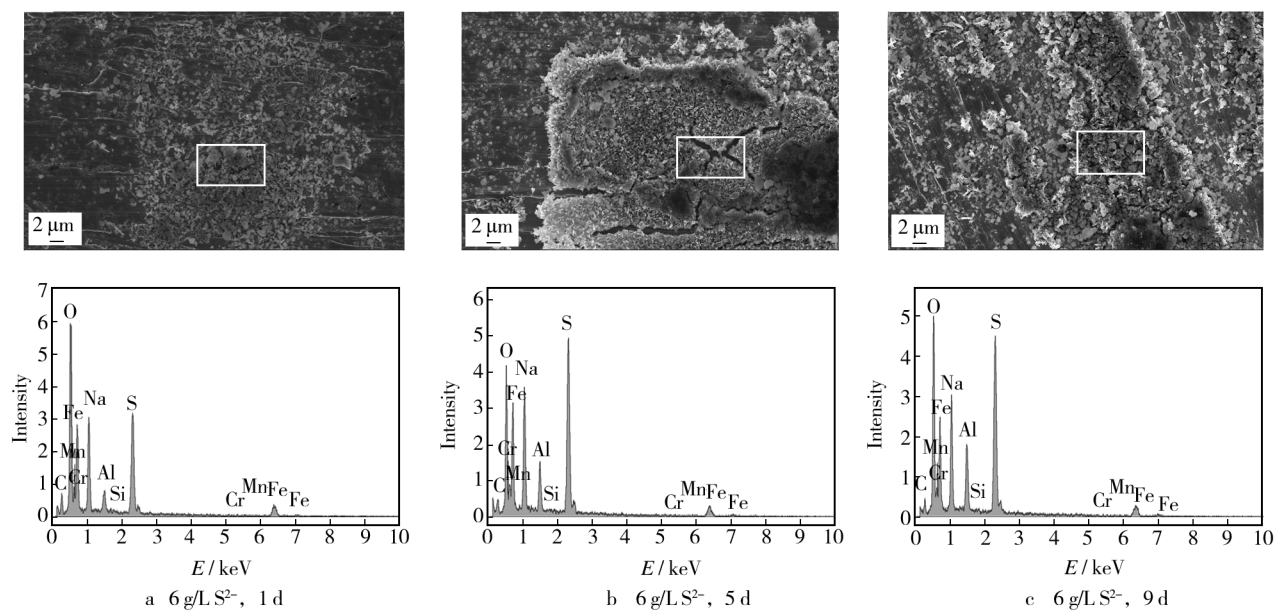


图 4 Q235 不同腐蚀时间的试样微观形貌
Fig. 4 Q235 sample microstructure at different corrosion time

穿透,具有较好的保护作用。随着随着 S²⁻ 质量浓度的升高,S²⁻ 穿透力更强,与基体反应生成 FeS,因此腐蚀产物中硫含量升高较多。

试样腐蚀 1 d 后,试样表面产生了轻微的局部腐蚀。腐蚀 5 d 后,试样的表面腐蚀现象明显,出现了明显的腐蚀裂痕且呈扩张趋势,在裂痕周围明显分布着细微腐蚀物。腐蚀 9 d 后,试样的表面腐蚀裂痕消失,钢材表面出现了大量的结构疏松的颗粒状腐蚀产物,腐蚀更加严重。

由表 2 可知,腐蚀产物主要是由 O,S,Fe,Al 元素

组成,然而 Q235 钢材中并不含 O 和 Al 元素,同时也只含有少量 S 元素,这说明了 O 和 S 元素参与了 Q235 钢材的腐蚀,并且成为了腐蚀产物的组成元素。腐蚀 1 d 到 5 d 时,S 元素含量增多,O 元素含量有所下降,硫的腐蚀起主导作用。腐蚀 5 d 到 9 d 时,氧元素含量增加,硫元素含量相应减少,氧腐蚀起到主导作用。总的腐蚀原因在于,硫穿过基体表面的 Al₂O₃ 的保护膜时,试样表面先形成结构不稳定的铁硫化物,当硫化物被氧化成具有较稳定结构的氧化物时,试样腐蚀便得到抑制。

表 1 Q235 钢材腐蚀 5 d 后腐蚀区域 EDS 分析(以质量分数计)
Tab.1 EDS analysis results of corroded areas of Q235 steel after 5 d corrosion

									%
质量浓度/(g · L ⁻¹)	C	O	Al	Na	Si	Cr	Fe	Mn	S
4	0.16	7.71	5.22	0.32	0.00	0.06	86.37	0.15	0.00
5	0.26	16.70	10.04	0.15	0.08	0.00	72.35	0.22	0.20
6	0.72	16.99	5.62	13.74	0.10	0.03	31.76	0.04	31.01

表 2 Q235 钢材腐蚀不同时间后腐蚀区域 EDS 分析(以质量分数计)
Tab.2 EDS analysis results of corroded areas of Q235 steel at different corrosion time

									%
腐蚀时间/d	C	O	Al	Na	Si	Cr	Fe	Mn	S
1	0.90	21.68	2.64	13.15	0.00	0.00	40.54	0.84	20.25
5	0.72	16.99	5.62	13.74	0.10	0.03	31.76	0.04	31.01
9	0	21.15	6.88	11.54	0.00	0.00	33.08	0.00	27.35

2.3 腐蚀质量损失分析

Q235 钢在取样时间都为 5 d 时, 4, 5, 6 g/L 的 S^{2-} 质量浓度对试样腐蚀质量损失的影响如图 5 所示。

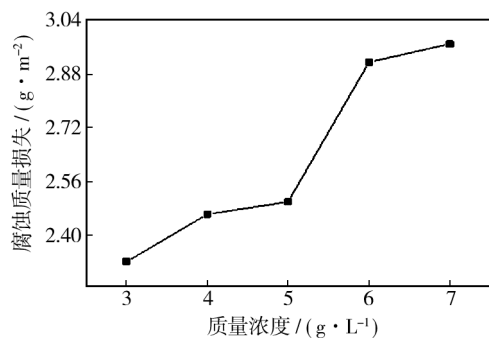


图5 Q235 腐蚀质量变化

Fig.5 Variation of corrosion weight loss of Q235 steel

由图 5 可知, 随着 S^{2-} 质量浓度增加, 腐蚀质量损失呈增加的趋势。当 Na_2S 质量浓度较低时, 对钢材基体腐蚀不是特别严重, 主要原因是 Al_2O_3 对基体起到较好保护作用。随着 Al_2O_3 保护膜 的穿透及 S^{2-} 介质由溶液不断扩散至钢材基体及基体内核, 腐蚀速率明显加快。随着硫化物后期被氧化成结构稳定的氧化物时, 腐蚀变慢。

2.4 质量损失动力学分析

根据腐蚀预测中常用的静态回归分析法, 动力学方程^[15]为: $D=At^n$

式中: D 为腐蚀深度, g/m^2 ; t 为暴露时间, a ; A 为腐蚀严重程度, 数值越大腐蚀越严重; n 为腐蚀的发展趋势, $n>1$ 代表腐蚀速率逐渐升高, $n=1$ 代表腐蚀速率与时间呈线性关系, $n<1$ 代表腐蚀速率逐渐减小。

根据腐蚀数据采用幂函数进行拟合, 得到腐蚀动力学曲线, 曲线如图 6 所示, 动力学方程为 $D=1.77t^{0.24415}$ 。由图 6 可得, 式中 $n<1$, 说明腐蚀速率随着腐蚀时间的延长而逐渐下降, 该式反映了在一定盐雾浓度和温度下, 腐蚀质量损失与腐蚀时间的总体规律。Q235 试样在试验初期的腐蚀速率较高, 随着腐蚀时间的延长, 腐蚀产物在点蚀坑附近堆积, 同时不断覆盖未腐蚀试样表面, 从而阻碍了腐蚀介质与基体^[16]的接触, 使得试样的腐蚀速率出现了逐渐减小趋势, 使得试样均匀腐蚀速率逐渐减小。

2.5 极化曲线分析

由图 7a 可知, Q235 在不同浓度下加速腐蚀 5 d

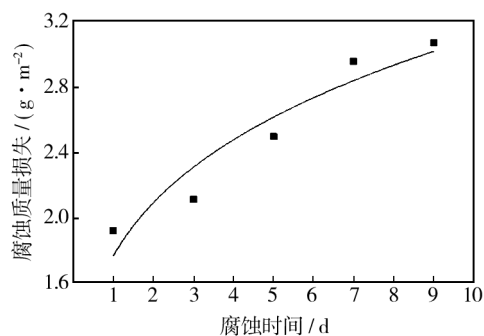
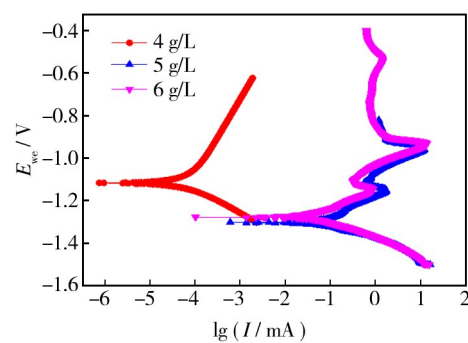


图6 Q235 钢腐蚀质量损失-时间动力学曲线

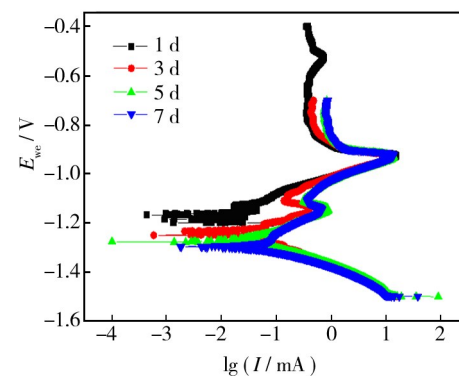
Fig.6 Kinetic curve of corrosion weigh loss of Q235 steel

后, 当 S^{2-} 质量浓度从 4 g/L 增加到 6 g/L 时, 腐蚀电流密度随硫离子质量浓度的增加而增大。 S^{2-} 质量浓度的不断增加, 硫和氧离子不断地往基体扩散, 基体表面活化发生腐蚀反应, 当达到一定程度后, 基体很容易产生腐蚀产物覆盖, 阻碍基体进一步发生腐蚀反应, 故此时腐蚀电流密度趋于平稳。

由图 7b 可知, 在含 6 g/L Na_2S 的铝酸钠溶液中, 腐蚀时间分别为 1, 3, 5, 7 d 时, 试样的腐蚀电流密度随试验时间的延长逐渐增大, 腐蚀越发严重。这是由于腐蚀呈典型的点蚀特征, 随着时间的延长硫离子不断往基体扩散, 但是随着时间的延长, 腐蚀产物覆盖



a 不同质量浓度



b 不同腐蚀时间

图7 Q235 样品的极化曲线

Fig.7 Polarization curves of corrosion samples of Q235

在基体表面,在一定程度上缓解腐蚀电流密度增大。

3 结论

1) 随着腐蚀时间的延长和 S^{2-} 质量浓度的增加,基体表面颜色逐步加深,出现点蚀向均匀腐蚀趋势。腐蚀产物元素主要为 O, S, Al, Fe 等 4 种元素组成。腐蚀初期和低浓度下的基体表面的 Al_2O_3 保护膜,对基体都有较好的保护作用;但随着质量浓度增加、腐蚀时间的延长,保护膜被破坏,基体表面生成硫化物加速了腐蚀;后期当硫化物被氧化成具有较稳定结构的氧化物时,试样腐蚀便得到抑制,同时微观相貌上出现点蚀向均匀腐蚀趋势。

2) S^{2-} 质量浓度、腐蚀时间对腐蚀都有一定的促进作用,但当 S^{2-} 质量浓度、腐蚀时间到了一定程度时,腐蚀速率都出现了减小趋势。

3) 从极化曲线上分析, Q235 钢材的腐蚀电流密度均随 S^{2-} 质量浓度及腐蚀时间的增加总体呈增大趋势,腐蚀越发严重。

参考文献

- [1] 李小斌,李重洋,齐天贵.拜耳法高温溶出条件下黄铁矿的反应行为[J].中国有色金属学报,2013,23(3):829—835.
LI Xiao-bin, LI Chong-yang, QI Tian-gui. Reaction Behavior of Pyrite during Bayer Digestion at High Temperature[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(3): 829—835.
- [2] 胡小莲,陈文汨.采用湿式氧化法脱除铝酸钠溶液中硫的研究[J].中南大学学报:自然科学版,2011,42(10):2911—2916.
HU Xiao-lian, CHEN Wen-mi. Desulfurization from Sodium Aluminate Solution by Wet Oxidation[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2011, 42(10): 2911—2916.
- [3] 张吉晨.氧化铝生产设备应力腐蚀的防治[J].全面腐蚀控制,2002,16(4):19—21.
ZHANG Ji-chen. Preventive Treatment of Stress Corrosion to Alumina Producing Equipment[J]. Total Corrosion, 2002, 16(4): 19—21.
- [4] 杨景红.耐候钢及其腐蚀产物的研究概况[J].中国腐蚀与防腐学报,2007,27(6):367—372.
YANG Jing-hong. The Progress of Investigation on Weathering Steel and Its Rust Layer[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2007, 27(6): 367—372.
- [5] 吕永新.冶金行业设备的腐蚀与防护概况[J].科技信息,2010,15:110.
LYU Yong-xin. The Corrosion and Protection Situation of Metallurgical Equipment[J]. Science & Technology Information, 2010, 15: 110.
- [6] 曹楚南.中国材料的自然环境腐蚀[M].北京:化学工业出版社,2005.
CAO Chu-nan. China's Material Corrosion Environment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [7] 毕诗文.氧化铝生产工艺[M].北京:化学工业出版社,2010.
BI Shi-wen. Alumina Production Process [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [8] BHATTACHARYA A, SINGH P M. Electrochemical Behaviour of Duplex Stainless Steels in Caustic Environment[J]. Corrosion Science, 2011, 53(1): 71—81.
- [9] 郭军科,于金山,彭翔.加速腐蚀试验研究碳钢的大气腐蚀行为[J].表面技术,2014,43(4):68—73.
GUO Jun-ke, YU Jin-shan, PENG Xiang. Study on the Atmospheric Corrosion Behavior of Carbon Steel Using Accelerated Corrosion Test [J]. Surface Technology, 2014, 43(4): 68—73.
- [10] 黄钰,程西云,彭美华. Zn-Al 伪合金涂层的耐蚀性能研究[J].表面技术,2014,43(1):35—37.
HUANG Yu, CHENG Xi-yun, PENG Mei-hua. Zn-Al Pseudo Alloy Coating Corrosion Resistance Research [J]. Surface Technology, 2014, 43(1): 35—37.
- [11] SINGH P M, ICE O, MAHMOOD J. Stress Corrosion Cracking of Type 304L Stainless Steel in Sodium Sulfide-containing Caustic Solutions[J]. Corrosion, 2003, 59(10): 843—850.
- [12] 李君,董超芳,李晓刚. pH 值对 Q235 碳钢与 304L 不锈钢在典型含硫环境中电偶腐蚀行为的影响[J].北京科技大学学报,2006(1):52—58,62.
LI Jun, DONG Chao-fang, LI Xiao-gang. Effect of pH Value on the Galvanic Corrosion Behaviour of Q234-304L Couples in Sulfur Environment[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006(1): 52—58, 62.
- [13] PATRICK E. Corrosion Behavior of Carbon Steels in Sulfide-containing Caustic Solutions[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2006, 45: 7789—7794.
- [14] 谢巧玲.铝酸钠溶液中 S^{2-} 对低合金钢腐蚀行为的影响[J].中国有色金属学报,2013,23(12):3462—3469.
XIE Qiao-ling. Effect of S^{2-} on Corrosion Behavior of Low Alloy Steel in Sodium Aluminate Solution[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(12): 3462—3469.

(下转第 129 页)

成功应用却很少。笔者通过设计三点接触式弹性挂具,解决了药筒易漂浮、与挂具接触导电性差的问题;通过改进预处理工艺,解决了上漆不均及结合性的问题;通过降低施工电压、阳极液电导率、漆液固体份,提高漆液电导率,适当控制施工温度等措施,有效控制了漆膜厚度,解决了色差的问题。通过以上措施,使得铝药筒的电泳涂漆一次良品率大幅提高,同时也为铝合金的电泳涂漆积累了经验。

参考文献

- [1] 马骏,赵占西,苏冬云. 铸铝合金硬质阳极氧化工艺分析及改进[J]. 表面技术,2006,35(6):30—31.
MA Jun,ZHAO Zhan-xi,SU Dong-yun. Technological Analysis and Improvement of Foundry Aluminum Alloy Hard Anode Oxidation [J]. Surface Technology, 2006, 35 (6): 30—31.
- [2] 李淑华. 铸钛合金组合件的阳极氧化工艺研究[J]. 表面技术,2012,41(5):108—110.
LI Shu-hua. Process Study on Anodization for Cast Titanium Alloy Weldment [J]. Surface Technology, 2012, 41 (5): 108—110.
- [3] 高丽,黎学明,李武林,等. LY12 铝合金低温硬质阳极氧化工艺研究[J]. 表面技术,2010,39(6):90—92.
GAO Li, LI Xue-ming, LI Wu-lin, et al. Process of Hard Anodic Oxidation Films on LY12 Aluminum Alloy at Low Temperature [J]. Surface Technology, 2010, 39 (6): 90—92.
- [4] 汪小华. 环保型阴极电泳漆的应用[J]. 表面技术,2006,35(6):75—77.
WANG Xiao-hua. The Application of Cathode Electrophoretic Paint of Environment Protection [J]. Surface Technology, 2006, 35 (6): 75—77.
- [5] 刘长春. 浅析涂装防腐[J]. 现代涂料与涂装,2013(10):47—48.
LIU Chang-chun. Brief Discussion on Painting Anticorrosion [J]. Modern Paint & Finishing, 2013 (10): 47—48.
- [6] 卢海玲. 电泳漆膜异常附着案例浅析[J]. 上海涂料,2013,51(3):47—48.
LU Hai-ling. Analysis of the Cases of Abnormal Electrophoretic Paint Film Adhesion [J]. Shanghai Coatings, 2013, 51 (3): 47—48.
- [7] 赵保刚,马春庆,谭红梅,等. 电泳漆涂装效果主要影响因素研究[J]. 现代涂料与涂装,2012(7):52—54.
ZHAO Bao-gang, MA Chun-qing, TAN Hong-mei, et al. The Research of the Main Influential Factors on Electrophoretic Paint Coating [J]. Modern Paint & Finishing, 2012 (7): 52—54.
- [8] 周晶,华云,王云飞. 电泳漆梯度膜厚对涂层耐蚀性的影响[J]. 上海涂料,2011,49(5):14—15.
ZHOU Jing, HUA Yun, WANG Yun-fei. Effects of Electrophoretic Paint Film Thickness of Gradient Coating Corrosion Resistance [J]. Shanghai Coatings, 2011, 49 (5): 14—15.
- [9] 王晓敦,赵光煜. 铸铝合金组合件阴极电泳涂装漆膜缩孔产生原因与解决方法[J]. 表面技术,2014,43(4):164—167.
WANG Xiao-dun, ZHAO Guang-yu. Causes and Solutions of Shrinkages of Cathodic Electrophoretic Coating Film on Cast Aluminum Alloy Assembly [J]. Surface Technology, 2014, 43 (4): 164—167.
- [10] 刘引烽. 涂料界面原理及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
LIU Yin-feng. The Coating Interface Principle and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [11] GAMA, MIT. Anticrater Agent for Electrocoat Composition: US, 20120175261 [P]. 2012-07-12.
- [12] 喻冬秀. 常温高效铝翅片清洗剂的研制[J]. 精细化工, 2003(2):126—128.
YU Dong-xiu. Preparation of Room Temperature, Aluminum Fin Cleaning Agent [J]. Fine Chemicals, 2003 (2): 126—128.
- [13] 王宝田,陈良印,马坚,等. 浅谈电泳涂装工艺原理及管理[J]. 现代涂料与涂装,2011(1):63—65.
WANG Bao-tian, CHEN Liang-yin, MA Jian, et al. The Process Principle and Management of Electrophoretic Coating [J]. Modern Paint & Finishing, 2011 (1): 63—65.
- [14] 刘雯丽. 阴极电泳涂装槽液管理的参数控制[J]. 表面技术,2013,42(1):116—119.
LIU Wen-li. The Parameters Control of Management of CED [J]. Surface Technology, 2013, 42 (1): 116—119.
- [15] 宋华. 电泳涂装技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
SONG Hua. Electrophoresis Coating Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.

(上接第91页)

- [15] 李牧铮. 环境因子与大气腐蚀关系数学模型和大气腐蚀预测[J]. 中国腐蚀与防护报,1993,12(1):10—13.
LI Mu-zheng. Mathematical Models for Dependence of Atmospheric Corrosion on Environment Factors and Prediction of Atmospheric Corrosion [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 1993, 12 (1): 10—13.
- [16] GEORGE R P. Influence of Surface Characteristics and Microstructure on Adhesion of Bacterial Cells onto a Type 304 Stainless Steel [J]. Biofouling, 2003, 19 (1): 1—8.