

大功率柴油机机架的双机器人焊接技术*

Dual-Robot Welding Technology of Large Power Diesel Engine Frame

江苏科技大学江苏省先进焊接技术重点实验室 周方明 梁伟 吴 颀 陈丽丽 周慧慧

[摘要] 介绍了国内外焊接机器人在船舶行业中的应用,分析了大功率柴油机机架的结构及焊接技术要求,设计了机架焊接的双机器人工作站,并阐述了该系统的功能特点。最后,根据相关标准要求,进行了试板的机器人 MAG 焊接工艺试验研究,并对焊接接头进行了显微硬度试验、超声波探伤检测以及力学性能试验。试验结果表明,焊接接头性能能够满足要求。

关键词: 柴油机机架 双机器人 焊接技术

[ABSTRACT] The application in domestic and international welding robot in ship industry is introduced. The structure and welding technique of large power diesel engine frame is analyzed. The dual robot workstation of frame welding is designed, and the features of the system is described. Last, according to the related standards, the research of robot MAG welding process test of test plate is carried out, the micro hardness test, ultrasonic flaw detection and mechanics performance test of the welded joint are completed. The experimental results show that the mechanical properties of the welded joint meet the requirements.

Keywords: Diesel engine frame Dual-robot Welding technology

在现代制造业中,焊接技术作为重要的加工手段,占有非常重要的地位^[1]。随着先进制造技术的发展,实现焊接产品制造的自动化与智能化已成为必然趋势。目前,采用机器人焊接已成为焊接自动化技术的主要标志^[2]。焊接机器人因其稳定性好、柔性大、适应性强等特点得到了广泛的应用,主要分布在汽车、工程机械、机车车辆、船舶等行业。

在船舶制造业中,焊接是其重要工艺之一。焊接设备先进与否,在很大程度上制约着船舶建造周期、建造质量、建造能力^[3]。为了加快造船周期、提高船舶质量、减轻焊接工人的劳动强度,世界各国的造船厂都非常重视焊接新技术、新工艺和新设备的推广应用。从 20 世纪 80 年代末开始,日本造船焊接技术的一个显著

特点就是高效化走向智能化、机器人化^[4]。三井的千叶船厂、爱知船厂、日立有明船厂、广岛以及千鹤等船厂都先后在船体建造和管子加工中应用弧焊机器人^[5]。韩国的三星和现代两大集团,在船厂的平面分段流水线骨材的装焊工艺环节也应用了机器人,以提高生产效率^[6]。美国船厂从 20 世纪 80 年代起就将机器人列为船厂的适用技术,阿冯尔船厂在纵桁和横梁流水线上应用机器人进行作业^[7]。2008 年,我国国内第一条“船用管-管、管-法兰焊接机器人生产线”通过江苏省国防工办鉴定,并在上海外高桥造船有限公司投入使用^[8]。

2010 年,全球船用柴油主机约为 $3.68 \times 10^7 \text{kW}$,其中船用低速机约 $3.12 \times 10^7 \text{kW}$,约占整个主机功率的 85%^[9]。低速大功率柴油机作为目前船舶的主要动力,其需求量不断增长,质量要求也越来越高,对其制造技术也提出了更高的要求。目前,柴油机机架的生产还是半自动焊接,机器人焊接技术还未成熟地应用。为了提高生产效率及焊接质量,江苏科技大学开发出了双机器人焊接工作站,该设备将用于大功率柴油机机架的焊接,由于其替代了传统的气体保护焊接,所以需要进行工艺评定试验,以确定其能否满足船级社的认可。

1 柴油机机架的结构及焊接技术要求

柴油机机架作为柴油机的机身,除了承受柴油机自身零部件的重量外,还要受到零部件运动时产生的惯性力,因此机架要有足够的刚度和强度^[10]。低速大功率柴油机的某型号机架结构如图 1 所示,材质主要为船用 B 级钢板,其由导板、筋板、腹板及贯穿螺栓套管组成。

机架的型号较多,不同的机型,尺寸不同,结构上也有一些小的区别。机架的部件都是中厚板,焊缝的坡口形式主要是 K 型坡口,需要采用多层多道焊接工艺,筋板的焊缝由直线、圆弧构成,还含有拐点。另外,机架的焊缝众多,焊接变形很大,因此,需要研究机架的焊接工艺。为了节约成本,针对典型的横焊及平焊焊接位置,进行了试板的机器人焊接工艺试验。

2 柴油机机架双机器人工作站设计及功能特点

2.1 变位机设计

机架型号较多,根据其尺寸,选择了一个旋转轴和

* 国家科技支撑资助项目(B0720060844-06),江苏省高校优势学科建设工程项目资助。

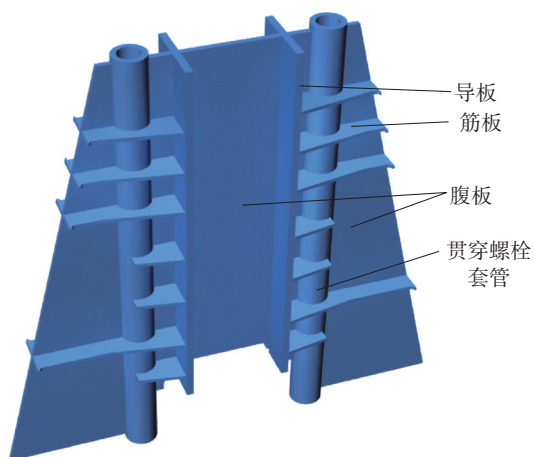


图1 机架结构图
Fig.1 Frame structure

一个直线移动轴的变位机。变位机如图2所示,该变位机吨位较大,满足最大机架的稳定承载,直线轴的移动范围满足各种机型的尺寸大小,变位机上装有专用夹具,可以调整以精确安装各种机架机型。变位机设定翻转360°,满足了机架筋板的正反面施焊。

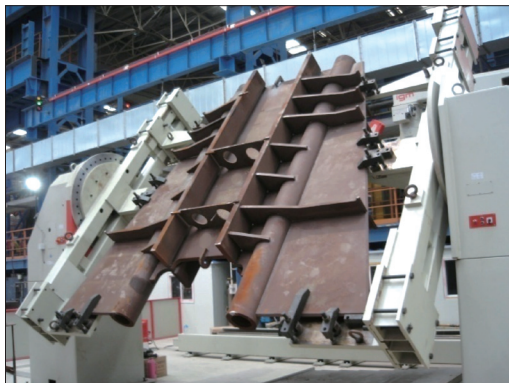


图2 变位机
Fig.2 Positioner

2.2 双机器人工作站设计

机架的焊缝众多,每条焊缝又为多层多道焊接,其变形量大,需要考虑焊缝的焊接顺序,为了控制焊接变形,机架需要对称焊接,因此选用双机器人系统。

由于机架是大型构件,考虑到机架焊接的可达性,系统选用了奥地利生产的IGM悬挂式机器人。机器人本体悬挂在外部轨道的伸出臂上,其包含6个关节轴,能够保证焊接位置所需要的焊接姿态。外部轨道包含两个直线移动轴和一个旋转轴,如图3所示。

由图3可以看出,外部轨道底部有个水平移动轴,其移动范围设计为3500~6500mm,还有一个升降轴,移



图3 外部轨道
Fig.3 External track

动范围设计为1200~3500mm。考虑到安全,两个机器人外部轨道的旋转轴设定为90°,方向相反。变位机安装在两个机器人外部轨道的中间,其直线移动轴与轨道的水平轴方向一致。从外部轨道的行走空间来看,再结合机器人本体的活动范围,双机器人完全能满足各种机架机型的焊接位置需求。另外,外部轨道的水平移动轴可以加长,以满足其他产品的焊接需要。

整个双机器人工作站的硬件系统结构如图4所示,该系统由机器人控制柜、机器人本体、焊接电源、外部轨道系统、变位机、示教盒等组成。

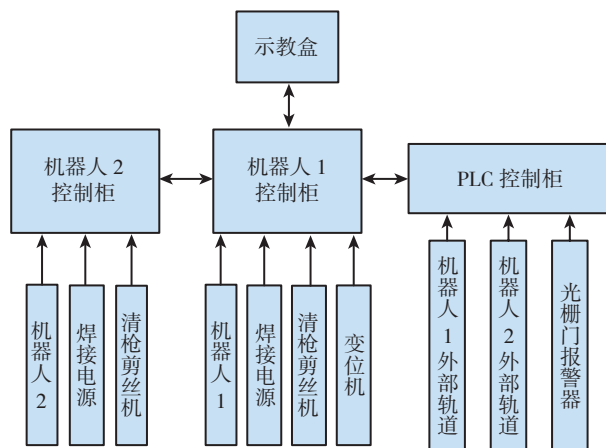


图4 双机器人系统组成
Fig.4 Dual robot system components

实际的双机器人系统场景如图5所示,某型号机架按照精度要求安装在变位机上后,机器人运行编制好的程序,焊接机架的筋板。

2.3 双机器人工作站的功能特点

2.3.1 多层多道焊

双机器人系统有样板焊缝功能,样板焊缝包含了具体的焊接工艺参数以及焊道之间的偏移量。在多层多道焊接程序中,只需要编制焊缝根层的焊接轨迹,然后



图5 机架的双机器人焊接
Fig.5 Dual robot welding of frame

调用样板焊缝,就可以实现多层多道的自动焊接,这大大提高了编程效率。

2.3.2 电弧重起功能

当工件在铁锈、油污等不良条件下引不了弧,机器人系统能够在预先设定的次数内重新起弧,从而减少暂停时间、提高生产效率。

2.3.3 寻踪定位

寻踪定位可以把部分步点程序作为一个整体在空间内做三维平移和旋转。如果工件定位不精确,利用喷嘴寻找工件,即可得出焊缝的位置变化量,从而程序中的对应部分做相应数量的平移和旋转,这样一来就保证了焊接的准确性。

2.3.4 焊缝

在焊接中进行摆动焊接的同时,电弧跟踪功能根据焊接电流反馈值的变化,寻找待焊位置的中心,实时进行电弧与待焊位置中心的偏差调整。实际的电弧跟踪效果如图6所示,焊接位置为角焊,焊接焊缝长度为270mm,电弧跟踪后,纠正最大偏差为10mm。

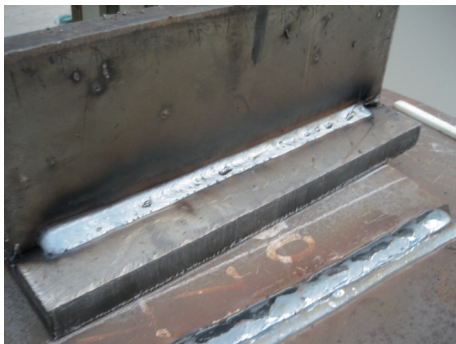


图6 焊缝跟踪
Fig.6 Seam tracking

在多层多道焊接中,若第一道使用了电弧跟踪,实时修正产生的偏移点将自动保存,这些偏移点将在后续的道次中用到。

2.3.5 防碰撞功能

由于操作不合理,导致机器人的各个关节与工件或变位机等相碰撞,防撞力矩传感器在检测到因碰撞而产生的微小力矩后能快速停止机器人的运动,从而可避免机器人发生碰撞损坏。

另外,双机器人系统配备清枪剪丝机、喷硅油装置,能保证焊枪长时间的焊接要求。该系统还能实时监测焊接保护气体、焊机的水冷循环,实现自动报警,从而防止焊接质量及焊枪过热等问题。

3 试板的焊接工艺试验

3.1 焊接方法、设备及材料

试板焊接使用双机器人系统的一台机器人,焊接方法采用MAG焊,保护气体为80% Ar+20% CO₂。母材为船用B级板,选用实芯焊丝,型号为ER50-6,直径为1.2mm,焊接电源采用Fronius的数字化焊机TPS5000。

3.2 焊接接头及坡口尺寸

试板的焊缝长度为250mm,两块板拼装后宽度为400mm,板厚为25mm,焊接位置为平焊和横焊,无装配间隙,留有反变形量约为3mm,并在焊缝两端有定位焊。焊接接头的坡口形式及尺寸如图7所示,焊接前,清理焊缝,并对焊缝两侧20mm范围内进行打磨抛光。

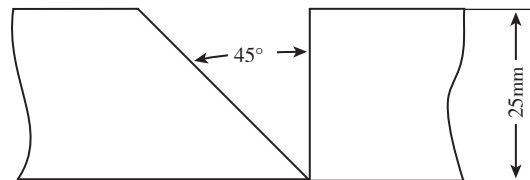


图7 坡口形式及尺寸
Fig.7 Form and size of groove

3.3 焊接工艺参数

平焊与横焊的焊接工艺参数分别见表1、表2,机器人焊接采用左焊法,倾角约为75°,机器人的焊枪姿态因焊接道次而有所不同,目的是保证焊道与焊道之间、焊

表1 试板平焊焊接工艺参数

焊道	电流/A	电压/V	焊接速度/(m·min ⁻¹)	摆幅/mm	摆长/mm
1	260	24.9	0.25	1	2
2	300	30.4	0.3	3	5
3	300	30.4	0.35	—	—
4	300	30.4	0.3	—	—
5	300	30.4	0.3	—	—
6	300	30.4	0.3	3	5
7	300	30.4	0.3	—	—
8	270	28.1	0.3	—	—
9	280	29.1	0.3	—	—

表2 试板横焊焊接工艺参数

焊道	电流 /A	电压 /V	焊接速度 / ($m \cdot min^{-1}$)	摆幅 /mm	摆长 /mm
1	220	14.2	0.25	—	—
2	240	15.9	0.3	5	8
3	240	15.9	0.3	3	7
4	240	15.9	0.3	5	7
5	240	15.9	0.3	4	7
6	240	15.9	0.3	4	7
7	240	15.9	0.3	3	7
8	240	15.9	0.3	5	8
9	240	15.9	0.3	4	7
10	240	15.9	0.3	3.5	8
11	240	15.9	0.3	5	8
12	240	15.9	0.3	5	8
13	240	15.9	0.3	5	8
14	240	15.9	0.3	5	8

道与母材之间有较好的熔合。

3.4 焊接试验结果分析

根据表 1、表 2 的工艺参数,进行了试板的机器人 MAG 焊接工艺试验,焊接完成 24h 后,进行着色探伤,表面无裂纹、气孔等缺陷,再进行超声波探伤,检测出焊缝根部有线缺陷。平焊的焊接接头宏观金相如图 8 所示,横焊的焊接接头宏观金相如图 9 所示。

由图 8、图 9 可知,焊缝的焊道布置合理,焊道间熔合良好,焊缝在母材侧有较好的熔深,但是在打底焊处,



图8 平焊接头的宏观金相

Fig.8 Macro-metallographic of down hand welding joint



图9 横焊接头的宏观金相

Fig.9 Macro-metallographic of horizontal welding joint

存在不同程度的未焊透缺陷,该缺陷深度在根部表面的 3mm 以内,符合规范要求。

4 焊接接头的机械力学性能试验

对焊接接头进行显微硬度试验,平焊的平均显微硬度分别为:母材 212.50HV,热影响区 223.26HV,焊缝 262.85HV。横焊接头的平均显微硬度分别为:母材 212.50HV,热影响区 235.22HV,焊缝 256.42HV。由此可知,母材与热影响区硬度差别不大,焊缝硬度稍高,在合理的范围内。再根据 GL 标准,对焊接接头进行了拉伸、弯曲、0° 冲击等试验。试验结果表明,焊接接头的力学性能符合规范要求。

5 结论

(1) 根据机架的结构特点及焊接技术要求,设计了大功率柴油机机架的双机器人 MAG 焊接系统。

(2) 进行了试板平焊及横焊的机器人焊接试验,试验表明,采用适当的工艺参数后,整个焊缝的布道合理,焊道之间不存在未熔合现象,焊道与母材的熔合良好。

(3) 工艺评定试验表明,机器人 MAG 焊接接头的力学性能良好,整个焊接质量能够达到规范的要求。

(4) 双机器人焊接系统的功能先进、适应性强、焊接质量稳定、生产效率高,能够焊接出质量合格的机架,在造船行业中有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 王元良,戴虹,陈辉. 现代焊接工程在制造业中的作用及其发展. 电焊机,2004,34(11):1-5.
- [2] 林尚扬,陈善本. 焊接机器人及其应用. 北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 张永达,孙成文,于小虎,等. 船舶高效焊接工艺及存在的问题. 造船技术,2009(5):32-35.
- [4] 孙明如. 日本焊接自动化和焊接机器人发展动态,电焊机,1999,29(11):30-31.
- [5] Ushio M, Sugitani Y, Tanaka M. Recent development of high efficiency arc welding systems in Japan. Journal of Lanzhou University of Technology, 2005, 31(30): 25-31.
- [6] Chang S K, Keum S H, Yong S H. Welding robot applications in shipbuilding industry: off-line programming, virtual reality simulation, and open architecture. Industrial Robotics: Programming, Simulation and Application, 2006, 12: 537-558.
- [7] 赵伯捷,曹凌源,郑惠锦,等. 船舶高效焊接工艺及装备. 国防制造技术,2010,6(3):4-11.
- [8] 郝梅. 国内首条船舶焊接机器人生产线投入使用. 现代焊接,2008(2): 10.
- [9] 时志刚,冯明志,高荃. 我国船舶柴油机发展展望. 柴油机,2012(1): 1-3.
- [10] 《船舶焊接手册》编写委员会. 船舶焊接手册(1). 北京:国防工业出版社,1995.

(责编 亦非)