

小型高压储气装置焊接反变形研究

王国欣^[1] 戚居良^[2]

(1. 沈阳职业技术学院, 辽宁 沈阳 110000;
2. 沈阳航天新光集团有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要 为增加高压气源装置的储气量, 沈阳航天新光集团有限公司开发出了双瓶结构的小型高压储气装置。将小型高压储气装置两个高压钢瓶平行排列, 使用导管焊接以实现导通。但因为焊接变形双瓶结构的平行结构在固定架焊接后难以保证平行, 为了焊接变形双瓶结构的平行结构在固定架焊接后保证平行, 本文针对气瓶的外形结构进行了焊接变形控制方面的研究。

关键词 焊接 变形 储气装置

中图分类号: TG4

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)11-0016-03

1 前言

随着经济社会的发展, 航天工业取得了日新月异的变化, 对质量的要求不断提高。所以, 航天工业的装备制造企业在完成生产目标的同时, 对质量要求不断提高, 控制企业各方面的成本力度不断加强, 尽量满足客户需要。通过调整产品多元化, 提升自身企业的综合竞争力, 使企业在国内外的激烈的竞争中立于不败之地。符合生产要求的焊接夹具, 应具有良好的可靠性和实用性, 同时可以保证产品的品质。良好的焊接夹具的设计既能保证零件的性能, 也能让生产效率得到较大提高。因此, 在焊接过程中, 为保证焊件获得良好的性能, 焊接夹具设计的合理性非常必要^[1]。优秀的焊接夹设计, 对提高产品的生产规模、品质和效率密切相关。

研究专用焊接夹具当今主要以分散的设计为主, 并未有完善的设计体系。当今社会, 数控加工中心使用更加频繁, 机床加工技术得到了全面的发展, 技术逐渐变得成熟。因为专用夹具针对性较强且较复杂, 如果重复利用会有较多的因素影响, 所以总体上发展相对较慢。国内主要以高校和企业合作研究汽车焊接夹具和航空焊接夹具 CAD 系统为主。兰州理工大学的王政老师通过 AutoCAD 软件, 在 Windows 系统下, 制作出具有三维参数化 CAD 系统的焊接夹具^[2], 并利用 PRO/ENGINEER, 实现了第一、二类杠杆-铰链焊接工装夹具的设计^[3]。北京航空航天大学开发的汽车焊接夹具 CAD 系统^[4], 计算出了焊接夹具在设计过程中可能得到的误差, 为未来焊接夹具设计提供了技术帮助。

由于航空航天飞行器内部空间狭小, 某些机械传动装置不适合使用电力驱动方式提供动力, 而是借助

于高压储气装置进行机构运转和局部增压。而此类高压储气装置多为一类压力容器, 焊接质量要求又非常高。如果无法设计出合理的焊接加工的专用夹具, 那么产品就无法生产。同时, 高压储气装置的外形控制需要在焊接夹具的设计上花费大量时间。如何能合理地设计出焊接夹具, 成为新光公司迫切需要解决的问题。

然而这些系统的针对性强, 局限性较为明显, 没有能够提供一个完整的设计系统, 以支持整个焊接夹具的设计过程, 进而实现其自动化。对于类似于本研究项目的外形复杂的产品也往往会忽略一些可能产生的干涉甚至尺寸计算错误, 导致焊接夹具返修难度增加甚至报废, 严重拖慢生产进度, 影响产品交付。

随着航空航天高压气源装置结构的不断发展与优化, 为了适应新的安装需求, 提高高压气源装置的储气量, 公司开发出了双瓶结构的小型高压储气装置, 该产品将两个高压钢瓶平行排列并使用导管焊接以实现导通的目的。但因为焊接变形双瓶结构的平行结构在固定架焊接后难以保证平行, 所以本次研究针对气瓶的外形结构进行了焊接变形控制方面的研究。

2 产品外形结构分析

高压储气装置的两个不锈钢气瓶(材料为沉淀硬化不锈钢 15-5PH)与两片安装板(板厚 2.5mm, 材料为奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti)焊接后需要加工 4 处 $\phi 6.5$ 安装孔, 要求两对安装孔的中心线间距为 $389 \pm 0.5\text{mm}$, 安装板 1 上 2 个 $\phi 6.5$ 安装孔间距 46 ± 0.3 , 安装板 2 上 2 个 $\phi 6.5$ 安装孔间距 46 ± 0.3 。

目前从已进行的试验发现, 焊接工序因为焊缝的收缩会造成气瓶长度变短, 而热处理工序使瓶体的应力得到释放进而使气瓶长度变长。如果按现有的焊接

表1 两种材料导热率对比

类型	钢号	导热率 λ (100℃) / $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$
沉淀硬化不锈钢	15-5PH	0.19
奥氏体不锈钢	1Cr18Ni9Ti	0.16

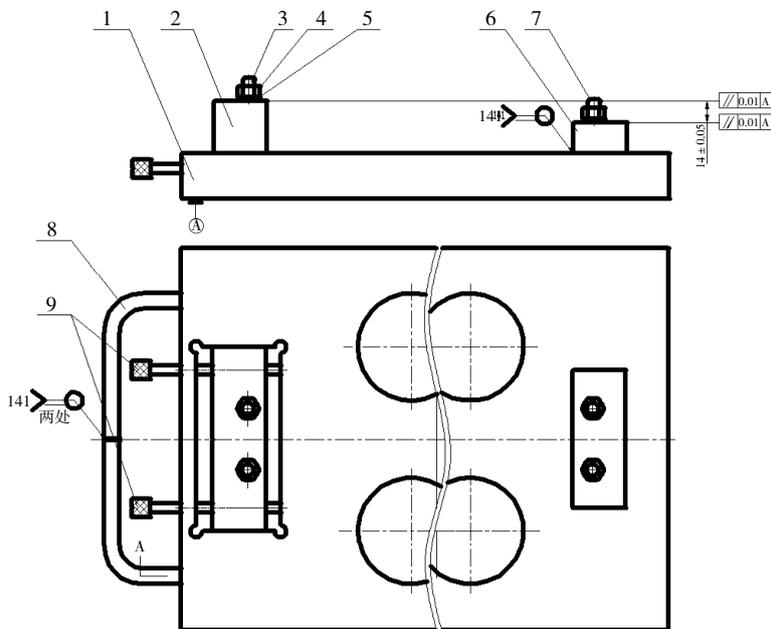


图1 焊接定位夹具

及热处理方法没有摸索各工序对瓶体的变形影响, 安装板1与安装板2的间距尺寸会存在超差的风险, 如安装板间距过大或过小可能会导致两对安装孔无法保证按要求打在设计要求的区域, 造成产品不合格。

3 焊接变形分析

已知的常见焊接结构件焊接变形机理分为以下几种:

1. 金属在高温下性能的变化。如低碳钢在 $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 以上就失去弹性, 很小的力就能引起塑性变形。

2. 不均匀加热产生的变形。因焊接是一个局部冶金过程, 结构件在不同的位置、时间上受热、冷却的条件都不一样, 因此极易在焊接过程中产生变形。

3. 不同材料相变时性能的变化。不同材料的线膨胀系数、导热率均存在很大差异, 多用单件组合而成的结构件在加热、冷却过程中产生的变形量影响组件的总体变形量。

4 反变形方案设计

4.1 焊接参数影响验证

考虑到不锈钢气瓶与2片安装板的材料存在差异, 如表1所示。

在焊接过程中, 如果电流过大则会发生焊丝和瓶体还未完成熔合, 但不锈钢安装板却已经烧塌。这一方面是因为瓶体部分散热面积较大, 瓶体的金属导热率相对较高(如表1所示), 升温慢; 另一方面不锈钢环的局部点只能靠空气散热, 升温过快。为了解决该问题, 本次研究将加厚安装板的板厚到4mm, 提高安装板强度的同时, 可以在安装板增加体积后减缓安装板的升温速率, 从而改善焊接性, 减小焊接变形量。

4.2 焊接定位夹具设计

由于在数控加工安装板的过程中, 两个 $\phi 9$ 的减重孔可以由程序保证两个孔的中心线与安装板的棱边平行, 那么只要在定位夹具上利用两对中心线平行的圆柱销将安装板固定即可保证安装板的平行。为了保证两对安装孔的加工面的平面度与平行度, 定位夹具需要将这两对安装孔的加工面贴合工装进行定位。

定位夹具的件3与件7分别为定位夹具上的4个定位螺栓, 将安装板的 $\phi 9$ 穿过定位螺栓后用螺母固定, 这样气瓶的安装板的安装孔加工面就完全贴合在件2与件6的顶面。依靠着气瓶自身的重力和4个螺母的锁紧, 定位焊安装板与气瓶的结合位置时, 气瓶的各

表2 试棒与试环焊接参数验证

组别	焊接电流	是否与热	着色检查结果
1	30A	是	合格
2	30A	否	合格
3	50A	是	合格
4	50A	否	合格

表3 瓶体长度尺寸数据统计

瓶体长度尺寸数据统计					要求 $352^{+0.8}_{-1.8}$
工序号 瓶体号	70 定位焊	105 焊接	焊接平均变量	235 热处理	热处理平均变量
001~007	351.9~352.1	351.5~351.8	-1.3	351.2~351.4	-0.3

个位置都处于稳定紧固的状态,受局部焊接收缩而产生的形变趋向就变小。

5 验证过程

5.1 焊接参数验证

在安装板的厚度由 2.5mm 调整为 4mm 后,为了达到良好的焊接效果,本次研究针对 1Cr18Ni9Ti 材料的安装板和 15-5PH 材料的瓶体做了模拟焊接,分别加工了 4 件 1Cr18Ni9Ti 的 $\phi 20$ 环以及 2 件 15-5PH 材料 $\phi 20$ 棒,每 1 件 $\phi 20$ 棒分别与 2 件 $\phi 20$ 环进行焊接。因产品加工状态为钢制内胆焊接、热处理后进行安装板的焊接,所以将 $\phi 20$ 按照产品状态进行了调制热处理。焊接参数对比如表 2。

经过对比,当电流值在 30A 左右时, $\phi 20$ 棒一侧熔化较慢导致环烧损比较严重,无论是否预热,焊后外观均不理想。50A 左右的电流(组 3、组 4)外观要明显好于组 1、组 2。

5.2 焊接定位夹具加工及验证

气瓶的瓶体的长度尺寸为 352mm,由于机加累积公差、焊接收缩及热处理影响,每个瓶体的数值不可能完全一致,在工装设计时考虑到了两对 $\phi 9$ 孔的距离不可以设为定值,因此特意将件 2 与底板的安装方式设计成了滑块与方槽。槽宽要求 $120_0^{+0.05}$,而滑块宽要求 $120_{-0.07}^{-0.03}$,保证紧密贴合的同时,又可以在槽内滑动,便于在不同的气瓶装配时调整 $\phi 9$ 孔的距离。

根据表 3,热加工后的瓶体变形量约为 $(-1.3) + (-0.3) = -1.6\text{mm}$ 。经过对气瓶筒子名义尺寸的二次调整,将名义尺寸 $267 \pm 0.2\text{mm}$ 修正为 $268.6 \pm 0.2\text{mm}$,修正后加工的 20 台该批瓶体的尺寸 $352_{-1.8}^{+0.8}$ 最终均为 $351.7 \sim 352.1\text{mm}$ 。由于安装孔将正好落在安装板的中心位置,

避免了因 352mm 尺寸接近下差后,安装孔自上而下的投影贴近安装板边缘,从而避免了因安装板微量变形的影响导致的气瓶校型。事实上,安装板在加厚之后校型的难度很大,因此,在焊接前必须减少有可能导致校型的不利因素。此次工艺更改为安装孔加工提供了有效的前期准备。

使用该焊接定位夹具进行焊接的本批产品气瓶共 20 台,均能保证两对安装孔的中心线间距为 $389 \pm 0.5\text{mm}$,两片安装板相对位置平行。

6 结论

根据高压储气装置遇到的瓶颈问题,展开了本次工艺研究工作。通过焊接变形量摸索、优化工装、优化焊接工艺方法以及优化产品结构,进行试验件的验证和整批产品的验证,并利用无损探伤、三坐标检测等手段对产品的质量进行了检测。结果表明,产品质量能够满足使用要求。通过本次攻关解决了高压储气装置的焊接变形问题,为后续产品生产提供依据和保障。

参考文献:

- [1] 郑立斌. 车身焊接夹具设计的研究 [J]. 机械设计与制造, 2010(01):250-251.
- [2] 王政, 文劲松. Windows 平台上焊接夹具三维参数化 CAD [J]. 兰州理工大学学报, 1999, 25(03):19-22.
- [3] 王政, 党军锋, 许文涛. 基于 PRO/ENGINEER 的 WFCAD 系统菜单的开发 [J]. 兰州理工大学学报, 2003, 29(01):26-28.
- [4] 邵晨. 基于事例的汽车焊接夹具设计及标准化 [D]. 北京: 北京化工大学, 2009.