

高速列车用铸造 AlSi7Mg 合金耐盐雾腐蚀性能研究

赵丽娟

(常州工业职业技术学院, 江苏常州 213164)

摘要: 选取高速列车用铸造 AlSi7Mg 铝合金进行中性盐雾试验, 探讨了其在实际应用中的盐雾腐蚀行为。结果表明, 盐雾腐蚀过程中试样表面出现点蚀特征, 试样表面覆盖层腐蚀产物主要有 Al、Si 和 O, 致密的氧化膜具备稳定的化学特性, 隔绝了盐雾腐蚀反应, 起到保护材料的作用。

关键词: 高速列车; AlSi7Mg 铝合金; 盐雾腐蚀

高速列车轻量化是目前轨道运输现代化的发展趋势^[1-2], 铝合金因其密度小、强度高和耐腐蚀等特点, 广泛应用在高速列车关键部件上, 主要用于齿轮箱、车架枕梁等^[3-6]。车辆运行中长期暴露在大气环境, 尤其是沿海城市空气中的盐分及水蒸气含量比内陆多, 更易对车辆部件造成腐蚀而导致承载能力下降, 给车辆造成安全隐患^[7]。腐蚀的发生会严重降低结构件的可靠性和寿命, 使材料提前断裂失效, 对材料的稳定性造成极大的威胁^[8]。为防止列车中铝合金铸件腐蚀发生事故, 带来人员伤亡, 故对应用在车辆部件上的铸造 AlSi7Mg 合金进行腐蚀性研究。

本文以盐雾模拟海洋大气环境, 考查铸造 AlSi7Mg 合金在中性盐雾环境下抗腐蚀的能力, 作为判定高速列车在沿海环境安全运行的依据。

1 试验过程

1.1 试验材料

试验材料为铸造 AlSi7Mg 合金, 与高速列车铸铝件同炉次铸造, 并同炉经过了 T6 热处理。检测其成分如表 1 所示。试样加工成尺寸为 120 mm × 40 mm × 4 mm 的平板。试样经砂纸打磨, 无水乙醇超声清洗后密封保存备用。

1.2 试验方法

盐雾腐蚀试验是一种人工模拟试验, 用于模拟一定温度、湿度、盐浓度和 pH 值条件下的海洋大气环境。但为方便观察试验现象, 适当缩短试验周期, 提高研究效率, 部分条件相对于自然条件有所加强, 是为室内条件下人工加速模拟海洋气氛环境下的腐蚀试验^[9]。本文的盐雾试验在 YWX/F-750 复合盐雾腐蚀试验箱中进行, 试验方法依据 GB/T 10125-2012 的规定, 采用质量分数为 5%、pH 为 6.5~7.2 的中性 NaCl 溶液进行喷雾, 试验周期为 20 天, 试验温度为 (35 ± 1) °C。采用连续喷雾方式, 并在预定的时间后取出样品。

表 1 铝合金的化学成分

Tab1 Chemical composition of aluminum alloy

w_B /%

Si	Fe	Mg	Ti	Cu	Mn	Zn	Al
7.23	0.12	0.28	0.13	< 0.01	< 0.01	< 0.01	余量

作者简介:

赵丽娟(1979-), 女, 满族, 讲师, 硕士, 主要研究方向为材料成形技术。E-mail: 44779432@qq.com

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)

10-1200-04

收稿日期:

2021-04-16。

盐雾腐蚀后,采用精密电子天平称重,采用金相显微镜对腐蚀不同时间后试样的腐蚀形貌进行观察,并用HITACHI S-3700N型扫描电子显微镜(SEM)观察试样表面微观形貌及腐蚀产物分析。

2 结果与分析

2.1 试样表面样貌

图1为试样盐雾腐蚀外观,可看出在初始状态、盐雾1天、盐雾10天及盐雾20天试样的外观变化,图1a为试样初始状态,未腐蚀的试样表面呈金属光泽,无

裂纹及腐蚀点。盐雾1天后(图1b),试样表面呈暗黄色,出现点状白色腐蚀产物。随着中性盐雾时间的延长,试样表面暗度增加,盐雾20天,完全失去金属光泽,出现明显的腐蚀点(图1d中圆圈标识处)。

2.2 盐雾腐蚀增重分析

图2为铸造AlSi7Mg合金试样盐雾腐蚀质量随时间变化的曲线。图中显示,随着腐蚀时间的增加,试样的质量逐渐增大,试样的质量在20天内共增重 $100.1060 - 100.0936 = 0.0124$ g,其质量变化为0.012%。试样质量

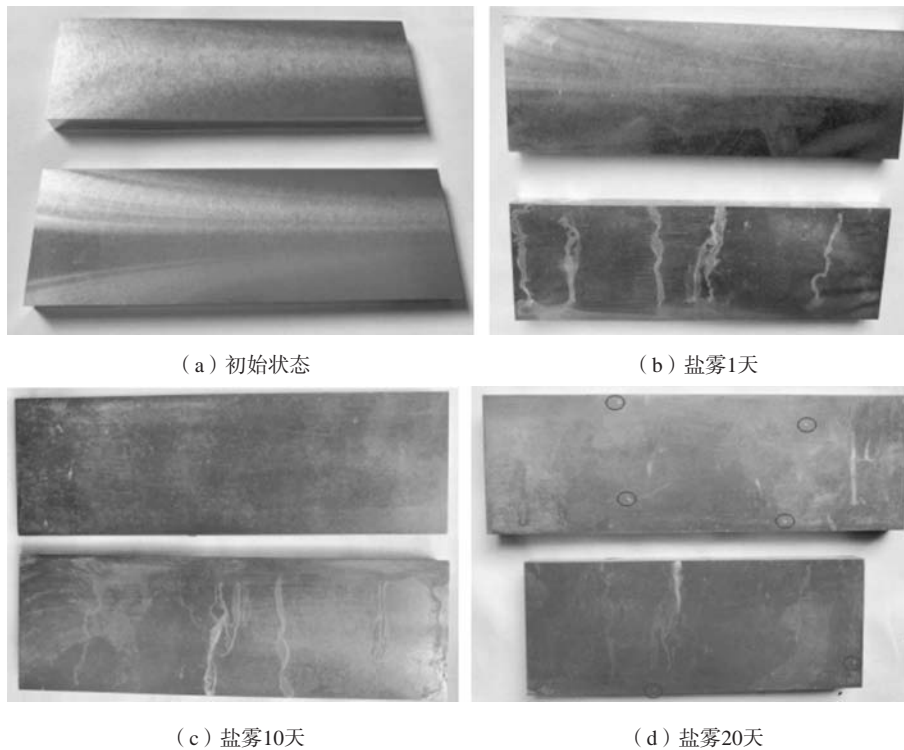


图1 不同时间盐雾腐蚀后试样外观形貌

Fig. 1 Appearance of samples after salt spray corrosion at different durations

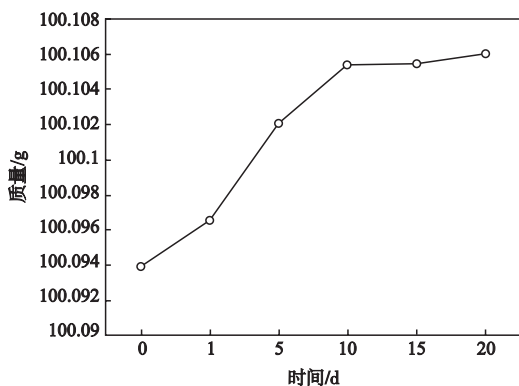


图2 AlSi7Mg合金盐雾腐蚀质量随时间变化的曲线
Fig. 2 Change curve of salt spray corrosion quality of AlSi7Mg alloy with time

增加速率初期较快,后变慢,推测出现这种现象的原因为铝的化学性质活泼,在盐雾环境下,盐雾中的氯离子能较快吸附在金属基体表面,试样逐步被腐蚀,腐蚀产物覆盖在试样表面,导致试样质量增加。随着腐蚀时间延长,腐蚀产物增厚,致密地分布在基体表面,阻碍了氯离子的进入,对基体起到了比较好的保护作用,增重减缓。

2.3 腐蚀形貌与腐蚀产物分析

对盐雾腐蚀后的试样截断,用金相显微镜观察其断面组织,见图3所示。在腐蚀后的断面组织中可以看到,试样表面有明显的腐蚀痕迹,腐蚀沿着试样表面向内部扩散,但试样内部晶界或亚晶界均无腐蚀现

象。在试样表面覆有一层厚度均匀的薄膜，测得其厚度约为 $6.312\ \mu\text{m}$ ，推测可能是因为试样表面在盐雾环境下的腐蚀产物，致密的分布在表面，形成了一层钝化膜。由于钝化机制的存在，阻止了腐蚀进一步进行，钝化膜对基体起到了防护作用。

图4是试样覆盖层腐蚀产物的EDS分析。根据分析结果，该覆盖物化学组成以Al、Si和O三种元素为主，另外还有Mg、Na、Cl等（表2）。可以推断出覆盖物为Al和Si的氧化物或络合物，根据化学相关知识，Al和Si的氧化物均具有较好的化学稳定性，并不容易被分解。Cl⁻参与了铝合金的大气腐蚀过程，但Cl元素含量非常少，腐蚀程度非常轻微。

铝合金的耐腐蚀性能主要取决于其表面钝化膜的性质及其在各种环境中的稳定性。上述试验结果表明，保护阻止腐蚀反应向材料内部进行的钝化膜成分主要是氧化物。AlSi7Mg材料暴露在盐雾环境中时，材料中Al和Si元素迅速被氧化，并形成一层厚度约为 $6\ \mu\text{m}$ 的氧化膜覆盖在试样表面。致密的氧化膜具备稳定的化学特性，隔绝了盐雾腐蚀反应，起到保护材料的作用。

3 结论

(1) 随着时间的增加，铸造AlSi7Mg合金的腐蚀增重先快后慢。

(2) 在盐雾环境下铸造AlSi7Mg试样表面的Al和Si迅速被氧化，并形成一层厚度约 $6\ \mu\text{m}$ 的钝化膜覆盖在试样表面。

(3) 试样表面致密的氧化膜化学性质稳定，阻断了腐蚀反应向材料内部进行，从而保护材料，让

AlSi7Mg具备较强的抗盐雾腐蚀性能。

(4) 铸造AlSi7Mg合金在480 h内耐盐雾腐蚀性能良好，更长的时间需要进一步通过试验验证。

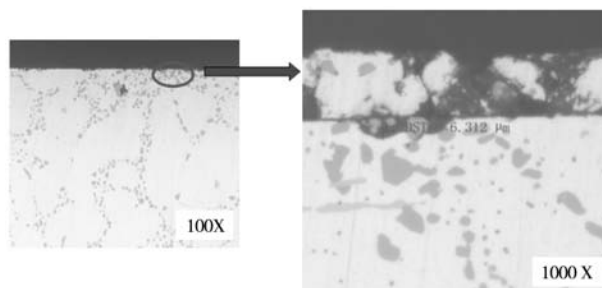
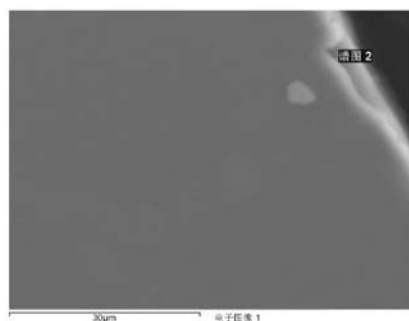


图3 试样断面金相组织

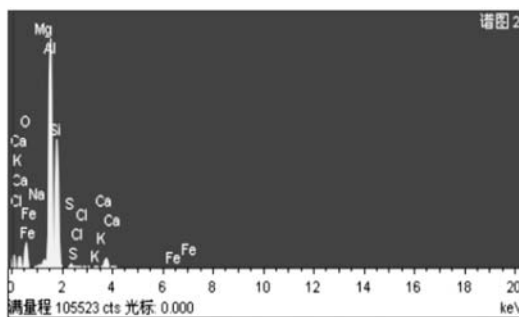
Fig. 3 Microstructure of specimen section

表2 腐蚀产物元素含量
Tab 2 Element content of corrosion products /%

元素	质量百分比	原子百分比
O K	25.50	37.44
Na K	0.26	0.27
Mg K	0.85	0.82
Al K	35.19	30.64
Si K	33.07	27.66
S K	1.17	0.86
Cl K	0.35	0.23
K K	0.18	0.11
Ca K	3.21	1.88
Fe K	0.23	0.10
总量	100	



(a) 腐蚀产物形貌



(b) EDS分析

图4 腐蚀产物形貌及EDS分析

Fig. 4 Morphology and EDS analysis of corrosion products

参考文献:

- [1] 李丽, 李善文, 周学杰, 等. 高速列车端门铝合金安装框腐蚀案例分析 [J]. 材料保护, 2020, 53 (10): 120-125.
- [2] 何广忠, 刘长青. 动车组铝合金车体材料的发展与选型分析 [J]. 焊接, 2015 (1): 13-16.
- [3] VARGEL C. Corrosion of Aluminium [M]. Paris: Dunod, 2004: 235.
- [4] SYEDS. Atmospheric corrosion of materials [J]. Emirates J.Eng.Res., 2006, 11 (1): 2.
- [5] 曾瑞祥, 程腾飞, 杨弋涛. 新型低硅铸造铝合金耐腐蚀行为研究 [J]. 铸造, 2019, 68 (8): 872-879.
- [6] 周斌, 龚家林, 李富强. 高速列车用AlSi7Mg合金的应力腐蚀性能研究 [J]. 轻合金加工技术, 2020, 48 (7): 45-47.
- [7] 李波, 武美妮, 金文涛. 高速列车A7N01P-T4铝合金焊接接头腐蚀行为研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2014, 26 (3): 223-227.
- [8] 李一, 林德源, 陈云翔, 等. 2A12-T4铝合金在盐雾环境下的腐蚀行为与腐蚀机理研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2016, 28 (5): 45-460.
- [9] 李永刚. 镁铝合金腐蚀行为及防护方法研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2010.

Salt Spray Corrosion Resistance of Cast AlSi7Mg Alloy for High-Speed Train

ZHAO Li-Juan

(Changzhou Institute of Industry Technology, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

Abstract:

The salt spray corrosion behavior of cast AlSi7Mg aluminum alloy for high-speed train was studied. The results show that the corrosion products of the sample surface are Al, Si and O. The dense oxide film has stable chemical properties, which insulates the salt spray corrosion reaction and plays a role in protecting the material.

Key words:

high-speed train; AlSi7Mg aluminum alloy; salt spray corrosion
