

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2019.11.004

# 硫酸-酒石酸钾钠宽温阳极化工艺对 铝合金焊接质量的影响

徐方强\*, 邹松华, 孙 靖, 范全胜, 张 玥, 曹亚杰  
(天津航天长征火箭制造有限公司, 天津, 300462)

**摘要:** 为解决传统阳极化工艺温度较窄的问题, 采用硫酸-酒石酸钾钠宽温阳极化工艺, 在低、中、高温条件下对采用不同焊接方式的铝合金材料进行加工, 研究了宽温阳极化工艺及相关处理方法对于铝合金材料焊接质量的影响。结果表明, 在高、中、低温条件下, 硫酸-酒石酸钾钠宽温阳极化工艺可以保证2219、2A14铝合金焊接后的耐腐蚀性能和力学性能。

**关键词:** 硫酸; 酒石酸钾钠; 宽温阳极化; 焊接

**中图分类号:** TQ153.6

**文献标识码:** A

## Influence of Sulfuric Acid-Potassium Sodium Tartrate Wide Temperature Anodizing on Welding Quality of Aluminium Alloy

XU Fangqiang\*, ZOU Songhua, SUN Jing, FAN Quansheng, ZHANG Yue, CAO Yajie  
(Tianjin Aerospace Long March Rocket Manufacturing Co. Ltd., Tianjin 300462, China)

**Abstract:** To solve the problem of narrow temperature in traditional anodization process, the influence of wide temperatures anodizing and relevant treatment methods on welding quality of aluminium alloy were researched in this paper. Sulfuric acid-potassium sodium tartrate anodizing technique was used to dispose aluminium alloy welded by various procedures at low, middle and high temperature conditions. The results showed that, under high, medium and low temperature conditions, the corrosion resistance and mechanical properties of 2219 and 2A14 aluminium alloys after welding could be guaranteed by sulfuric acid-potassium sodium tartrate wide temperature anodization process.

**Keywords:** sulfuric acid; potassium sodium tartrate; wide temperatures anodization; welding

铝合金材料大量应用于运载火箭、卫星、宇宙飞船等航天器结构件。为保证铝合金材料的耐腐蚀性, 一般需要将材料进行阳极化处理, 可在铝合金表面形成一层具有纳米级微孔结构的氧化膜, 孔隙率高、吸附力强, 有利于染色, 而且抗蚀耐磨<sup>[1]</sup>。

在阳极氧化的过程中, 由于生成 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 是放热反应, 导致氧化过程中释放大量的热, 引起铝表面

温度升高, 进而使得氧化膜多孔层疏松、粉化, 降低氧化膜的耐腐蚀性能<sup>[2]</sup>。另外, 航天用铝合金材料对力学性能有较高要求, 尤其是铝合金焊接后的焊缝部位性能更易受到阳极化处理工艺的影响。

为解决以上问题, 本文引入了硫酸-酒石酸钾钠宽温阳极化槽液体系, 该槽液体系维护简便, 工艺温度范围可达5~35℃, 可以有效降低阳极化生

收稿日期: 2019-09-23

修回日期: 2019-10-10

通信作者: 徐方强, xufqtj@163.com

产过程中的能耗成本,扩展了阳极化工艺的使用范围。本文重点研究了该宽温阳极化工艺和相关处理方法对于铝合金焊接件耐腐蚀性能和力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 实验材料

实验材料:采用尺寸为 230 mm×35 mm 的 2219 材料、2A14 材料焊接试片用于盐雾试验检测(如图 1);采用尺寸为 230 mm×30 mm 的 2219、2A14 材料标准力学性能检测试片用于力学性能测试(如图 2)。

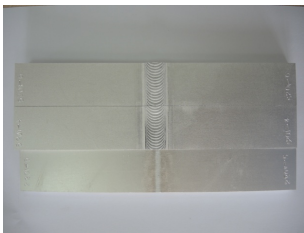


图 1 盐雾试验用焊接试片

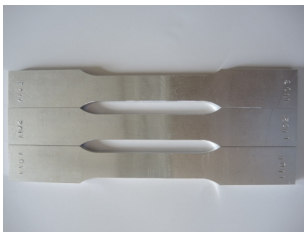


图 2 力学性能检测用焊接试片

1.2 工艺流程

按图 1 和图 2 分别制作出用于力学性能检测和盐雾试验的试片,试片的材料为 2219 和 2A14 两种,采用的焊接方式为搅拌摩擦焊和熔焊(焊接类型如表 1 所示)。

表 1 焊接接头试片类型

序号	材料	焊接类型
1	2219	搅拌摩擦焊
2		熔焊
3	2A14	搅拌摩擦焊
4		熔焊

将以上盐雾试验试片、力学性能检测试片分为 5 类(如表 2 所示)进行阳极化、碱腐蚀等表面处理,并进行对比测试。

采用的铝合金阳极氧化工艺流程为:除油→水

洗→酸洗→水洗→碱腐蚀→水洗→酸洗→水洗→阳极氧化→水洗→填充→水洗。采用的碱腐蚀工艺流程为:水洗→酸洗→水洗→碱腐蚀→水洗→酸洗→水洗。各步骤的具体工艺参数如表 3 所示。

表 2 试片试验分类

试片类型	试片加工流程
类型 1	空白试片,不进行处理
类型 2	碱腐蚀
类型 3	阳极化
类型 4	阳极化—碱腐蚀
类型 5	阳极化—碱腐蚀—阳极化(二次阳极化)

表 3 试验工艺参数

工序	溶液组成	浓度/ (g·L <sup>-1</sup> )	温度/ ℃	处理时 间/min	电压/ V
除油	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30~50	50~60	5~20	—
	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10~20	—	—	—
	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	15~25	—	—	—
酸洗	HNO <sub>3</sub>	200~300	室温	2~6	—
碱腐蚀	NaOH	40~50	40~60	1~3	—
阳极氧化	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	180	15	50	18
	酒石酸钾 钠	50	25	15	14
			35	10	14
填充	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	40~55	90~100	20~30	—

1.3 性能表征

(1)阳极化膜层耐腐蚀性:采用 YWX/Q-250 型中性盐雾试验箱进行盐雾试验。试验按照 QJ 2027 标准进行,试验用盐水浓度为 50 g/L,pH 为 6.5~7.2。

判断标准:经 336 h 中性盐雾试验后,在 0.02 m<sup>2</sup> 试片表面上不能出现 5 个以上的,直径不大于 0.8 mm 的不连续蚀点。

(2)试片力学性能:采用 MTS-810 型电子拉伸试验机检测焊接试片的拉伸强度和延伸率。

(3)膜层厚度:采用 Qnix7500 型膜层测厚仪对试片两面各取 3 点测量膜层厚度,并计算平均值。

2 结果与讨论

2.1 搅拌摩擦焊试片

2.1.1 焊接试片表面状态及耐腐蚀性

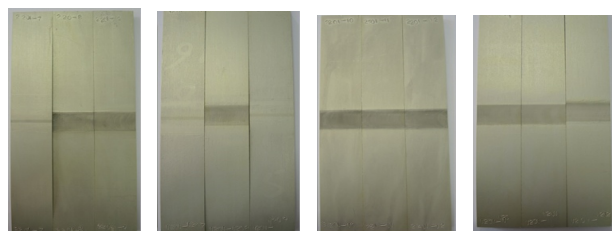
两种铝合金材料搅拌摩擦焊试片经阳极化处理后,力学性能检测试片和盐雾试验试片表面阳极化膜层均匀,无起粉等不允许缺陷。试片焊接接头

部位表面阳极化膜层厚度如表4所示。由数据可知,搅拌摩擦焊试片在经宽温阳极化处理后,同种材料的阳极化膜层厚度均一性较好,宽温阳极化工艺没有对阳极化膜层的厚度有较大影响。

表4 搅拌摩擦焊接接头试片阳极化膜厚度

序号	材料	焊接方式	表面处理方式	膜层厚度/ $\mu\text{m}$		
				15 $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	35 $^{\circ}\text{C}$
1	2219	搅拌摩擦焊	阳极化	11.6	10.7	9.9
2			阳极化-腐蚀-阳极化	11.9	11.1	11.7
3	2A14	搅拌摩擦焊	阳极化	12.0	11.6	13.4
4			阳极化-腐蚀-阳极化	13.2	11.1	12.3

图3为经阳极化、盐雾试验后的试片表面状态。可以看出,搅拌摩擦焊接接头部位表面平整、组织致密,试片表面无明显腐蚀点,试片经阳极化后耐腐蚀性能满足技术条件要求。因此,宽温阳极化工艺可以保证搅拌摩擦焊接接头部位及铝合金基体材料的耐腐蚀性能。



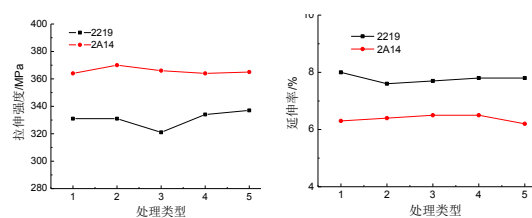
(a) 2219, 一次阳极化 (b) 2A14, 一次阳极化 (c) 2219, 二次阳极化 (d) 2A14, 二次阳极化

图3 搅拌摩擦焊接接头试片经阳极化处理、盐雾试验后状态

### 2.1.2 焊接试片力学性能

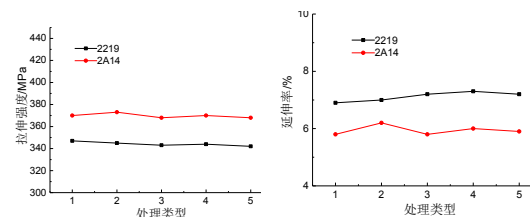
搅拌摩擦焊接试片在不同槽液温度条件下,经5种不同方式处理后,力学性能检测数据如图4所示。由数据可知,各拉伸强度测试结果图纵坐标的序号1~5分别代表空白试样、碱腐蚀、阳极化、阳极化-腐蚀、二次阳极化等5种表面处理类型(与表2中分类相同)。其中,(a)、(b)图中阳极化处理时槽液温度为15 $^{\circ}\text{C}$ , (c)、(d)图中阳极化处理时槽液温度为25 $^{\circ}\text{C}$ , (e)、(f)图中阳极化处理时槽液温度为35 $^{\circ}\text{C}$ 。从图4中可以看出,与空白试样对比,经过腐蚀、阳极化、阳极化-腐蚀、二次阳极化处理后的焊接接头试样在拉伸强度和延伸率上没有较大变

化。并且,2219材料焊接接头拉伸强度不小于220 MPa,延伸率不小于3%;2A14材料焊接接头拉伸强度不小于235 MPa,延伸率不小于3%。因此,宽温阳极化工艺及相关处理方法可以保证2219和2A14材料搅拌摩擦焊接头的力学性能要求。



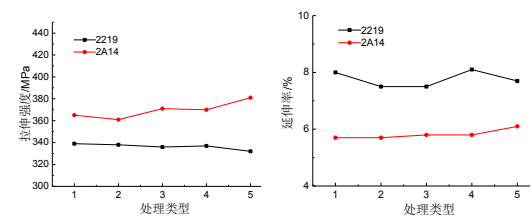
(a) 阳极化温度为15 $^{\circ}\text{C}$ 时拉伸强度

(b) 阳极化温度为15 $^{\circ}\text{C}$ 时延伸率



(c) 阳极化温度为25 $^{\circ}\text{C}$ 时拉伸强度

(d) 阳极化温度为25 $^{\circ}\text{C}$ 时延伸率



(e) 阳极化温度为35 $^{\circ}\text{C}$ 时拉伸强度

(f) 阳极化温度为35 $^{\circ}\text{C}$ 时延伸率

图4 搅拌摩擦焊接接头试片拉伸强度和延伸率数据对比图

## 2.2 熔焊

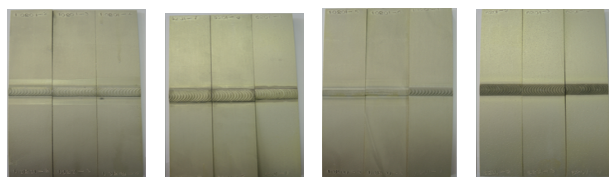
### 2.2.1 焊接试片表面状态及耐腐蚀性

两种铝合金材料熔焊试片经阳极化处理后,力学性能检测试片和盐雾试验试片表面阳极化膜层均匀,无起粉等不允许缺陷。且试片焊接接头部位表面阳极化膜层厚度数据如表5所示。由数据可知,因材料不同,2219材料阳极化成膜速度要大于2A14材料阳极化成膜速度,使得前者膜层厚度要大于后者。同种材料、同种方式处理后的试片阳极化膜层均一性较好,宽温阳极化工艺没有对阳极化膜层的厚度有较大影响。

表5 熔焊接头试片阳极化膜厚度

序号	材料	焊接方式	表面处理方式	膜层厚度/ $\mu\text{m}$		
				15℃	25℃	35℃
1	2219	熔焊	阳极化	18.2	16.3	16.7
2			阳极化—腐蚀—阳极化	20.8	20.6	19.3
3	2A14	熔焊	氧化	12.0	11.3	11.9
4			阳极化—腐蚀—阳极化	14.0	13.9	11.6

图5为经阳极化、盐雾试验后的熔焊试片表面状态。可以看出,焊接接头部位组织致密,试片表面无明显腐蚀点,试片经阳极化后耐腐蚀性能满足技术条件要求。因此,宽温阳极化工艺可以保证熔焊接头部位及铝合金基体材料的耐腐蚀性能。



(a) 2219, 一次阳极化 (b) 2A14, 一次阳极化 (c) 2219, 二次阳极化 (d) 2A14, 二次阳极化

图5 熔焊接头试片经阳极化处理、盐雾试验后状态

### 2.2.2 焊接试片力学性能

熔焊试片在不同槽液温度条件下,经5种不同方式处理后,力学性能检测数据如图6所示。由数据可知,各拉伸强度测试结果图纵坐标的序号1~5分别代表空白试样、碱腐蚀、阳极化、阳极化-腐蚀、二次阳极化等5种表面处理类型(与表2中分类相同)。其中,(a)、(b)图中阳极化处理时槽液温度为15℃,(c)、(d)图中阳极化处理时槽液温度为25℃,(e)、(f)图中阳极化处理时槽液温度为35℃。从图中可以看出,与空白试样对比,经过腐蚀、阳极化、阳极化-腐蚀、二次阳极化处理后的熔焊接头试样在拉伸强度和延伸率上没有较大变化。2219材料焊接接头拉伸强度不小于220 MPa,延伸率不小于3%;2A14材料焊接接头拉伸强度不小于235 MPa,延伸率不小于3%。因此,宽温阳极化工艺及相关处理方法可以保证2219和2A14材料熔焊接头的力学性能要求。

综合搅拌摩擦焊和熔焊两种试片经宽温阳极化及相关处理方法进行加工之后的力学性能检测结果,可以看出以上表面处理方法主要是对材料表

面产生了影响,并未对材料内部的结晶及力学性能等产生影响,因此以上处理方法可以应用于2219、2A14材料焊接件的防腐蚀处理。

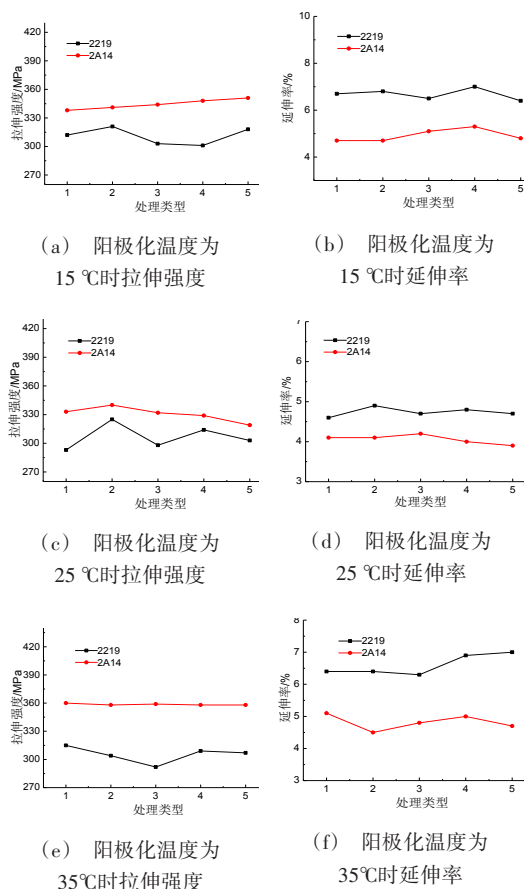


图6 熔焊接头试片拉伸强度和延伸率数据对比图

## 3 结论

(1)采用硫酸-酒石酸钾钠宽温阳极化工艺对2219、2A14材料分别进行处理后,与空白试样相比,一次和二次阳极化后焊接接头耐腐蚀性满足336 h中性盐雾试验要求,可以达到与普通硫酸阳极化工艺同样的效果。

(2)采用以上宽温阳极化工艺、碱腐蚀工艺等对搅拌摩擦焊、熔焊试样进行处理后,可以保证铝合金材料的力学性能,满足相关技术要求。

### 参考文献

- [1] 王艳芝. 铝及其合金阳极氧化技术研究的进展[J]. 材料保护, 2001, 34(9): 23.
- [2] 干建群, 张敏, 刘言平, 等. 添加剂在铝宽温阳极氧化中的应用研究进展[J]. 广州化学, 2009, 34(4): 55-58.