

储气罐闷头与毛细管焊接方法研究

葛宁 王晓玲 赵和明

(上海空间推进研究所, 上海 201112)



摘要: 通过弯曲试验、扭转试验、拉脱试验和微观分析, 对比储气罐闷头和毛细管采用激光焊和锡焊两种焊接方法的焊接质量。结果表明, 激光焊和锡焊的弯曲和扭转性能相当; 激光焊的拉脱性能优于锡焊; 锡焊存在局部未覆盖情况, 影响焊接强度, 激光焊缝成型较好, 未出现气孔、夹杂、裂纹等缺陷。

关键词: 闷头; 毛细管; 激光焊; 锡焊

Study on Welding Method of Connector and Capillary of Gas Storage Tank

Ge Ning Wang Xiaoling Zhao Heming

(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112)

Abstract: Through bending test, torsion test, pull-out test and microscopic analysis, the welding quality of gas storage tank connector and capillary welded by laser welding and tin welding was compared. The results show that the bending and torsion properties of laser welding and tin welding are equivalent; laser welding is superior to tin welding in pull-out performance; tin welding has partial uncovered venture, which affects the welding strength, laser welding is well formed without defects such as blowholes, inclusions and cracks.

Key words: connector; capillary; laser welding; tin welding

1 引言

储气罐是导弹武器系统中地面能源的重要组成部分, 其作用为贮存高压氩气, 系统工作时, 储气罐内高压氩气利用节流效应对弹上红外探测器制冷, 达到提高探测器精度的目的, 使导弹进入发射状态。储气罐的闷头与毛细管采用焊接的方法连接, 本文针对锡焊和激光焊两种焊接方法, 焊接闷头和毛细管, 通过对比两种焊接方法的焊接性能, 为储气罐闷头与毛细管焊接方式的确定提供依据。

2 产品结构及焊接方法介绍

2.1 产品结构

为适应地面能源的安装结构, 储气罐采用了螺旋形结构, 储气罐实物如图 1 所示。储气罐通过闷头和

压紧螺母螺纹连接地面能源接口, 形成可靠密封, 保证储气罐内高压氩气通过管路进入导弹, 而不会发生泄漏。工作时, 地面能源的点火电路引爆电爆阀, 推动撞针切断储气罐毛细管, 储气罐中高压氩气冲出, 通过管路进入探测器, 储气罐与地面能源接口示意图如图 2 所示。



图 1 储气罐实物

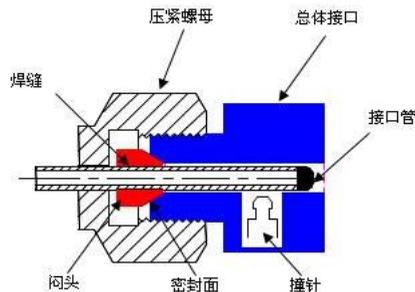


图 2 总体接口连接示意图

作者简介: 葛宁 (1988), 工程师, 航空宇航推进理论及工程专业; 研究方向: 空间压力容器设计。

收稿日期: 2018-12-24

2.2 焊接方法

闷头与毛细管采用的焊接方法一般有锡焊、激光焊。锡焊的焊接原理是加热焊锡使之融化为液体，流到闷头与毛细管之间的缝隙，锡焊中的锡和铅的任何一种原子便会进入闷头和毛细管的晶格，在焊接间形成金属合金，使其可靠地连接在一起^[1]。从微观角度分析锡焊过程的物理/化学变化，锡焊主要通过润湿、扩散以及冶金三个过程完成。锡焊具有操作方便，对毛细管不造成损伤等优点。

激光焊接是一种高效精密焊接方法，其利用高能量密度的激光束作为热源^[2]。激光焊接方法具有焊接质量稳定、焊接变形量小以及焊缝强度高优点。同时，激光焊接无需真空环境和近乎苛刻的刚性支撑，工艺柔性更好，对各种接头形式的适应性更强^[3~5]。

3 试验材料和方法

毛细管的规格为 $\Phi 1.6\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ ，材料为 1Cr18Ni9Ti，闷头的结构形式如图 3 所示，材料为 1Cr18Ni9Ti。

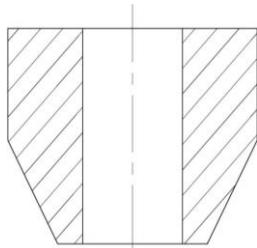


图 3 闷头的结构形式

激光焊接采用 ML2350A 激光焊机，激光入射方向与工作台转轴 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，采用闷头大端和小端两端焊接，激光焊接过程的保护气体为高纯氩气，高纯氩气的纯度为 99.999%，优化后的焊接工艺参数如表 1 所示。

表 1 激光焊焊接参数

峰值功率/kW	脉冲能量/J	脉冲频率	焊接速度/ $\text{s} \cdot \text{r}^{-1}$	氩气流量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$
0.5~0.6	5.8~6.5	1PPS	43~47	4~10

锡焊采用电烙铁，首先在待焊部位滴入 1~2 滴磷酸钎剂 (H_3P_0_4)，并用电烙铁预热待锡焊的部位，随后填入锡焊丝并通电锡焊，锡焊丝为 HLSn40PbA ，直径为 $\Phi 1.6 \sim 2.5\text{mm}$ ，优化的锡焊焊接温度为 $(350 \pm 15)^\circ\text{C}$ ，焊接试验为 3~5s。

焊接完成后检查试样焊缝外观，合格后对比验证

试验，包括弯曲、扭转、拉脱、焊缝微观组织形貌。

弯曲和扭转试验的试样如图 4 所示，将闷头和毛细管焊接后的试样与六角螺母焊接，试验时将闷头部位固定，在外套螺母部位施加弯矩和扭矩，其中， L 为储气罐闷头与地面能源对接后焊缝部位承受弯矩和扭矩的力臂长度。

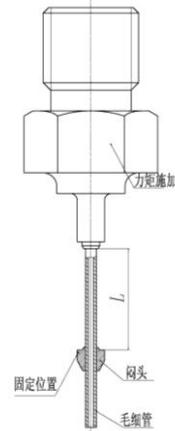


图 4 拉伸、扭转试样

4 试验结果及分析

4.1 弯曲试验

表 2 弯曲试验结果

焊接方式	试验次数		
	激光焊	41	56
锡焊	34	37	33

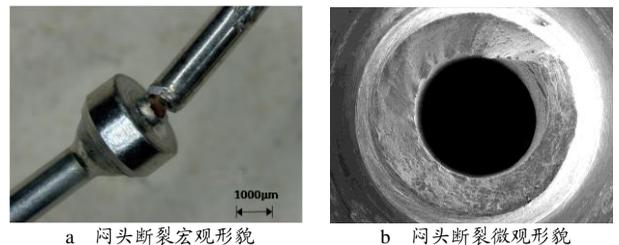


图 5 闷头断裂形貌

对图 4 中的弯曲试样进行弯曲试验，夹持闷头，对闷头大端毛细管反复弯曲试验，试验的弯曲角度为单边 45° ；试验以毛细管出现裂纹或焊缝处断裂为终止条件。两种焊接方式各进行了三件试样的弯曲试验，试验结果如表 2 所示，结果表明，采用激光焊和锡焊，弯曲性能相当，激光焊的弯曲次数略高于锡焊，两种焊接方式均有较大的安全系数。使用电子显微镜观察试样弯曲断裂后断口的宏观和微观形貌，分析结果如图 5 所示，结果表明，断口的主要形貌为韧窝，断裂

的性质属于过载塑性断裂，非焊接因素造成。

4.2 扭转试验

对图4中的扭转试样进行了扭转试验，夹持闷头，在六角螺母处施加力矩扭转，扭转角度为90°；试验以毛细管出现裂纹或焊缝处断裂为终止条件。两种焊接方式各进行了三件试样的扭转试验，试验结果如表3所示，结果表明，采用激光焊和锡焊，扭转性能相当，激光焊的扭转次数略高于锡焊，两种焊接方式均有较大的安全系数。扭转试验失效后的试样形貌如图6所示，六件试样的失效形式均为毛细管出现裂纹，验证了激光焊和锡焊均具有较高的扭转性能。

表3 扭转试验结果

焊接方式	试验次数		
激光焊	40	43	45
锡焊	39	36	42



图6 扭转试样失效形貌

4.3 拉脱试验

为验证两种焊接试样的抗拉强度，进行了两种焊接方式试样的拉脱试验，试验采用逐步加载方式，试验以闷头从毛细管脱落或拉脱力到达预期值为终止条件。两种焊接方式各进行了两件试样的拉脱试验，两件锡焊试样的拉脱分别增加至30kg、33kg时，闷头从毛细管脱落，试验结束。两件激光焊试样的拉脱力分别增加至60kg时，闷头和毛细管状态完好，施加力已到达预期值，试验结束。由试验结果可知，激光焊试样的拉脱强度明显优于锡焊试样。

4.4 微观分析

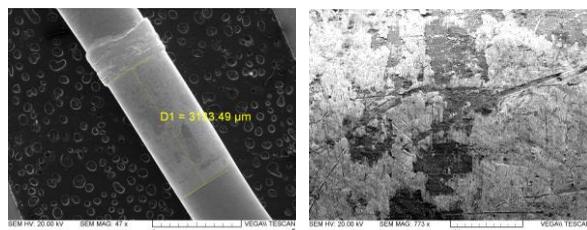


图7 锡焊试样毛细管锡焊部位形貌

分析经历了拉脱试验的锡焊试样的闷头和毛细管。检查锡焊试样脱落处毛细管的锡焊部位外观，锡

焊料在虹吸的作用下宏观上填满了闷头和毛细管的间隙，且在闷头小端能明显看到焊料。使用电子扫描显微镜观察锡焊部位，整圈覆盖长度为3.13mm，大于闷头长度3mm，毛细管外表面锡焊部位存在局部未覆盖情况，锡焊料的覆盖率不能达到100%，分析结果如图7所示。

使用电子扫描显微镜分析经历了拉脱试验的激光焊试样，宏观和微观形貌如图8所示，分析结果表明，激光焊焊缝未出现气孔、夹杂、裂纹等缺陷。对两种焊接试样的宏观和微观分析表明，锡焊试样存在局部未覆盖情况，影响了焊接的强度，激光焊试样焊缝成型较好，无内部缺陷。

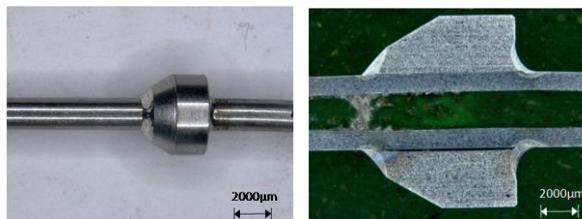


图8 激光焊试样形貌

5 结束语

激光焊和锡焊试样进行了弯曲试验、扭转试验、拉脱试验和微观分析，试验结果表明：

- 激光焊和锡焊试样的弯曲和扭转性能相当；
- 激光焊试样的拉脱性能明显优于锡焊，为锡焊的2倍以上；
- 锡焊试样存在局部未覆盖情况，影响焊接的强度，激光焊试样焊缝成型较好。

综上所述，激光焊的性能优于锡焊，且激光焊工艺质量可控，人为因素小，能够确保闷头与毛细管的连接强度稳定性，适用于闷头与毛细管的焊接。

参考文献

- 李广建. 电烙铁锡焊技术[J]. 工程技术, 2010(17): 87
- 王素环, 肖雪峰, 韩晓辉, 等. 不锈钢激光焊与电弧焊接性对比研究[J]. 焊接技术, 2014, 43(2): 18~20
- 陈彦宾. 现代激光焊接技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- 陈彦宾. 国防焊接技术研究应用现状与发展[J]. 国防制造技术, 2009(3): 9~11
- 赵耀邦, 徐爱杰, 姜勇, 等. 激光焊接技术研究进展及其在航天领域的应用[J]. 航天制造技术, 2013(3): 55~58