

GH4169 合金导管焊接工艺分析

Analysis on GH4169 Alloy Tube Welding

海军驻沈阳地区航空军事代表室 张震
中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 邱桂琳

[摘要] 采用氩弧焊焊接工艺对 GH4169 合金导管进行焊接, 并对接头的宏观形貌进行观察, 接头质量进行 X 光检测。焊接前在导管焊接处 20mm 范围内进行打磨, 并对接头端头进行刮削处理。采用优化的定位焊工艺参数及优化的焊接工艺参数进行焊接, 焊接后 GH4169 导管接头焊接质量良好, 无焊接缺陷。

关键词: GH4169 合金 导管 焊接

[ABSTRACT] TIG of GH4169 alloy tube is carried out in this paper. Macrostructure of welded joints is observed, and the quality of the joints is checked by X ray. Within 20mm of weld area has been grinded and scraped at the welding joints end before welded, and the optimization tack welding parameter and welding parameter have been utilized during welding. Results show that the quality of welded joints is well and without weld defects.

Keywords: GH4169 alloy Tube Welding

高温合金材料是在 600℃ 以上承受一定应力条件下工作的合金材料^[1-3]。它不但具有良好的高温抗氧化和抗腐蚀能力, 而且具有较高的强度、蠕变强度和持久性能^[4-5]。它是现代航空发动机、航天器、火箭发动机以及舰艇的关键热端部件材料, 也是核反应堆、石油化工和能源转换设备等方面需要的重要高温材料。

GH4169 合金是以体心立方的 γ' 和面心立方的 γ 相沉淀强化的镍基高温合金^[6], 在 -253~700℃ 温度范围内具有良好的综合性能, 650℃ 以下的屈服强度居变形高温合金的首位, 并具有良好的抗疲劳、抗氧化、耐腐蚀性能, 但 GH4169 合金硬度高, 塑性、韧性差, 焊接难度大。钣金件 GH4169 合金半管加工后容易回弹, 并存在加工误差, 因而装配间隙和阶差不易控制; 焊接过程中, 容易出现裂纹缺陷, 并容易产生应力集中; 焊接后, 极易产生变形, 无法达到设计要求。

为了解决上述问题, 本文分别对 GH4169 半管和 GH4169 管进行清理、装配, 研制了焊接工装, 选用优化的定位焊工艺参数和焊接工艺参数进行手工氩弧焊接, 并对焊接后的构件进行目视检查和 X 光检查。

1 试验材料和试验方法

高温合金 GH4169 (固溶状态) 导管示意图见图 1, 焊缝级别为 II 级, 所用零件清单如表 1。本文对表 1 中的半管对接 ($\delta 1.0+\delta 1.0$, $\delta 1.5+\delta 1.5$) 及管管对接 ($\delta 1.0+\delta 1.5$) 进行了焊接工艺研究。

通过理论分析和工艺试验, 最终确定的定位焊工艺参数见表 2, 焊接工艺参数见表 3。采用表 3 的焊接工

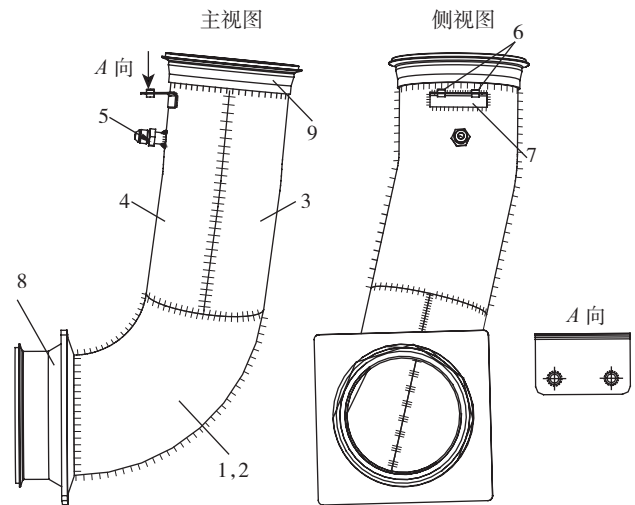


图1 GH4169导管示意图

Fig.1 Schematic of GH4169 alloy tube

表1 零件清单

序号	材料	厚度/mm	类型
1	GH4169 固溶	$\delta 1.5$	钣金件
2	GH4169 固溶	$\delta 1.5$	钣金件
3	GH4169 固溶	$\delta 1.0$	钣金件
4	GH4169 固溶	$\delta 1.0$	钣金件
5	GH4169 热轧	$\delta 3.0$	标准件
6	GH4169 固溶	$\delta 1.0$	机加件
7	GH4169 固溶	$\delta 1.0$	钣金件
8	GH4169 热轧	$\delta 3.0$	机加件
9	GH4169 固溶	$\delta 2.0$	标准件

表2 定位焊工艺参数

材料厚度/mm	钨钨极直径/mm	焊接电流/A	工装气体流量/(L·min ⁻¹)	焊丝直径/mm
1.0	1.5	33	8~10	1.2
1.5	1.5	55	10~15	1.2

注: 参照标准, 为使焊点焊透, 定位焊时的电流应比焊接时大10%~20%。

表3 焊接工艺参数

材料厚度/mm	钨钨极直径/mm	焊接电流/A	工装气体流量/(L·min ⁻¹)	焊丝直径/mm
1.0	1.5	30	8~10	1.2
1.5	1.5	50	10~15	1.2

艺参数进行了半管焊接试验和管管焊接试验。

2 试验结果及讨论

2.1 焊接工装研制

为了保证对焊缝背面提供更好的惰性气体保护措施, 以及有利于试验件的焊前修配, 研制了半管对接保护工装及管管对接保护工装, 工装见图2、图3。

2.2 半管焊接试验

半管试验件是冲压成型及钳工敲修制成($\delta 1.5\text{mm}$ 半管试验件敲修后形貌见图4), 试验件成型难度较大,

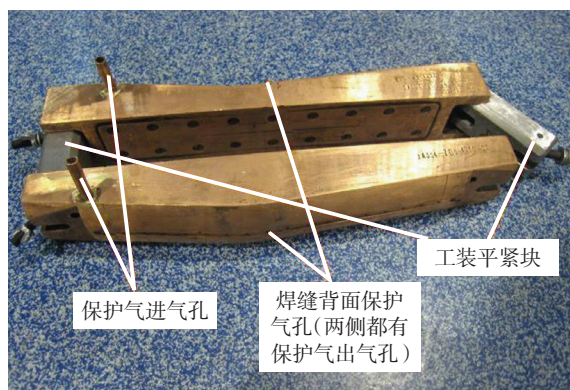
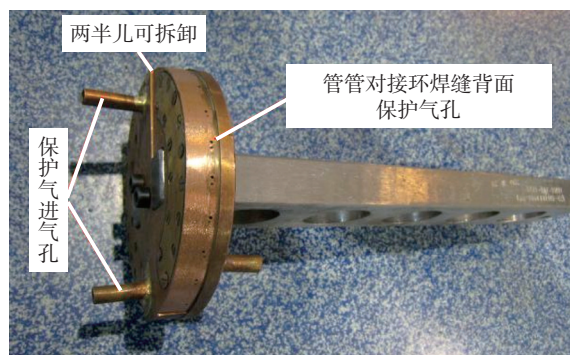
图2 $\delta 1.0\text{mm}$ 导管焊接工装Fig.2 Welding jig of $\delta 1.0\text{mm}$ tube

图3 管管对接焊接工装

Fig.3 Welding jig of butt welding for tube

图4 $\delta 1.5\text{mm}$ 导管焊接件形貌Fig.4 Macrostructure of $\delta 1.5\text{mm}$ welded tube

在半管试验件与半管保护工装装配时, 易存在贴合程度不良现象。

试验件在半管保护工装上预装配后对试验件进行敲修处理, 同时也对工装夹紧块的长度进行了修整, 采取不开坡口的形式, 在保证试验件对接间隙、阶差均符合标准要求(间隙 $\leq 0.2\text{mm}$, 阶差 $\leq 0.3\text{mm}$)后, 进行了半管试验件对接试验(一组 $\delta 1.0\text{mm}$ 半管对接、一组 $\delta 1.5\text{mm}$ 半管对接)。

为了保证焊接质量, 焊接前, 对待焊处20mm范围内进行打磨处理且对接头端头进行刮削处理, 保证对接间隙 $\leq 0.2\text{mm}$, 阶差 $\leq 0.3\text{mm}$, $R_a \leq 3.2\mu\text{m}$, 并用丙酮擦拭待焊处、工装和焊丝。同时, 预先对焊接工装进行通保护气, 以确保保护工装进、出气孔通畅。

而后进行定位焊, 定位焊点对称分布, 长度为5mm。

焊接时, 先给半管对接保护工装通以纯氩保护气5s, 使用表3的焊接工艺参数进行焊接。熄弧时, 采用衰减焊接电流的方法缩小熔池以修整弧坑。在熔池尚未凝固前, 焊枪持续给熔池供以保护气体。

焊后, 对焊缝进行目视、X光检查, 发现除了在引弧、收弧处存在裂纹、未焊透等缺陷外, 焊缝其余部分的质量合格。通过分析, 引弧、收弧处的裂纹、未焊透等缺陷是由于引弧、收弧处超出了保护工装上气孔保护的范。而引弧、收弧处均在机加余量范围内, 因此, 半管试验件的焊缝质量合格。以 $\delta 1.0\text{mm}$ 半管试验件焊后形貌为例, 其形貌见图5。

2.3 管管焊接试验

首先对待焊处20mm范围内进行打磨处理且对接头端头进行刮削处理, 保证对接间隙 $\leq 0.2\text{mm}$, 阶差 $\leq 0.3\text{mm}$, $R_a \leq 3.2\mu\text{m}$, 并用丙酮擦拭待焊处、工装和焊丝。而后, 预先对焊接工装进行通保护气, 以确保保护工装进、出气孔通畅。



图5 $\delta 1.0\text{mm}$ 导管焊接件形貌
Fig.5 Macrostructure of $\delta 1.0\text{mm}$ welded tube

由于 $\delta 1.0\text{mm}$ 管与 $\delta 1.5\text{mm}$ 管对接时要求保证内径一致,而两管厚度上存在差异,依据标准要求按照薄件 $\delta 1.0\text{mm}$ 选用了焊接工艺参数。

焊接前,为了有效地固定试验件的位置和防止焊件的变形,对接头进行了定位焊。定位焊点对称分布且长度为 5mm 。定位焊所用的焊接工艺参数见表 2 中 $\delta 1.0\text{mm}$ 的焊接工艺参数。

焊接时,先给半管对接保护工装通以纯氩保护气 5s ,使用表 3 中 $\delta 1.0\text{mm}$ 的焊接工艺参数进行焊接。熄弧时,采用衰减焊接电流的方法缩小熔池以修整弧坑。在熔池尚未凝固前,焊枪持续给熔池供以保护气体,防止焊缝产生热裂纹和气孔。

焊后,对焊缝进行目视检查、X 光检查, X 光结果为合格。管管对接环焊缝样貌见图 6。



图6 环焊缝形貌
Fig.6 Macrostructure of circumferential weld

3 结论

(1) 焊接前对待焊处 20mm 范围内进行打磨处理,并对接头端头进行刮削处理,保证对接间隙 $\leq 0.2\text{mm}$,阶差 $\leq 0.3\text{mm}$,粗糙度 $R_a \leq 3.2\mu\text{m}$,并用丙酮擦拭待

焊处、工装和焊丝;

(2) 焊接时,焊缝正、反面通保护气体进行保护,同时采用小电流、高速度进行焊接;

(3) 焊接优化的焊接工艺,对 GH4169 合金导管进行焊接,其焊接接头质量良好,无焊接缺陷。

参考文献

- [1] 郭建亭,周兰章,袁超,等. 我国独创和独具特色的几种高温合金的组织 and 性能. 中国有色金属学报, 2011, 21(2):237-250.
- [2] 付伟东. 航空工业中钢与高温合金的焊接应用. 中国科技纵横, 2009, 11:304-305.
- [3] 韩光伟,邓波杨,玉军,等. 海洋环境下不同低膨胀高温合金腐蚀抗力的比较研究. 钢铁研究学报, 2011, 23(2):21-24.
- [4] 刘芳,孙文儒,杨树林. Al 含量对 GH4169 镍基合金组织及其稳定性的影响. 金属学报. 2008, 44(7):791-798.
- [5] 秦昕,张彦华,熊林玉. GH4169 合金焊接接头高温疲劳裂纹扩展性能试验研究. 材料工程, 2009, 7:36-38.
- [6] 杨军,楼松年,严隽民,等. GH4169 高温合金惯性摩擦焊接头晶粒分布特征. 焊接学报, 2001, 22(3):33-35. (责编 小城)

(上接第 71 页)

拟退火优化算法对响应面进行参数优化,得出结论: 钻削力 100N 、单向压紧力 621.07N 、预紧力 225.03N , 此时贴合面间隙达到最小值 $2.21\mu\text{m}$ 。该方法避免了优化迭代过程中每次调用有限元程序,提高了计算效率和精度。

参考文献

- [1] 毕树生,梁杰,战强,等. 机器人技术在航空工业中的应用. 航空制造技术, 2009(4):34-39.
- [2] 曾长,王珉,陈文亮,等. 飞机总装自动化制孔预装配紧固件安装位置优化. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(S): 9-14.
- [3] Rajmohan T, Palanikumar K, Kathirvel M. Optimization of machining parameters in drilling hybrid aluminium metal matrix composites. Transactions Nonferrous Metals Society of China, 2012(22): 1286-1297.
- [4] 金浩,程寓,高超,等. 玻璃钢复合材料夹层结构钻削试验研究. 机械设计与制造, 2011(4):133-135.
- [5] 宋中权,程寓,高超,等. 夹层结构复合材料钻削试验研究. 机床与液压, 2011, 39(1):40-43.
- [6] 鲍诺,王春洁,赵军鹏,等. 基于响应面法的结构动力学模型修正. 振动与冲击, 2013, 32(16):54-58.
- [7] 杨艳慧,刘东,贺子延,等. 基于响应面法 (RSM) 的锻造预成形多目标优化设计. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(6): 1019-1024.
- [8] Breitkopf P, Naceur H, Rassineux A, et al. Moving least squares response surface approximation: formulation and metal forming applications. Comput Struct, 2005(83): 1411-1428.
- [9] 王珉,薛少丁,蒋红宇,等. 飞机大部件对接自动化制孔单向压紧力分析. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(S): 553-558. (责编 深蓝)