

# 自动化焊接技术在中厚钢环缝焊接中的应用

张国军 李国均 邱凯 安志恒 江晨

(上海航天精密机械研究所, 上海 201600)



**摘要:** 简述了产品的结构特点、技术要求, 分析了材料焊接性及生产局限性, 针对关键工序, 提出了自动 P-TIG 的工艺方法, 从工艺参数、力学性能、氩气变化等方面进行了产品焊接试验, 确定了合适的工艺参数, 批量生产表明, 该工艺方案完全适合于产品的生产。

**关键词:** 30CrMnSiA; 成形控制; P-TIG

## Application of Automatic Welding Technology in Circle Welding of Medium Thick Steel

Zhang Guojun Li Guojun Qiu Kai An Zhiheng Jiang Chen

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600)

**Abstract:** This paper introduces the structure characteristics and technical requirements of products, and analyzes the weldability of material and process limitation. For key procedures, the process method of automatic P-TIG is put forward. The welding experiment of the product is carried out from the aspects of process parameters, mechanical properties, argon gas change, etc. The suitable process parameters are determined. Batch production shows that the process scheme is completely suitable for the production of the product.

**Key words:** 30CrMnSiA; forming control; P-TIG

### 1 引言

在航天制造领域, 随着产能提升和新型号的涌现, 焊接部件可靠性的要求也越来越高。焊接工艺由实施的可行性逐步向成功率及高效率需求转变。

贮气罐是某型号关键部件, 材料为 30CrMnSiA 低合金高强度钢。产品在服役状态下承受较高的压力, 对焊接质量要求较高。在对焊接后的产品进行无损检测时, 发现一次合格率很低, 缺陷产生率较高。在焊接接头中常出现未焊透、未熔合、焊瘤等缺陷, 并且产品焊接难度较大, 对焊工的临场技能状态依赖性较大, 单日出产量仅为 3 个, 伴随着型号任务量的剧增, 瓶颈严重制约着科研生产的进度。

### 2 贮气罐焊接技术要求及缺陷分析

#### 2.1 贮气罐结构

贮气罐主体部分包括罐体及罐盖, 通过对接环缝连接成为一个整体。罐体和罐盖均采用自由锻件毛坯件车削而成, 材料为 30CrMnSiA, 比强度和硬度均较高, 具有较大的淬透性, 焊接性较差, 需要采取焊前预热、焊后缓冷及消除应力等措施。焊接边厚度为 7mm, 内径尺寸为  $\Phi 92\text{mm}$ 。如图 1 所示。



图 1 贮气罐焊缝结构示意图

焊接后焊缝质量要求符合 QJ 1842A—2011 II 级焊接接头质量要求, 同时通过强度为 25MPa 水压试验, 焊缝两侧的基体与焊缝过渡均匀, 错位量控制严格,

内表面不能氧化。

## 2.2 产品缺陷分析

由于结构原因,贮气罐采用单面焊双面成形的工艺方案,坡口加工形式为“Y”型,单边 $30^{\circ}$ ,钝边规格为2mm。

焊接采用手工TIG送丝打底+盖面2层焊接,第一层打底焊主要是为了保证单面焊双面成形。按照焊前

预热、焊后去应力等相关要求生产<sup>[1]</sup>。具体流程为加工坡口→预热到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ →焊接罐体和罐盖→2h内退火去应力→调质热处理。

焊接后进行无损检测,发现焊接接头内部存在未熔合、未焊透。采用内窥镜检查接头背后,发现存在焊瘤、内部凹陷。如图2所示。



图2 未焊透、焊瘤缺陷、内部凹陷焊接缺陷

分析整个焊接过程,发现产生缺陷的原因是:

a. 贮气罐焊接边厚度为7mm,打底焊接质量至关重要,由于两边坡口较窄,装配为零间隙,为了保证焊透,在生产中需要采用大电流,手工焊接时,若手工移动速度不稳,手势不当或电弧发生偏吹,就会产生焊瘤、未焊透、未熔合缺陷<sup>[1]</sup>。

b. 焊接时背部通氩气保护,为了实现全保护,焊接背后氩气流量值为 $10\text{L}/\text{min}$ ,保护气流量值高,随着焊接进程的进行,气体温度逐步升高,压力值增大,远大于熔池的重力,液态结晶成形时,在表面张力及内部压力作用下,形成反面凹陷。

c. 组合件结构的限制,内型面难以采用打磨的方式修整,补焊极难进行,缺陷难以排除。

综上所述,产生焊接缺陷的原因是手工焊接的稳定性和气体压力随焊时波动,初步分析得出,影响最终焊接质量的因素是焊接工艺。

## 3 工艺解决方案及试验

### 3.1 焊接工艺和参数试验

30CrMnSiA的碳当量高达0.73%,含合金元素多,产生裂纹的倾向较大。钨极脉冲氩弧焊比连续焊热输入少,热循环得到改善,减少了晶粒长大倾向和淬硬区范围,有利于降低裂纹的产生,对于30CrMnSiA具有较好的适应性。

表1 焊接工艺参数

| 基值电流/A | 峰值电流/A  | 占空比/% | 焊接速度/ $(^{\circ})\cdot\text{min}^{-1}$ | 电弧电压/V | 频率/Hz | 氩气流量/ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ | 送丝速度/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ |    |
|--------|---------|-------|----------------------------------------|--------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|----|
| 60~70  | 160~180 | 50    | 85~97                                  | 7~9    | 2~3   | 10~1                                 | 600                                   | 打底 |
| 50~65  | 140~160 | 50    | 70~80                                  | 8~11   | 1~2   | 10~1                                 | 550                                   | 盖面 |

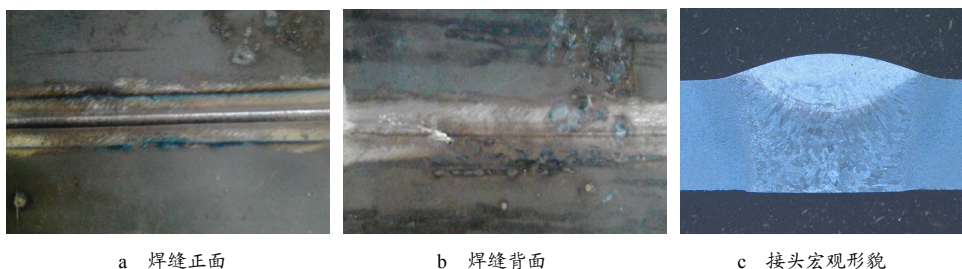


图3 焊接接头质量

脉冲焊接过程中的峰值、基值电流交替作用在焊接接头上,峰值电流保证熔深,基值电流优化焊缝成

型。焊接参数如表1所示,焊丝选用H08Mn2SiA。

焊接后的试板如图3所示,焊缝通过试板试验可

以发现,焊缝正面成型饱满,焊接接头背后焊漏均匀一致,焊缝打底层和盖面层分界明显,分析是打底层的二次受热所致,接头内部未发现缺陷<sup>[2]</sup>。

### 3.2 力学性能测试

表2 焊接接头力学性能

| 序号  | 抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$ | 延伸率平均值 $A/\%$ |
|-----|-----------------------|---------------|
| 1   | 1122                  | 15            |
| 2   | 1134                  | 15            |
| 3   | 1044                  | 14.2          |
| 平均值 | 1100                  | 14.8          |
| 母材  | 1150                  | 15            |

以试板焊缝为中心,垂直于焊缝方向切割制取标准拉伸试样,制取3个试件,接头抗拉强度及断后伸长率如表2所列,获得的焊接接头抗拉强度平均为1100MPa,约为30CrMnSiA母材的95.7%,符合QJ1842A—2011 II级焊接接头的力学要求。

### 3.3 背面氩气保护

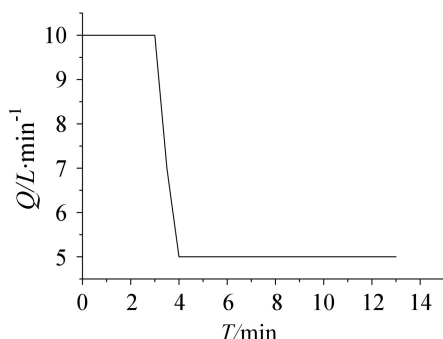


图4 背后保护气压力曲线

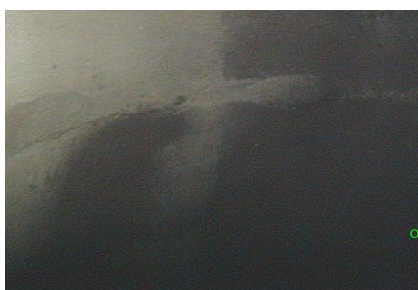


图5 改进后焊缝内表面

为了防止在焊接过程中氩气的压力随温度升高而增大对熔池的影响,设计了随焊渐变式的压力曲线。如图4所示,焊接开始前调大氩气流量,通氩气3~

4min,空气排完后再焊接,焊接开始时将氩气流量降至4~6L/min,随着焊接过程的进行,将数值逐步降至3~4L/min。实现焊接时内部充氩气保护。焊接后的结果如图5所示,焊接后内部未出现发黑的氧化色,焊漏成型圆滑,未出现凹进母材的情况。

## 4 试验件及产品生产情况



图6 贮气罐产品打底、盖面后焊缝外表面

采用自动脉冲钨级氩弧焊工艺进行了贮气罐组件的试生产,打底焊接后产品焊透,外表面成型良好,内部保护优良,不存在表面气孔、夹钨等现象,盖面焊接后焊缝外观鱼鳞纹均匀,宽度均匀一致,如图6所示。随后生产了10件贮气罐,情况如下:

a. 焊缝X光检测:采用新工艺生产的产品,未出现未焊透、未熔合及焊瘤等缺陷,满足QJ1842A—2011 II级要求,10条焊缝一次交检合格率达到100%。

b. 强度试验:对10件产品进行了25MPa水压试验,保压5min后,焊缝不存在渗漏,产品全部合格。

c. 生产效率:单日报产量可达10~15个,效率是原先工艺的2~3倍。

## 5 结束语

采用自动P-TIG自动焊工艺后,解决了贮气罐手工焊接时未熔合、未焊透、焊瘤缺陷发生率高、产能不足的问题,完全消除了手工焊接时缺陷问题。

## 参考文献

- 1 杨学勤. 某型号30CrMnSiA气瓶焊接裂纹的研究[J]. 上海航天, 1996
- 2 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002