

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.01.009

机油冷却器进出管异种金属焊接工艺试验研究

朱萍^{1,2}, 周骥平¹, 卞红³, 周青青³

(1. 扬州大学 机械工程学院, 江苏 扬州 225127;

2. 扬州工业职业技术学院, 江苏 扬州 225127;

3. 江苏通顺动力科技有限公司, 江苏 南通 226399)

摘 要:针对机油冷却器中进出管异种金属焊接性能的差异,对比异种金属不同的焊接方法优缺点,从工艺性、经济性角度考虑选择火焰钎焊实现机油冷却器的异种金属焊接。选用银基钎料 BAg38CuZnSn 作为焊接材料,调整合适的焊接工艺参数,实现进出管的有效连接,通过湿式气密性检测,结果符合 JB/T 6966 标准,证明该工艺可以获得符合要求的焊接接头。

关键词:机油冷却器;异种金属;焊接;焊接工艺

中图分类号:TG44 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)01-0039-03

Experimental Study on Welding Process of Different Metals in Inlet and Outlet Pipes of Engine Oil Coolers

ZHU Ping^{1,2}, ZHOU Jiping¹, BIAN Hong³, ZHOU Qingqing³

(1. School of Mechanical Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2. Yangzhou Polytechnic Institute, Yangzhou 225127, China;

3. Jiangsu Tongshun Power Technology Co., Ltd., Nantong 226399, China)

Abstract: Regarding the differences in the welding performance of different metals, the advantages and disadvantages of different welding methods for different metals were compared. From the perspective of process and economy, flame brazing was chosen to achieve the welding of different metals for oil coolers. Silver based brazing material BAg38CuZnSn was selected as the welding material, and appropriate welding process parameters were adjusted to achieve effective connection of inlet and outlet pipes. Through wet air tightness testing, the results met the JB/T 6966 standard, which proves that this process can obtain welding joints inline as required.

Keywords: oil cooler; dissimilar metal; weld; welding technology

0 引言

机油冷却器是车辆中一个非常重要的组成部分,机油在引擎中不断循环,经过机油冷却器,通过流动的水或空气将机油中的热量散发出来,从而实现降温,维持引擎正常稳定运行。机油冷却器在不同类型车辆中都有应用,目前机油冷却器在使用过程中对散热效率提出了更高的要求,异种材料的连接可以最大程度发挥材料各自的性能,是获得优异性能的异种材料复合结构的关键^[1],且可以提高其耐腐蚀性、稳定性和寿命长久。

一般地,机油冷却器由壳体、前盖、后盖、冷却管和连接法兰等多个部件组成。由于机油冷却器在高温高压环境下使用,为适应该工况,冷却管和法兰连接需要通过焊接连接在一起,以保证连接

的可靠性。冷却管一般采用散热性能优异的紫铜材料,法兰连接采用韧性和塑性较好的碳钢材料,使用不同材料焊接的目的是确保冷却器在使用过程中能够承受高温和高压的环境,同时保证其结构稳定和寿命长久。如果直接用同一种材料焊接,温度变化会导致材料产生变形,从而影响冷却器的性能,使用异种材料焊接可以确保冷却器的强度和韧性得到最大限度的发挥。因此,研究机油冷却器异种金属材料的焊接工艺对改善机油冷却器的产品质量尤为重要,具有非常实际的工程应用价值。

1 异种金属焊接工艺试验

1.1 焊接材料

机油冷却器中铜芯管材料牌号: TP2Y, 磷脱

基金项目:江苏省企业研究生工作站研发项目

第一作者简介:朱萍(1991—),女,江苏泰兴人,硕士研究生,研究方向为车辆工程,sa826883007@qq.com。

氧铜俗称紫铜,质量分数主要是铜、银、锡、铅等,优点是有较好的延展性、耐蚀性、热传导性,常用于汽油输送管、冷凝管零件。连接法兰材料牌号为 Q235A,碳钢韧性和塑性较好,有一定的伸长率,具有良好的焊接性能和热加工性,可用于制造各种焊接结构件、桥梁及一般机器零件,如螺栓、套环和连杆等。

机油冷却器进出管异种金属焊接的主要问题是紫铜与碳钢的熔点、导热性等物理性能有很大差异,为焊接造成了一定困难,主要表现在以下方面。

1) 两侧母材熔点不同。紫铜熔点为 $1\ 083\ ^\circ\text{C}$, Q235A 碳钢的熔点为 $1\ 493\ ^\circ\text{C}$, 当紫铜到达熔点时,碳钢法兰仍呈现出固体的状态,而当碳钢法兰到达熔点时,紫铜管可能已经出现烧损^[2]。

2) 导热系数差异。紫铜导热系数为 $386\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, Q235A 碳钢导热系数为 $46.8\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 而金属的导热率与焊缝温度、结晶的条件关系密切,紫铜管与碳钢法兰之间导热率相差越大,焊缝结晶条件相对也越差,导致焊接性能变差。

3) 热膨胀系数不同^[3]。紫铜的热膨胀系数为 $16.6\times 10^{-6}/\text{K}$, Q235A 碳钢的热膨胀系数为 $11.6\times 10^{-6}/\text{K}$ 。因为热膨胀系数与金属的膨胀率和收缩率呈正比,热膨胀系数越大,其膨胀率、收缩率越大,所以紫铜及碳钢在焊接中的熔池金属结晶后,热应力增强,容易因急冷凝固收缩,导致各种焊接裂纹。

根据上述材料的差异性,要采取合适的焊接方法和焊接工艺,才能获得质量满意的焊缝^[4], TP2Y 紫铜管在与 Q235A 碳钢焊接时,可以利用熔点较低的银基焊条作为焊接材料。考虑焊接间隙较小,坡口最大间隙处 $2.24\ \text{mm}$, 最小间隙 $0.23\ \text{mm}$, 如图 1 所示,选用含有 38% 银的银基钎料焊接,牌号为 BAg38CuZnSn, 焊条直径 $\phi 2\ \text{mm}$ 。

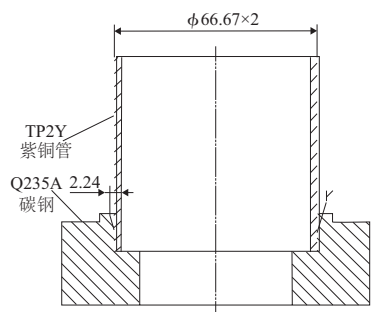


图 1 机油冷却器进出管连接装配图

BAg38CuZnSn 是一种含银的铜锌锡钎料,选

用银基钎料作为焊条主要是因为银的熔点低,能够使焊接温度相对较低,有利于减少对母材的影响。焊接温度相对较小,易于操作和控制,具有良好的焊接性能;钎焊接头牢固,具有良好的抗拉强度和屈服强度,焊缝不易开裂,焊接强度高;耐腐蚀性能好,能够保证焊接结构在复杂的环境下长期稳定;钎焊接头的导热性能较好,传热均匀,不易造成热裂,导热性能良好。因此,紫铜和碳钢焊接选用 BAg38CuZnSn 钎料是一种理想的异种金属焊接材料,可以在紫铜和碳钢的焊接中获得较好的焊接质量和连接性能。

1.2 焊接方法

虽然冷却器进出管紫铜及碳钢的物理性能有明显差异,但其原子半径、点阵的类型与常数、原子外层的电子数较为接近^[5],这 2 种材料在液态时可互溶,常用的异种金属焊接方法有以下 4 种。

1) 钎焊焊接:在紫铜和碳钢材料的接口处,使用高温熔化的钎料将 2 种材料焊接在一起。优点是设备简单便宜、焊接速度快;缺点是质量不稳定、焊接强度较低、不适用于高温和高压环境。

2) 氩弧焊接:使用氩气作为保护气体,在焊接区域施加电弧,将紫铜和碳钢焊接在一起。优点是设备价格适中、焊接效果好;缺点是需要对焊接区域进行清洁处理,并且需要进行后续的热处理。

3) 摩擦焊接:通过紫铜与碳钢表面的摩擦产生的热量,将 2 种材料焊接在一起。该方法焊接速度快,对设备要求较低,但是需要特殊的设备,并且只适用于焊接粗材。

4) 激光焊接:使用激光束对焊接区域进行加热,将紫铜和碳钢焊接在一起。激光焊接速度快、焊接效果好,但对材料的选择和表面处理要求高,设备价格较高。

考虑冷却器的焊接制造属于小批量生产,从经济性考虑,不适宜采购特殊焊接设备;从工艺性考虑,冷却器制造工艺过程中焊接工序为制造的最后一个工序,冷却器有铝、铜、钢等多种不同材料,所以不能进行整体热处理。因此,对比以上 4 种焊接方式,采用火焰钎焊技术更适合机油冷却器的异种金属连接。

1.3 焊接工艺内容

异种金属火焰钎焊试验工艺流程如图 2 所示。



图 2 钎焊试验工艺流程

焊接注意要点:

1) 由于碳钢法兰容易产生锈迹,因此在焊接前需对焊接位置表面进行除锈处理,同时去除氧化皮、油污等,防止在焊接时有杂质产生;

2) 按照图样要求,利用重力自身定位的方法进行装配,如图3所示,确保铜芯管与碳钢法兰之间相互位置固定;

3) 工件装配好后,由于铜芯管导热性好,因此利用中性焰先对法兰一侧缓慢均匀加热升温,后对紫铜管加热,减少加热温差,更好控制焊接质量;

4) 焊完将试件放置在空气中自然冷却12 h^[6],不能水冷,防止工件降温过快导致变形或开裂;

5) 对工件表面清理,清除残留钎剂和氧化皮。



图3 铜芯管与碳钢法兰固定

1.4 焊接工艺参数

结合公司以往经验,因母材间间隙较小且连接铜芯管属于薄壁零件,所以采用1层焊接;焊接过程中利用红外测温仪测量焊接温度,焊接时先对法兰一侧预加热,缩小紫铜管与法兰之间的导热性差异,要求焊缝一次完成。本试验选取的焊接工艺参数如表1所示。

表1 焊接工艺参数

焊接方式	焊接材料	火焰燃料	氧气流量/(L/min)	焊接速度/(mm/min)	焊接角度/(°)
火焰钎焊	BAg38CuZnSn	O ₂ + C ₂ H ₂	5	98	45

2 焊接实验结果与分析

2.1 目视检查

目视检查无焊接缺陷,钎缝外露部位显示有钎料且光滑连续,如图4所示,钎缝处无夹渣、气孔、过烧、未焊透等缺陷。



图4 焊接试样

2.2 湿式气密性检测

根据标准 JB/T 6966 的规定,封闭机油冷却器进出管所有开口,在法兰一侧内腔充气,按照客户图样要求气压 2 MPa,随即将其放入水中,等待 1 min 以后,观察钎缝外部,如图5所示,没有气泡产生,因此符合标准要求。

2.3 试验结果分析

选取1个焊接接头试样,使用红外测温仪对其焊缝位置的温度进行检测。检测探头距工件

150 mm,间隔时间大约 60 s,分别在试样预加热时、焊接时、冷却过程中各选取均匀分布的圆周 4 个测点,从预加热至冷却到室温状态,总共测量 200 次,取 4 个测点的平均数值,得到如图6所示的温度时间曲线。

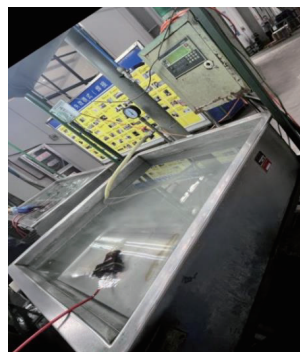


图5 湿式气密性检测

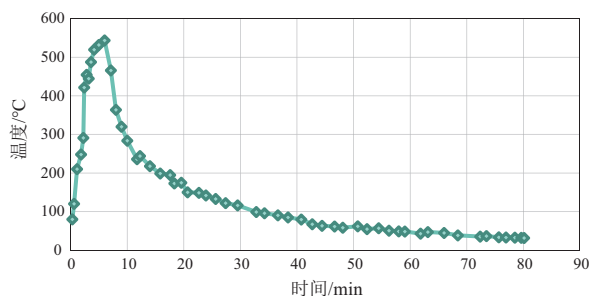


图6 焊接过程温度时间曲线

(下转第 57 页)

析更具指导性。

参考文献:

- [1] 张伟中,李金平,叶敏,等.2-PUR-PSR 并联机构尺度综合多目标优化[J].农业机械学报,2020,51(11):403-410.
- [2] 张曙, HEISEL U.并联运动机床[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 杨健,周鑫,柳伟兵,等.3-RRR 球面并联机构优化设计研究[J].机械设计与制造,2018(7):119-122.
- [4] 彭红梅,陈亚,陆彩满,等.新型三平移 2PPPa 并联机构运动学分析与优化设计[J].机床与液压,2022,50(3):43-48.
- [5] 史素敏,杨春长.基于灵巧性的 3-UPRR 并联机构尺度综合研究[J].机械设计与制造,2020(12):128-133.
- [6] 李仕华,孙静,单彦霞,等.空间光学镜并联指向机构优化[J].光学精密工程,2019,27(3):637-644.
- [7] 王启明,张汉祖,蒋江月.平面平台型 6-PSS 并联机构构型选择与参数优化[J/OL].农业机械学报,(2022-

1-11).[2022-02-23] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.S.20220223.1047.002.html>.

- [8] 李启腾,戚开诚,张建军,等.新型含子闭环并联机构的灵巧性研究[J].机械设计与研究,2017,33(6):21-24,30.
- [9] 谢志江,程清,丁军,等.双支链六自由度并联机构尺度设计与性能分析[J].中国机械工程,2022(14):1680-1690.
- [10] 丁锐,曹毅.基于多目标优化算法的并联机构综合设计[J].机械制造与自动化,2018,47(5):20-23.
- [11] 韩旭焯,张小粉,杨新刚,等.基于任务空间的 2P3RR 并联机构尺度综合[J].机械与电子,2022,40(9):51-55.
- [12] 熊有伦.机器人技术基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2003.
- [13] GOSSELIN C,ANGELES J.A global performance index for the kinematic optimization of robotic manipulators[J]. Journal of Mechanical Design,1991,113(3):220-226.

收稿日期:2023-05-23

(上接第 41 页)

由温度-时间曲线可以看出,工件在预热阶段,焊接之前对机油冷却器进出管同时进行预热,大约持续 2 min,法兰及铜芯管连接位置逐渐升高温度,直到达到 488℃;在焊接阶段,温度持续缓慢升高,并使得焊条与焊粉熔化在焊缝池中;在降温阶段,减少了热量的输入,并在空气中冷却,在 12 min 之前温度下降较快,之后以 5.15℃/min 的降温速度缓慢降至室温状态。因此,控制好焊接过程的时间与温度,可以确保焊接的质量和稳定性。

2.4 力学性能分析

焊接试样的拉伸曲线如图 7 所示,整个拉伸曲线分为弹性阶段、强化阶段、局部变形阶段。当拉力由 0 增大到 18.88 kN 时,为弹性变形阶段;拉力由 18.88 kN 增大到 94 kN 时,为强化阶段;当拉力增大到 94 kN 后,试样焊缝靠近紫铜管一侧发生撕裂直至断裂,而焊缝没有撕裂,说明焊接强度高于原材料。

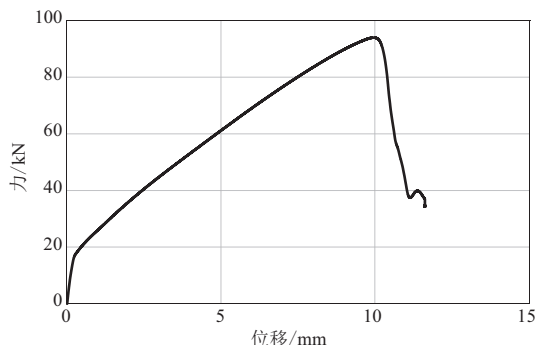


图 7 焊接试样拉伸曲线图

3 结语

1)综合目视检测、湿式气密性检测结果,可以发现焊缝区域组织无气孔、夹渣、未熔合、微裂纹等缺陷,焊缝质量满足标准 JB/T 6966 的规定要求,符合客户机油冷却器进出管的图样焊接技术要求。

2)该次焊接性能试验的相关工艺参数可应用于以下情况的焊接:焊接母材紫铜 TP2Y 与 Q235A 碳钢的连接,紫铜管壁厚 2 mm,可使用银基材料 BAg38CuZnSn,采用火焰钎焊的方式满足焊接质量要求。

3)本次焊接工艺试验使用的银基钎料市场价格较高,后续将探索使用经济性更好的铜基钎料继续进行机油冷却器进出管的异种金属焊接工艺试验,不断完善,在保证机油冷却器质量的前提下,为企业生产实践节约更多的成本。

参考文献:

- [1] 冯吉才.异种材料连接研究进展综述[J].航空学报,2022,43(2):1-37.
- [2] 丁肖.紫铜和低碳钢异种金属材料焊接工艺研究[J].现代农机,2020(4):55.
- [3] 史忠柯,陆传航,程晋宜,等.铜镍管线与普通碳钢的焊接连接[J].山东化工,2021,50(14):157,160.
- [4] 陈大林.铝钢板翅式换热器钎焊技术研究[D].兰州:兰州理工大学,2014.
- [5] 杨海明.异种金属的焊接[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2014.
- [6] 申伟,尤佳.09MnNiDR 钢焊接试验研究[J].机械制造与自动化,2019,48(6):72-74.

收稿日期:2023-10-09