

# 5A06 铝合金薄壁贮箱焊接

王继长, 向彦君  
(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

**摘要:** 材料为 5A06 铝合金的贮箱组件存在壁薄、结构复杂、尺寸大且容易变形, 在试验中多次出现低压力爆破现象。为提高焊缝强度, 满足产品焊接质量要求, 对焊接工艺过程中焊接线能量对强度的影响进行了分析, 对比了变极性手工 TIG 与自动 TIG 焊接方法, 并改进了焊接结构。试验采取的措施有效地提高了产品的焊缝强度, 满足了产品焊接质量要求。

**关键词:** 5A06 铝合金; 铝合金贮箱; 铝合金薄板焊接

**中图分类号:** V431-33

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2010) 05-0050-04

## Welding technology of 5A06 Al alloy thin-wall tank

WANG Ji-chang, XIANG Yan-jun  
(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Thin-wall and easy-deformed 5A06 Al alloy tank assembly with complex structure and large volume bursted under low pressure for several times in the tests. The effect of welding heat input on the tank strength is analyzed to enhance the strength of welded seams and meet the quality requirement of the products. The manual TIG welding with changeable polarity and automatic TIG welding are compared. The welding structure was improved. It proves that the welding strength of the tank is increased significantly.

**Keywords:** 5A06 Al alloy; Al alloy tank; Al alloy thin-plate welding

## 0 引言

5A06 铝合金薄板焊接常采用钨极氩弧焊 (TIG), 由于焊接参数和条件变化, 易在焊缝及热影响区中形成各种焊接缺陷, 焊接接头强度不高, 或者同一条焊缝上不同部位取多个试样进行拉伸试验, 强度散差较大。为此, 通过不断试验, 调整焊接工艺, 优化焊接工艺方法及参数,

综合运用变极性 TIG 与自动 TIG, 改进焊接结构, 解决了焊接质量问题。

## 1 焊接结构及要求

薄壁铝合金贮箱采用 3 mm 厚 5A06-0 铝合金材料, 结构尺寸较大, 焊接难度较大, 贮箱壳体外部有法兰和接头等焊接构件, 内部有安装支座、挡板、管-管端接头及其他焊接构件。产

收稿日期: 2010-02-15; 修回日期: 2010-06-17

作者简介: 王继长 (1982—), 男, 助理工程师, 研究领域为焊接技术

品焊接结构有对接和角接两种结构形式, 舱壳用纵缝对接结构, 舱壳与舱壳连接采用对接结构, 舱壳上的小接头与舱壳采用角接结构。

贮箱技术指标分别从 X 光检查、整体焊缝强度、液压试验及气密试验等方面, 对焊接质量提出的要求。

1) 焊接技术标准要求所有对接焊接焊缝, 均要求按 QJ2698-95 I 级进行 X 光检查。

2) 液压、气密试验要求先进行 0.6 MPa 液压试验、0.45 MPa 气密试验; 然后充 0.3 MPa 气体, 用氦质谱检漏仪检查所有焊缝, 单点检测要求漏率不大于  $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

3) 液压爆破试验要求先进行从 0 MPa~0.6 MPa~0 MPa (表压) 的循环液压试验, 然后增加压直至贮箱爆破, 爆破压力值不小于 1.6 MPa。

## 2 焊前工艺准备及缺陷控制

铝合金化学活泼性强, 焊接时易形成氧化铝, 造成氧化铝薄膜夹渣缺陷, 使强度降低; 焊接时熔池很容易吸收气体产生气孔缺陷, 为消除这两类缺陷, 按照常规焊前准备工艺, 进行化学清洗、机械清理, 然后开始焊接, 焊缝中氧化铝夹渣和气孔缺陷仍然存在。经分析机械清理时只清理了薄板的对接处, 而未清理焊缝附近区域; 化学清洗、机械清理后, 没有及时焊接, 待焊接部位可能又重新产生氧化膜或者被再次污染。

再次进行焊接试验时, 将待焊接部位机械清理到露出铝合金的金属光泽为止, 并且清理范围扩展到焊缝附近 15 mm 内。在控制焊接流程中, 化学清洗、机械清理及焊接三个流程的时间关系。化学清洗、机械清理及焊接三个流程必须在 24 h 内进行, 并且机械清理后 8 h 内, 必须焊接结束, 防止待焊接部位再次被污染。

焊前准备工艺改进后, 焊接后焊缝经 X 光检查, 完全消除了气孔、氧化膜夹渣缺陷。

## 3 焊缝强度的提高

影响贮箱焊缝强度的因素有多种, 多次试验

表明, 除气孔、氧化膜夹渣及裂纹等各种焊接缺陷会直接降低焊缝强度; 焊接方法和焊接参数 (焊接电流、焊接速度及热输入等参数) 也会影响焊缝强度。

在最初焊接试验时, 焊接接头的抗拉强度 ( $\sigma_b$ ) 低, 平均为 280~290 MPa, 为提高焊接强度, 从焊接线能量和焊接方法等方面进行了研究, 焊接接头的平均抗拉强度提高到 317 MPa。

### 3.1 线能量对强度的影响

多次试验表明: 采用同一焊接方法焊接相同结构的焊接接头, 抗拉强度还与焊接热输入有关。

焊接热输入一般用焊接线能量表示:

$$E = \eta \frac{UI}{v} \quad (1)$$

式中:  $E$  为焊接线能量, J/cm;  $\eta$  为焊接热效率系数;  $U$  为焊接电压, V;  $I$  为焊接电流, A;  $v$  为焊接速度, cm/min。

根据公式 (1), 焊接线能量与焊接热效率系数、焊接电压及电流成正比, 与速度成反比。在同一焊接条件下, 焊接热效率系数可看作是恒定的; 焊接电压变化不大, 在实际焊接过程中, 焊接电压在 10~13 V 之间变化。因此焊接线能量主要由焊接电流和速度决定。

在焊接中, 试验通过研究焊接线能量和抗拉强度之间的关系, 最终找到最优化的焊接参数, 焊缝强度明显提高。

试验中, 采用手工 TIG 焊在 6 种焊接电流 (60 A、65 A、70 A、75 A、85 A、100 A) 下焊接 400 mm×150 mm×3 mm 试板, 对应每种电流下焊接 3 组试板, 共 18 组, 每组取样三件做拉伸试验, 每组抗拉强度取其平均值 (如图 1)。

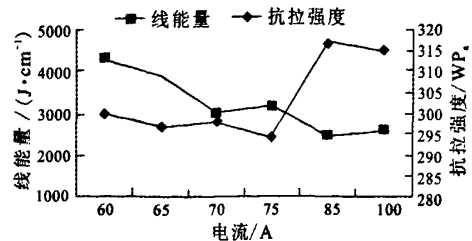


图 1 焊接线能量与抗拉强度的关系

Fig. 1 Welding heat input versus tensile strength

在实际焊接过程中, 每种电流只能对应相应范围的焊接速度, 即在一个定值焊接电流下焊接试验件, 焊接速度只能在一定大小范围内变动, 否则焊接不出合格的焊缝。所以在进行数据分析时, 焊接速度不出现在图 1 中。

在电流从 60 A 到 100 A 的变化过程中, 速度的增加幅度要远大于电流的增加幅度, 因此线能量随焊接电流的增大而减小。

同时试验结果 (图 1) 表明, 线能量在 3100~4300 J/cm 之间, 抗拉强度变化不大; 随着线能量的进一步降低 (在 2400~2600 J/cm 之间), 抗拉强度大幅提高, 焊接参数为 85 A、100 A, 线能量较低的两组试样, 抗拉强度较高。

### 3.2 焊接方法的改进

在手工 TIG 焊接试验中, 多次试验表明: 尽管完全消除各种焊接缺陷, 也使用较低线能量, 铝合金贮箱在多次液压爆破试验中也同样达不到爆破压力。为此, 针对纵贮箱焊缝, 采用自动化纵缝焊接设备, 焊接质量得到很大的提高。

#### 3.2.1 焊缝外观

图 2 所示的焊缝均为按 QJ2698-95 I 级进行 X 光检查合格后的焊缝, 通过观察 5A06 铝合金焊接接头可以明显看出: 两条焊缝正面焊缝表面光亮, 且呈鱼鳞状分布, 但自动 TIG 焊焊缝成形明显更好。

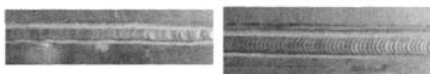


图 2 手工、自动焊焊缝

Fig. 2 Manual, automatic TIG welding

#### 3.2.2 拉伸试验

为了考察铝合金焊接接头在常温下的力学性能, 按照相关国家标准, 将手工变极性 TIG 焊和自动 TIG 焊铝合金焊接接头分别加工成拉伸试样, 将试样焊缝反面打磨平, 分别从两条经 X 光检查合格的 1200 mm 长的焊缝上各取 17 个试样, 取其平均值作为焊接接头性能的评定数据, 同时

对 5A06 铝合金母材进行拉伸测试, 母材抗拉强度为 367 MPa。

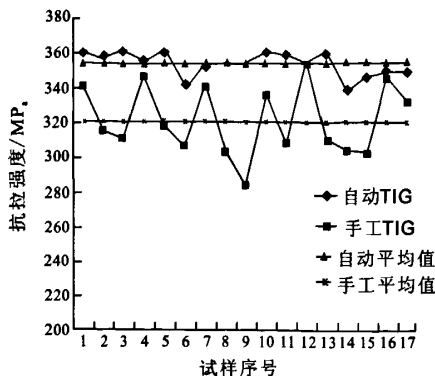


图 3 焊缝抗拉强度比较

Fig. 3 Comparison of weld tensile strength

通过对图 3 中焊接接头的性能数据进行比较和分析表明: 自动 TIG 焊接的试验件抗拉强度相比手工变极性 TIG, 有明显提高。

手工变极性 TIG 焊接接头, 抗拉强度在 284~357 MPa 之间, 平均值为 321 MPa, 抗拉强度在母材的 87.5% 以上, 最小值偏离均值达到 11.5%。这是因为手工焊接接长纵缝时, 焊接参数很难保证一致性, 导致焊缝抗拉强度散差较大。

采用自动 TIG 的焊接接头试样, 抗拉强度在 339~361 MPa 之间, 平均值为 354 MPa, 抗拉强度达到母材 96.5% 以上, 最小值偏离均值只有 4.2%。显而易见整条焊缝的力学性能由 284 MPa 提高到 339 MPa 以上, 力学性能提高了 19% 以上; 抗拉强度波动范围由 11.5% 下降到 4.2%, 强度值保持高度均匀一致性。

#### 3.2.3 焊缝显微组织

对手工 TIG 焊焊缝和自动 TIG 焊焊缝取样进行金相观察。与手工 TIG 焊焊缝相比, 自动 TIG 焊焊缝组织晶粒明显细化, 自动 TIG 焊工艺使得工件在更加稳定的条件下承受热循环, 不仅焊缝成形更美观, 而且组织更为致密, 晶粒更为细化, 抗拉强度得到明显提高。从 5A06 铝合金母材以及焊接接头拉伸试样拉断后的外观可以看出: 母材金属沿 45° 方向被拉断, 而焊接接头均在焊缝中心或热影响区被拉断, 母材金属和焊接接头断

口附近均有较明显的塑性变形。

铝合金贮箱所有焊缝因结构原因,不可能全部应用自动焊,为此贮箱焊接采用了手工TIG焊与自动TIG焊相结合。贮箱纵缝的焊接容易实现自动TIG焊,并且从多次贮箱液压爆破试验看,纵缝破裂次数多,属于薄弱环节,所以纵缝焊接采用自动TIG焊,而各筒段之间的对接环焊缝及其他焊缝采用手工变极性TIG焊,经过1:1试件的试制和正式产品的研制,贮箱承压能力明显增强,液压爆破试验压力比设计要求值高14%。

#### 4 焊接结构的改进

铝合金贮箱是两舱式结构,前舱和后舱用隔板分开,同时外围的壳体:前舱壳、后舱壳、隔板又通过焊接,连接成一个整体。与前、后舱壳焊接处的隔板结构如图4所示。

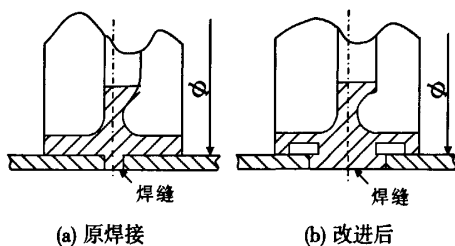


图4 焊接结构

Fig. 4 Welded structure

改进前,在试验时,此处环焊缝整周分布有气孔,有多处未焊透、未熔合等缺陷,焊接工艺性差,并且在液压爆破试验中,从前、后舱壳环焊缝处开裂,爆破压力仅为1.35 MPa整个贮箱一分为二,爆破后的焊缝上气孔缺陷清晰可见。

经过试验,改进焊接结构后如图10,经过爆破试验,经X光按QJ2698-95 I级检查,焊缝合格率达到100%,完全消除了气孔、未焊透、未熔合等各种缺陷,爆破压力达到1.83 MPa。焊接结构可焊性和贮箱强度均得到提高。

经多次焊接试验后,从整体外形尺寸、液压试验、气压试验、氦质谱检漏试验、液压爆破试验、贮箱运输试验及振动试验到两次热试车试验等指标,产品性能满足设计要求和使用要求。

#### 5 结论

1) 焊接前,待焊部位氧化膜经过化学清洗和机械清理,并且在处理后8 h内焊接,能消除气孔、氧化膜夹渣缺陷。

2) 手工TIG焊接3 mm厚的5A06铝合金对接焊缝时,电流控制在85~100 A之间,线能量控制在2400~2600 J/cm之间,焊接接头的抗拉强度较高。

3) 3 mm厚5A06铝合金 $\geq 1000$  mm的长纵缝,自动TIG焊接接头比手工变极性TIG成形美观、焊缝组织晶粒细化并且接头平均抗拉强度提高了10.3%,抗拉强度值散差由12%下降到4%。

4) 经过试验,改进后的焊接结构,焊接性明显提高。

#### 参考文献:

- [1] 公永建,吴金杰,周慧琳. 防锈铝合金的钨极氩弧焊[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2005, 13(5): 7-9.
- [2] 汤小红,胡泽豪. 机车用防锈铝氩弧焊工艺性能研究[J]. 电焊机, 2001, 30(4): 30-31.
- [3] 杨志中. 铝合金阀门手工钨极氩弧焊技术研究[J]. 阀门, 2006(6): 18-20.
- [4] 李建钢. 铝及铝合金的手工钨极氩弧焊操作实践[J]. 包头职业技术学院学报, 2005, 6(3): 15-16.
- [5] 吴伦山. 手工钨极氩弧焊焊接铝及铝合金焊缝气孔的研究[J]. 机械工人(热加工), 2004(6): 10-12.
- [6] 彭非,楚浩,杨兵. 5A06铝合金油箱氩弧焊热影响区裂纹分析及预防措施[J]. 电焊机, 2007, 37(7): 34-37.
- [7] 刘冬梅,李升. 汽车用铝合金氩弧焊接质量的控制方法[J]. 轻金属, 2001(7): 55-57.
- [8] 葛维龙,高建平,曹霞. 磁悬浮列车铝合金车体制造及焊接工艺研究[J]. 城市车辆, 2001(5): 40-42.
- [9] 李建国. 双面不对称氩弧焊对消除铝合金焊接缺陷的作用[J]. 金山油化纤, 2004, 23(4): 55-58.
- [10] 范美强,曾巨澜,邹勇进,等. 铝水推进剂用铝基复合材料的制备及性能研究[J]. 固体火箭技术, 2007, 30(6): 510-513.

(编辑: 马 杰)