

不锈钢管自动非熔化极惰性气体钨极 保护焊环焊工艺研究

王洪潇 王春生 何广忠 高文文 刘立国

(中车长春轨道客车股份有限公司工程规划发展部,130062,长春//第一作者,高级工程师)

摘 要 针对不锈钢轨道客车空调冷凝水排水管与车顶及底架的焊接,以及底架制动管路之间的焊接问题,开发了自动非熔化极惰性气体钨极保护焊(TIG)环焊工艺,解决了焊接密封性问题。探索管-管自动 TIG 焊工艺在不锈钢轨道车辆管道连接中应用的可行性,开发了管-管对接夹具及机头,研究了不锈钢管对接焊接工艺参数选定,以及焊接接头组织特征及性能,为不锈钢轨道客车焊接新工艺的制定提供参考依据。

关键词 不锈钢管;管-管对接焊;非熔化极惰性气体钨极保护焊;自动环焊

中图分类号 TG441.7; U270.6⁺5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.02.007

Study on Automatic TIG Circle Welding Technology for Stainless Steel Pipe

WANG Hongxiao, WANG Chunsheng, HE Guangzhong, GAO Wenwen, LIU Liguo

Abstract According to problems existing in the stainless air conditioner cold water drainpipe, the vehicle roof and frame, as well as the braking pipes welding under the frame of rail transit passenger car, the process of automatic TIG circle welding technology is developed to solve the air-tightness problem. Through exploring the application feasibility of automatic TIG circle welding technology in railway vehicle stainless steel pipes, the joint fixture and head for pipe-to-pipe butt welding are developed, the welding parameters, the characteristics and performance of stainless steel pipe TIG circle welding butt joint are studied. This research provides a reference for the new process of vehicle TIG circle pipe welding.

Key words stainless steel pipe; pipe-to-pipe butt welding; TIG (tungsten inert gas) welding; automatic circle welding technology

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

客室地板下面,用于空调工作中水分的排出,需要满足密封、耐腐蚀等方面的要求。目前,排水管采用手工焊接方式安装,存在车上焊接工况。因受位置限制,车上手工焊接无法实现满焊,容易造成漏水问题,因此,探索管-管自动非熔化极惰性气体钨极保护焊(TIG)工艺在不锈钢车体管道安装中的应用具有重要意义。

目前,全位置环缝自动 TIG 焊设备多采用绝缘栅双极型晶体管(IGBT)逆变式脉冲电源,电流输出精度在 $\pm 1\%$ 以内,并采用微处理器程序控制,对焊接电弧可进行位置分区控制,即可以对平焊位区段、下坡焊区段、仰焊位区段及上坡焊区段的焊接工艺参数分别进行控制^[1]。由于全位置自动 TIG 焊具有焊接质量好、效率高、易操作等优点,加之国内管-管自动 TIG 焊机装备水平的提高,近年来在国内管道安装中得到了广泛应用^[2-3]。

国内市场上不锈钢管道环形焊接设备型号较多,如华恒、宝丽苏迪等品牌,可以满足管道中心距离板式障碍物仅 50 mm 的现场施工条件。本文研究选择昆山华恒焊接股份有限公司生产的 Arc Orbital 1200 程控焊接电源、H-3000 管-管密封式全自动 TIG 空冷焊接机头、铝合金 $\phi 27$ mm 夹具作为焊接设备,开展焊接试验研究,同时开发管-管对接夹具,确定不锈钢管对接焊接工艺参数,研究焊接接头组织特征及性能,为不锈钢轨道安装焊接新工艺的制定提供参考依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

管-管对接的试验材料采用 OCr18Ni9 不锈钢,两个管子尺寸不同,一个管材外径 $\phi 27$ mm、壁厚 2 mm、长度 150 mm,另一个管材外径 $\phi 27$ mm、壁厚 3 mm、长度 150 mm。其中,不锈钢材料满足 JIS G

不锈钢轨道客车的空调排水管位于司机室和

4305 标准^[4]中规定的化学成分、力学性能及其他要求,其化学成分和常规力学性能如表 1 和表 2 所示。

表 1 OCr18Ni9 不锈钢管材化学成分的质量分数 %

	化学元素						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
质量 分数	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.05	≤0.03	18.00 ~ 20.00	8.00 ~ 10.50

表 2 OCr18Ni9 不锈钢管材力学性能(固溶状态)

	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
数值	≥205	≥520	≥40

1.2 试验设备

焊接设备选择 Arc Orbital 1200 程控焊接电源、H-3000 管-管密封式全自动 TIG 空冷焊接机。焊枪是为各种管件对接而设计的密封式全位置 TIG 管-管(不加焊丝)焊枪(见图 1 和图 2)。焊接前在密封腔内充保护气体,保证焊缝得到良好的保护。枪体与夹具体内进行水冷却。焊枪与程控焊接电源配套使用,可实现全位置管-管 TIG 精密焊接,焊接重现性高,焊接效果好。

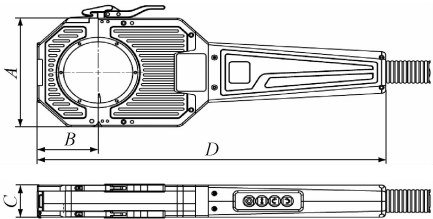


图 1 密封式全位置 TIG 管-管焊枪结构



图 2 密封式全位置 TIG 管-管焊枪实物

1.3 试验参数

OCr18Ni9 不锈钢钢管对接焊接工艺参数如表 3 和表 4 所示。

2 试验结果及分析

2.1 X 射线检测结果分析

对全位置自动 TIG 焊焊缝目测观察,可见焊道完整,焊缝外观成形均匀,过渡平滑,焊缝表面无裂

表 3 壁厚 2 mm 不锈钢管对接焊接工艺参数

试验 编号	工艺参数				
	焊接电 压/V	焊接电 流/A	焊接速度/ (mm/min)	氩气流量/ (L/min)	钨极伸长/ mm
1	9.5	90	110	15	30
2	9.5	90	100	15	30
3	9.5	95	100	15	30
4	9.5	90	90	15	30
5	9.5	85	100	15	30

表 4 壁厚 3 mm 不锈钢管对接焊接工艺参数

试验 编号	工艺参数				
	焊接电 压/V	焊接电 流/A	焊接速度/ (mm/min)	氩气流量/ (L/min)	钨极伸长/ mm
1	9.5	76	90	15	30
2	9.5	78	90	15	30
3	9.5	74	90	15	30
4	9.5	76	85	15	30
5	9.5	76	95	15	30
6	9.5	78	85	15	30

纹出现,无明显咬边、裂纹等缺陷,色泽正常,引弧及熄弧处有足够的搭接,无未熔合或过烧缺陷。

按照承压设备标准(JB/T 4730. 2—2005 II 级)和照相质量(AB 级)要求,委托辽宁劳安无损检测有限公司进行检测,检测结果显示(见图 3),所有两种壁厚组合各 45 根管的焊接均符合标准。

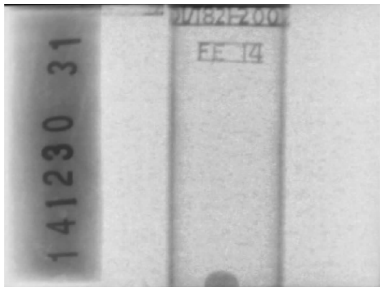


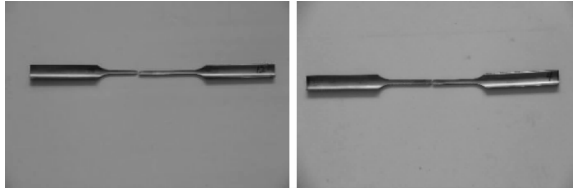
图 3 焊缝 X 射线检测结果

2.2 接头拉伸强度分析

参照 ISO 4136—2001《金属材料焊缝破坏性试验—横向拉伸试验》中规定的程序对拉伸试样进行抗拉强度试验。接头试验合格的标准为:拉伸试样为同种母材时,每件试样的抗拉强度应不低于母材标准值的下限;无论数量多少,每件试样的抗拉强度都应符合该条规定。

试验采用带肩拉伸试样,焊接参数为:焊接电压 9.5 V,焊接电流 90 A,焊接速度 100 mm/min,氩气保护流量 15 L/min,钨级伸长 30 mm。

编号 11~20 焊接接头平均抗拉强度为 696.67 N/mm²,焊接接头性能最好,断裂处基本位于 1/3 处(见图 4a)); 31~40 号次之;编号 1~10 平均抗拉强度最低,断裂位置大部分为焊缝处(见图 4b))。拉伸结果对比如图 5 所示。



a) 11~20 号接头 b) 1~10 号接头

图 4 焊接试样拉伸试验后形貌

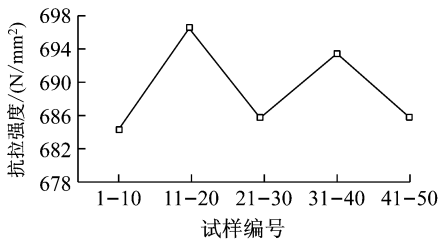


图 5 焊接试样拉伸结果对比曲线

2.3 接头弯曲强度分析

参照 ISO 5173—2000《金属材料焊缝破坏性试验—弯曲试验》中规定的程序对弯曲试样进行弯曲试验。接头试验合格的标准为:弯曲试样达到规定的弯曲角度(180°)后,其受弯面出现长度大于 1.5 mm 的任一裂纹或缺陷则不合格;无论数量多少,每件试样均应符合该条规定。试样弯曲 180°后,对焊接接头进行外观观察,均未发现存在裂纹的情况(见图 6)。

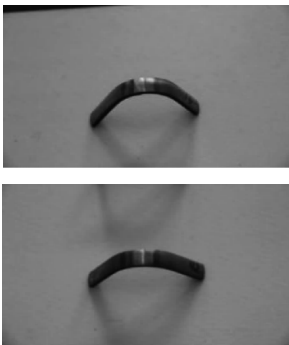


图 6 焊接试样弯曲试验后试样形貌

2.4 接头显微硬度分析

参照 ISO 9501.1—2001《金属材料焊缝破坏性

试验—硬度试验—电弧焊接头硬度试验》中规定的程序进行硬度测定。对焊接接头的维氏硬度检测区域包括焊缝、热影响区(左右)及母材(左右)(见图 7)。硬度检测主要用于对比接头各区域性能上的差别,分析时效软化的微观机理。

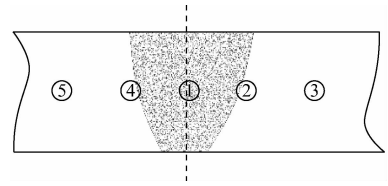


图 7 焊接接头硬度试验打点位置

根据硬度试验数据可知:焊缝中心处硬度最高,其次为热影响区,最后为母材;所有焊接工况下的焊接接头硬度相差不大(见图 8)。

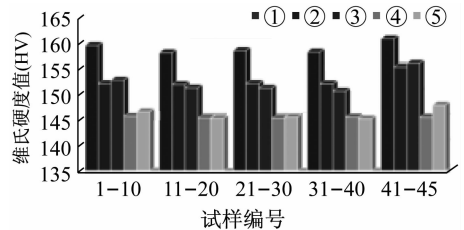
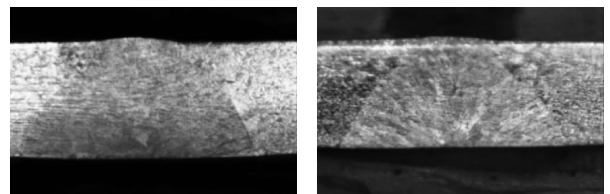


图 8 焊接接头硬度试验结果

2.5 接头宏观及微观组织分析

用目视或 20~30 倍的光学放大镜检查经侵蚀的接头表面,确定其宏观组织及缺陷类型。对材料的不均匀性、宏观组织的分布和类型进行检测评定,同时研究焊缝组织特征,积累焊缝熔深与熔宽数据。

由图 9 可见,焊接接头形状呈梯型结构,管子外侧焊接熔宽 1~10 号焊接接头较窄(平均 4.61 cm),11~20 号焊接接头较宽(平均 5.09 cm),所有焊接接头形貌较好,均已焊透。



a) 11~20 号接头

b) 1~10 号接头

图 9 焊接接头宏观金相图

通过微观组织分析(见图 10),管-管 TIG 自动环焊焊缝组织均为典型的柱状奥氏体枝晶,而熔合区奥氏体呈不规则的等轴晶形态。

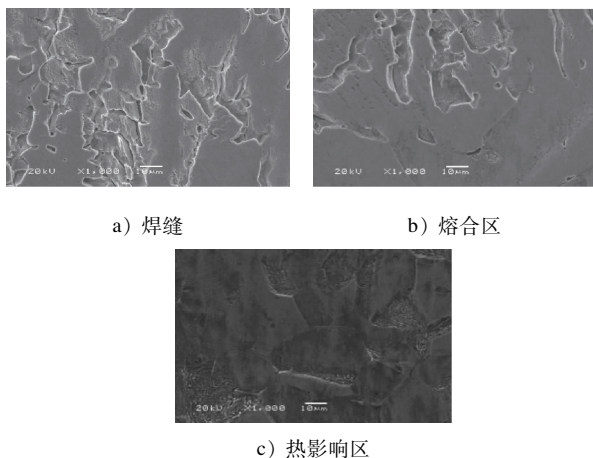


图10 接头焊缝微观组织(放大1 000倍)

3 结论

(1) 为了解决不锈钢轨道客车空调管道焊接密封不严、焊不全问题,根据实际生产条件,采用密封式自动TIG环焊夹具及焊接机头进行焊接可解决该问题并具有可行性。

(2) 对于壁厚为2 mm的不锈钢管材,通过焊接接头无损检测、拉伸、弯曲、硬度等试验,以及宏观、微观组织分析,得出以下结论:采用焊接电压9.5 V、焊接电流90 A、焊接速度100 mm/min、氩气保护

流量15 L/min、钨级伸长30 mm的焊接参数,能够使焊接接头性能相对较好。

(3) 对于壁厚为3 mm不锈钢管材,通过焊接接头无损检测、拉伸、弯曲、硬度等试验,以及宏观、微观组织分析,得出以下结论:采用焊接电压为9.5 V、焊接电流78 A、焊接速度85 mm/min、氩气保护流量15 L/min、钨级伸长30 mm的焊接参数,能够使焊接接头性能相对较好。

(4) 采用环缝全位置自动TIG焊机焊接不锈钢管,其焊缝的硬度、拉伸性能均好于母材,其宏观形貌呈梯形结构,焊缝中心组织为典型的柱状奥氏体枝晶,熔合区奥氏体呈不规则的等轴晶形态。

参考文献

- [1] 马鸣亮. 薄壁不锈钢管环缝全位置自动TIG焊[J]. 焊接技术, 2009, 38(6): 60.
- [2] 姚寿铭. 碳钢管道全位置自动TIG焊[J]. 电焊机, 2011, 12(41): 53.
- [3] 文明. 管子板焊接接头破口形式确定工艺试验[J]. 金属加工(热加工), 2017(20): 28.
- [4] 日本不锈钢协会. 冷轧不锈钢钢板和钢带: JIS G 4305—2005 [S]. 东京: 日本规格协会, 2005.

(收稿日期: 2018-10-11)

(上接第25页)

过程中的力值波动,使吸能结构的碰撞力更加平稳。

(2) 尽管分析过程中存在材料动态性能参数及试验过程中一些潜在的不确定性因素影响,但试验结果相关性表明,该吸能结构的整体碰撞吸能仿真分析与实件试验的结果趋势一致。这种相关性说明,用仿真分析手段对吸能结构进行优化分析方法合理可靠,分析和试验结果误差在10%以内,能够真实反映实际结构的碰撞性能。

(3) 该吸能结构的分析优化和试验验证表明,吸能结构能以有序、可控的方式变形,吸能行程及碰撞力满足预期要求,吸能结构满足EN 15227标准要求。

参考文献

- [1] 王万静, 梁建英, 崔洪举, 等. 铁道车辆车体撞击试验台建设必要性分析及建议[J]. 国外铁道车辆, 2013, 50(6): 1.
- [2] LU Z J, LI B H, YANG, C X, et al. Numerical and experimental study on the design strategy of a new collapse zone structure for railway vehicles[J]. International Journal of Crashworthiness, 2017, 22(5): 488.

- [3] British Standards Institution. Railway applications — Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies: EN 15227—2008 [S]. London: BSI, 2008.
- [4] JACOBSEN K, TYRELL D, PERLMAN B. Impact tests of crash energy management passenger rail cars: Analysis and structural measurements[C]//ASME 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Anaheim: American Society of Mechanical Engineers, 2004.
- [5] TYRELL D, JACOBSEN K, MARTINEZ E, et al. Train-to-train impact test of crash-energy management passenger rail equipment: Structural results[C]//ASME 2006 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Chicago: American Society of Mechanical Engineers, 2006.
- [6] MARTINEZ E, TYRELL D, RANCATORE R, et al. A crush zone design for an existing passenger rail cab car[C]//ASME 2005 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Florida: American Society of Mechanical Engineers, 2005.

(收稿日期: 2018-10-11)