

去离子水介质对 2A14 铝合金贮箱表面质量影响研究

张鑫 彭江涛 张文龙 张帅 杜继伟 周博扬
(天津航天长征火箭制造有限公司, 天津 300462)

摘要: 为了评估去离子水介质对某型号 2A14 铝合金贮箱内表面质量的影响, 本文开展了去离子水液压循环浸泡试验与湿热试验, 结果表明: 经过去离子水液压循环浸泡后的试样未出现产品表面腐蚀现象, 去离子水介质可以用于 2A14 铝合金贮箱的液压试验和容积测量, 但应当避免试验过程中形成高温高湿气氛; 经去离子水浸泡和重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 水溶液浸泡的 2A14 试片, 两者的耐腐蚀性基本相当, 经去离子水浸泡的 5A06 试片耐腐蚀性略优于重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 水溶液浸泡的 5A06 试片。

关键词: 2A14 铝合金贮箱; 去离子水; 液压试验; 表面质量

中图分类号: V460 **文献标识码:** A

Research on Influence of Deionized Water on the Surface Quality of 2A14 Aluminum Alloy Fuel Tank

Zhang Xin Peng Jiangtao Zhang Wenlong Zhang Shuai Du Jiwei Zhou Boyang
(Tianjin Long March Launch Vehicle Manufacturing Co., Ltd., Tianjin 300462)

Abstract: To access the influence of deionized water on the surface quality of 2A14 aluminum alloy fuel tank of launch vehicle, and prevent the corrosion of the aluminum material, the cyclic soak test of specimens in pressured deionized water and damp heat test is conducted in this paper. Results show that specimens under cyclic soak test in pressured deionized water have no sign of surface corrosion, the deionized water can be used for pressure test and cubage test of 2A14 aluminum alloy fuel tank without high temperature and high humidity; deionized water leads to equal corrosion resistance of 2A14 aluminum specimens compared with potassium dichromate solution and more corrosion resistance of 5A06 aluminum specimens compared with potassium dichromate solution.

Key words: 2A14 aluminum alloy fuel tank; deionized water; pressure test; surface quality

1 引言

运载火箭燃料贮箱液压试验与容积测量是考核贮箱服役性能的重要依据。液压试验和容积测量使用的试验介质通常有去离子水或者含量 0.3%~0.5% 的重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 水溶液。重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 水溶液对铝合金表面具有一定的缓蚀作用, 是传统的试验介质, 但该介质具有污染环境和致癌的危害。去离子水经济无污染, 其电导率越低, 铝合金受到的腐蚀影响越小^[1]。电导率 $\leq 10 \mu S/cm$ 时, 正负离子含量极低, 导电过程困难, 理论上可有效阻断电化学腐蚀, 已经被广泛地使用在新一代运载火箭贮箱 (材料主要

为 2219 铝合金) 液压试验中。因此, 针对 2A14 铝合金贮箱液压容积试验介质, 本文通过开展液压循环浸泡试验与湿热试验, 研究采用去离子水进行液压容积试验对贮箱内表面质量的影响。

2 试验材料与试验方案

2.1 试验材料

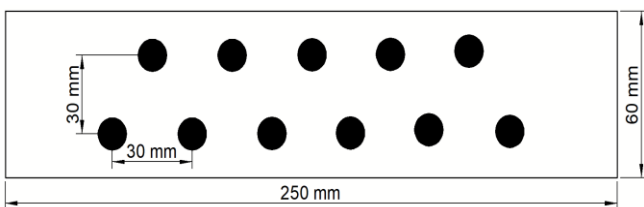
试验材料为 2A14 铝铜镁系合金和 5A06 铝镁合金, 2A14 的热处理状态有 MCS 和 CS 两种, 5A06 热处理为 M 状态。试验采用合格的贮箱原材料, 经过相应的热处理后, 按照表 1 要求加工成形。钱建才等^[2]研究表

明不同表面处理对铝合金耐腐蚀性能有较大影响。本文均采用无阳极化处理试片，且试验前均对试片表面进行酸洗处理，保持与产品状态一致。

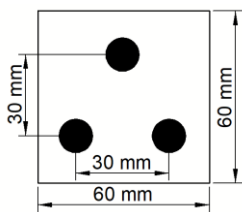
表1 液压循环浸泡试验试样

序号	试样类型
1	2A14 MCS 4.5 mm+5A06 M 2.0 mm 点焊
2	2A14 CS 5.0 mm+5A06 M 2.0 mm 点焊
3	2A14 CS 8.0 mm 带垫板 TIG 对接焊
4	2A14 CS 8.0 mm FSW 对接焊
5	2A14 MCS 4.5 mm 悬空 TIG 对接焊
6	5A06 M 2.0 mm+5A06 M 2.0 mm 铆接
7	5A06 M 2.0 mm+5A06 M 2.0 mm 螺栓
8	2A14 CS 8.0 mm 母材
9	5A06 M 2.0 mm 母材

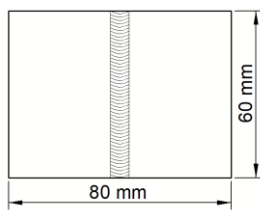
2.2 试验方案



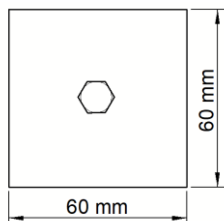
a 点焊试样



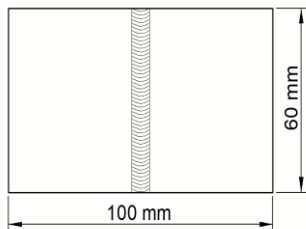
b 铆接试样



c FSW 对接焊试样



d 螺栓试样



e TIG 对接焊试样

图1 液压浸泡试验试样

a. 液压循环浸泡试验

液压循环浸泡试验采用典型的对接焊、点焊、螺栓及铆接结构的试样（见表1、图1）各16块，均分成

4批，其中3批在已有的工艺贮箱内悬挂，历经3次贮箱“液压—烘干—静置—取样”过程，模拟液压试验过程中去离子水对贮箱表面质量的影响，另一批未浸泡的对比试样则悬挂于箱外的试验场地。3批浸泡试样同时置于箱内，见图2，分3批取出分别进行不同次数的贮箱液压试验过程。液压试验压力0.4 MPa、保压15 min，使用60~80℃热空气烘干，静置时间为2 d。试验完成后，对试样表面进行目视检查、10倍放大镜检查、扫描电镜（SEM）观察与能谱分析，确定是否发生腐蚀。



图2 箱内液压浸泡试样悬挂安装情况

b. 湿热试验

湿热试验采用表2所示的2A14铝合金（化铣表面）及5A06母材试样，各9块，各自均分成3组。试样经120℃烘烤2 h后，其中2组按要求分别经去离子水与含量0.3%~0.5%的 $K_2Cr_2O_7$ 水溶液浸泡2 h，冲洗、烘干后开展湿热试验；另外1组不经过浸泡，直接开展湿热试验。试验温度 (40 ± 2) ℃、相对湿度 $95\%\pm 3\%$ 。试样悬挂在GDJS-225型湿热试验箱时，不允许重叠，同时避免试样表面的冷凝水滴落到下层试样表面上，如图3所示。在第4 d、7 d、10 d每组各取一个试样进行宏观与微观检测，参照郑洪等^[3]利用目视、SEM微观、能谱分析等方法对腐蚀情况进行分析。

表2 湿热试验试样

序号	试样类型
1	2A14 CS 6.0 mm×100 mm×50 mm
2	5A06 M 2.0 mm×100 mm×50 mm

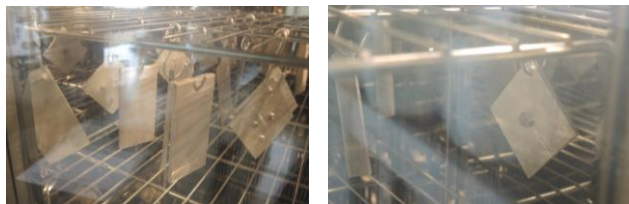
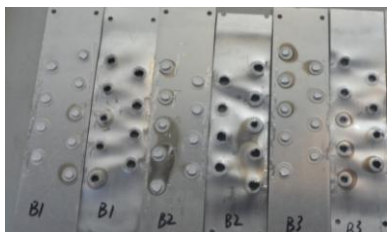


图3 恒定湿热试验试样状态

3 结果分析

3.1 宏观检查

液压循环浸泡试样经目视及 10 倍放大镜观察，浸泡完的 TIG 对接焊及 FSW 对接焊浸泡试样焊缝正、反面均无异常。点焊试样、螺接试样、铆接试样上、下表面外观无异常，中间夹缝不易检查，人工破拆后发现夹缝表面存在颜色可辨的痕迹区，形貌见图 4，此区域表面状况有待进行微观检测与鉴定。为考察液压循环浸泡试验后长时间静置的影响，部分点焊试样静置约 100 d 后破拆送微观检测。



a 点焊试样破拆后的夹缝表面形貌

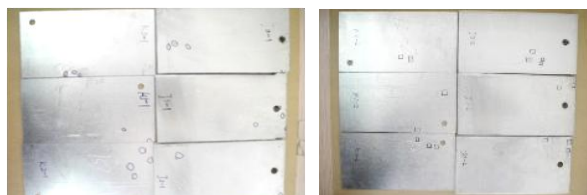


b 螺接试样外观形貌



c 铆接试样外观形貌

图 4 试样夹缝内外观形貌



a 96 h

b 168 h



c 240 h

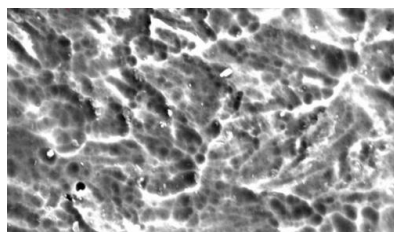
图 5 湿热试样疑似点分布宏观图

湿热暴露试样经检查：3 组 2A14 试样表面均存在疑似腐蚀点，5A06 试样 168 h 与 240 h 无浸泡及去离子水浸泡试样均未发现蚀点，其他均发现疑似腐蚀点，各组试样均送微观检查，如图 5 所示。

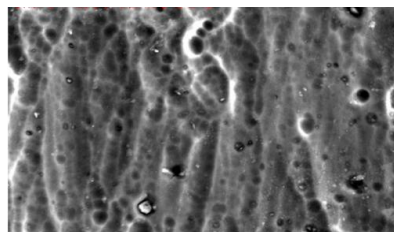
3.2 微观检测

表 3 循环液压试验正常位置能谱扫描成分 %

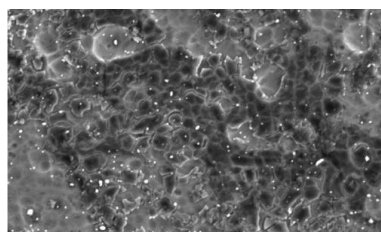
元素	2A14 重量百分比	5A06 重量百分比
O	2.12	1.42
Mg	/	6.47
Al	97.23	91.41
Mn	/	0.70
Cu	0.65	/
总量	100.00	100



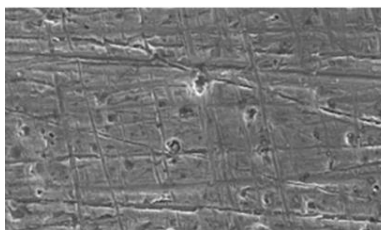
a 正常位置处



b 点焊试样疑似腐蚀处



c 铆接试样疑似腐蚀处



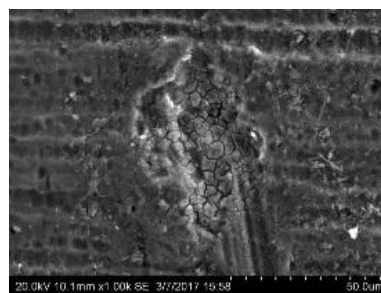
d 螺接试样疑似腐蚀处

图 6 试样表面形貌

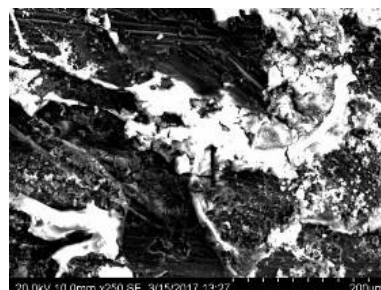
液压循环浸泡试样的检测结果表明:点焊试样夹缝表面斑迹处及附近区域未检测到腐蚀产物,且无腐蚀粘着痕迹,与正常位置的形貌基本一致。铆接、螺接试样夹缝表面均存在轻微的水痕斑迹,对夹缝表面斑迹处及正常位置处采用扫描电镜观察均未发现腐蚀形态,能谱检测未出现异常成分见表3,可以判断去离子水液压循环浸泡试验对2A14和5A06材料无腐蚀影响,微观形貌见图6。夹缝表面的斑迹为水渍中水分子缓慢蒸发后污渍(检测到碳C元素)残留以及水污染的形貌。由于铝在空气中自然氧化膜层的防护作用,水污染对金属的损害并不十分严重,一般不影响铝合金的使用^[4]。

湿热试验试样经过微观检查表明:3组2A14试样表面均存在腐蚀点,且随湿热暴露时间的延长,蚀点尺寸逐渐变大。湿热暴露96h,经去离子水浸泡的2A14试片与采用重铬酸钾水溶液浸泡的试片表面蚀点数与蚀点尺寸相当,湿热暴露168h,经去离子水浸泡的2A14试片其表面蚀点数低于采用重铬酸钾水溶液浸泡的2A14试片,蚀点尺寸相当,湿热暴露240h,经去离子水浸泡2A14试片表面蚀点数及蚀点尺寸与采用重铬酸钾水溶液试片相当。5A06试样168h与240h无浸泡及去离子水浸泡试样未发现蚀点,采用重铬酸钾水溶液浸泡的5A06表面有明显腐蚀。湿热暴露96h,经去离子

水浸泡的5A06试片表面蚀点数低于采用重铬酸钾水溶液浸泡的5A06表面蚀点数。典型的腐蚀点微观形貌见图7。蚀点统计见表4,蚀点尺寸按标尺测量得出。



a K2-1



b J1-3

图7 湿热暴露后典型试样表面形貌

表4 湿热试样0.01 m²表面上蚀点统计(J0/J1/J2组为2A14, K0/K1/K2组为5A06)

湿热暴露时间	编号	蚀点数/个	蚀点尺寸/ μm	编号	蚀点数/个	蚀点尺寸/ μm	编号	蚀点数/个	蚀点尺寸/ μm
96 h 第一批	J0-1	3	约50	J1-1	3	约45	J2-1	2	约50
	K0-1	3	约55	K1-1	2	约65	K2-1	4	约65
168 h 第二批	J0-2	3	约175	J1-2	2	约210	J2-2	4	约200
	K0-2	0	/	K1-2	0	/	K2-2	2	约195
240 h 第三批	J0-3	3	约310	J1-3	2	约320	J2-3	2	约320
	K0-3	0	/	K1-3	0	/	K2-3	3	约310
浸泡类型	无浸泡			去离子水浸泡			K ₂ Cr ₂ O ₇ 水溶液浸泡		

表5 湿热试样K2-1能谱检测成分 %

元素	重量百分比	原子百分比
O	8.60	14.01
Na	0.38	0.43
Al	84.65	81.79
Cl	0.93	0.68
K	1.59	1.06
Ca	0.64	0.41
Cr	3.23	1.62
总量	100.00	100

表6 湿热试样J1-3能谱检测成分 %

元素	重量百分比	原子百分比
O	38.97	53.17
Al	53.65	43.40
Si	0.82	0.64
S	0.68	0.47
Cl	1.11	0.69
Cu	4.77	1.64
总量	100.00	100

对湿热试片腐蚀点附近区域进行能谱扫描,结果表明腐蚀点附近出现了 S、Cl 元素。氯化物引起的腐蚀,通过破坏铝合金表层钝化膜后,因界面与基体的化学电位差产生腐蚀,微观表征为开裂形态,在能谱检测中显示 Cl 元素存在,如图 7a、表 5 所示;硫化物引起的腐蚀,微观上常呈现粘着絮状,能谱检测中常可检测到 S 元素存在,如图 7b、表 6 所示。京津地区的空气中常含有少量的氯化物与硫化物等霾颗粒^[5-6]。高湿热气氛,空气中夹杂的氯化物与硫化物易溶于水,通过表面氧化膜吸附水汽与水分子共同渗透、扩散进入铝合金表层,同时 Cl⁻离子能够取代氧化层中的氧,把不溶于水的氧化物变成可溶性氯化物,使钝化态的防护表面变成活性表面,从而引起腐蚀。

4 结束语

去离子水液压循环浸泡试验和恒湿热试验的结果表明:

- a. 去离子水介质液压试验与容积测量过程不会导致 2A14 及 5A06 铝合金发生影响产品质量腐蚀问题;
- b. 经去离子水浸泡和重铬酸钾 (K₂Cr₂O₇) 水溶液

浸泡的 2A14 试片,两者的耐腐蚀性基本相当;经去离子水浸泡的 5A06 试片耐腐蚀性略优于重铬酸钾 (K₂Cr₂O₇) 水溶液浸泡的 5A06 试片;

c. 采用去离子水介质进行 2A14 铝合金贮箱液压试验与容积测量时,应当避免形成高温高湿气氛,以免产生影响产品质量的腐蚀问题。

参考文献

- [1] 任桂林,底广辉,张胜寒. 铝合金在高纯水中的腐蚀概述[J]. 广东化工, 2015, 42(21): 87.
- [2] 钱建才,许斌,邹洪庆,等. 中性盐雾条件下典型铝合金基底层腐蚀行为研究[J]. 材料保护, 2023, 56(4): 74-80.
- [3] 郑洪,彭涛,舒畅,等. 铝合金化学氧化膜盐雾试验后腐蚀点评定方法研究[J]. 装备环境工程, 2021, 18(4): 70-76.
- [4] 李获,郭宝兰,朱墨娴. 水溶液中铝合金缓蚀剂 8108[J]. 材料保护, 1989(6): 35-40.
- [5] 翟增秀,刘迎春,邹克华,等. 天津市环境空气中卤代烃污染特征[J]. 科技导报, 2012, 30(34): 65-69.
- [6] 周兆媛,张时焯,高庆先,等. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 191-197.