

文章编号:1673-9981(2013)02-0130-06

弧焊机器人单丝 MIG 焊接工艺在海洋工程领域的应用

杨尚玉, 韦宝成, 徐玉强, 王培勇, 徐晓明

海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451

摘要:概述了海洋工程产品的焊接特点、难点、措施及执行的相关技术标准,介绍了海洋工程产品焊接常用的焊接工艺和弧焊机器人在海洋工程产品焊接中的应用现状.通过选择合适的焊接工艺和焊接参数,利用弧焊机器人对海洋工程中的工件进行焊接,结果表明,焊缝具有良好的力学性能,能很好地满足海洋工程产品的服役要求;弧焊机器人系统能够适应海洋工程结构件的焊接工况,可以有效稳定工件的焊接质量,提高生产效率,降低工人劳动强度.

关键词:弧焊机器人;单丝 MIG;海洋工程;焊接自动化

中图分类号:TG409;TG457.11

文献标识码:A

随着我国海洋石油工业的快速发展,海洋工程制造业取得了长足发展.在经济和科技迅猛发展的今天,人们对环境保护倍加关注.低能耗、低排放的生产方式已成必然趋势.为了适应海洋石油工业快速发展的需要,必须进一步提高海洋工程制造技术的现代化水平.

焊接是海洋工程制造中一项重要的工作.实现焊接的自动化、智能化是改善海洋工程作业环境、降低工人劳动强度、实现低能耗生产模式的有效措施.采用弧焊机器人是焊接自动化技术现代化的主要标志.基于海洋工程产品的焊接制造特点和特殊要求,开展弧焊机器人应用于海洋工程领域的研究具有重要的应用价值和现实意义.

本文介绍了用弧焊机器人对海洋工程领域的部件进行焊接.通过这些工件的焊接,说明弧焊机器人在海洋工程领域的应用是可行的,并且具有很大的应用前景.

1 海洋工程产品焊接

1.1 海洋工程产品的特点

海洋工程包含的内容极其广泛,如海上油气的勘探、开发和集输系统等.海洋工程结构,如钻井平台、生产采油用平台、海底管道等,因作业地点在海

上,常年被含盐的大气包围,要经受风暴、波浪、潮流、流冰等的侵蚀,处于非常严酷的腐蚀环境中.此外,石油、天然气的易燃易爆性对海洋工程结构有一定的威胁.由于海洋油气工业的高风险性和海洋工程结构服役的特殊环境,所以对焊接接头的综合机械性能要求比较高.基于上述特点,海洋工程结构在设计、制造过程中必须严格按照相应规范和标准的要求执行.

1.2 海洋工程结构的焊接难点及措施

海洋工程结构的服役条件比较恶劣,与普通钢结构相比较,对海洋工程结构用钢材及其焊缝的综合机械性能要求比较高.对于关键结构部件的钢材要求其具有特殊性能,如Z向性能、塑性疲劳及低温韧性(夏比冲击功及CTOD试验应满足要求).海洋工程结构用钢材包括低碳钢、热轧和正火高强钢、低碳调质高强钢、双相不锈钢及铜镍合金等.这些钢材的焊接特点如下:

(1)海洋工程结构常用的低碳钢的焊接容易产生焊缝接头过热、塑性及韧性下降问题.焊接时应避免热输入过大和冷却速度率过快,尤其是在环境温度较低的情况下焊接厚板、拘束大的结构时,需要焊前预热及焊后保温缓冷.

(2)热轧和正火高强钢焊接时,焊缝热影响区的淬硬性倾向大,塑性、韧性降低,抗应力、腐蚀性能恶

收稿日期:2013-02-04

作者简介:杨尚玉(1981-),男,河北人,工程师,硕士.

化,冷裂纹倾向大.在制定此类钢材的焊接工艺时要特别注意“软组织或临界硬度”的控制.根据结构形式和钢材厚度,确定热输入和预热温度,并采取焊后保温缓冷等工艺措施.

(3)低碳调质高强钢焊接的基本原则是获得低碳马氏体或下贝氏体组织的焊缝热影响区、严格控制焊缝金属中的扩散氢含量(避免产生冷裂纹).

(4)双相不锈钢焊接的技术难点是焊缝金属脆化、抗腐蚀性和冲击韧性下降、凝固开裂敏感性高.选择合适的焊接材料并制定合理的焊接工艺是克服双相不锈钢焊接难点的根本措施.

(5)铜镍合金在焊接过程中容易产生气孔、未焊透等缺陷,铜镍合金焊缝及焊缝热影响区的热裂倾向较大.铜镍合金焊接之前的准备工作尤为重要,如焊接材料及焊缝坡口表面的清理、焊缝接头准备等,减少氢、氧的来源,确保焊缝接头具备相同的传热条件;采用大热输入、高能束的焊接方法,选择合适的焊接材料.

1.3 相关焊接技术标准

我国海洋工程焊接执行的标准多为国际通用的焊接标准,包括钢结构标准、海底管道标准、工艺管线标准以及压力容器标准.

美国焊接学会 ANSI/AWS D1.1 钢结构焊接规范、挪威船级社 DNV-OS-C401 海洋结构建造与试验等规范适用于导管架、组块结构的焊接.美国石油协会 API 1104 海底管道焊接规范、挪威船级社 DNV-OS-F101 海底管道系统规范对海底输油(气)管道和立管的焊接施工有特殊要求.工艺管线焊接执行美国机械工程师协会的 ASME IX 和 ASME B31.3.美国 ANSI/ASME 锅炉与压力容器规范是国际上比较通用和权威的压力容器设计和制造规范;国内普遍采用 GB150 锅炉与压力容器规范及 J4708 钢制压力容器焊接工艺评定、JB/T4709 钢制压力容器焊接工艺规程进行焊接设计.

1.4 常用焊接工艺

焊接方法的选择原则:(1)保证质量;(2)具有较高的生产效率.基于这两项原则,我国在海洋工程结构中采用的焊接工艺如下.

导管架、组块结构的焊接工艺:STT 表面张力过渡焊接工艺(广泛用于制管作业中的封地焊接)、单丝单电源或双丝单电源埋弧自动焊(SAW)、多丝多电源埋弧自动焊、手工电弧焊(SMAW)、自保护药芯焊工艺(FCAW-S)及气保护药芯焊工艺(FCAW-G),其中 FCAW-G 工艺的保护气体为纯

CO₂ 或体积比为 4:1 的 Ar 和 CO₂ 混合气体.导管架、组块陆地预制和海上安装多采用 SMAW, FCAW-S 和 FCAW-G.

海底管道铺设焊接工艺:目前我国海底管道铺设焊接技术已由 SMAW 工艺发展为现在的半自动焊工艺及全自动焊工艺.主要焊接工艺包括 SMAW、STT 表面张力根焊+FCAW-S、熔化极气体保护焊(GMAW,全自动焊接技术).效率低的 SMAW 工艺主要用于焊接返修.

海底管道立管焊接工艺:SMAW、SMAW(封底焊)+FCAW-S.

工艺管线焊接工艺:SMAW、MIG 焊、钨极氩弧焊(TIG).

压力容器焊接工艺:普遍采用 SMAW, SAW, TIG.

1.5 机器人在海洋工程产品焊接制造中应用现状

弧焊机器人具有通用性强、工作可靠的优点,在焊接生产中采用机器人技术,可以提高生产效率、改善劳动条件、稳定和保证焊接质量、实现小批量产品的焊接自动化^[1].在国内弧焊机器人主要应用于汽车制造、工程机械、摩托车、铁路车辆、造船等行业^[2].我国海洋工程结构陆地建造采用的焊接工艺主要是手工焊和半自动焊,弧焊机器人应用于海洋工程制造业的文献鲜见报道.

海洋工程结构属于品种繁多的小批量生产,可视为单件小批量生产模式,而且焊接工件的尺寸较大,难以达到汽车零部件的装配精度,使得弧焊机器人在海洋工程制造领域的推广应用难度较大.在当前世界海洋石油工业工程技术迅猛发展和竞争非常激烈的情况下,为提高我国海洋工程结构建造效率和质量,降低生产周期和成本,研究高效自动化的弧焊机器人在海洋工程结构制造中使用的最佳途径,是一种良好的解决方案.

2 弧焊机器人系统组成及焊接特点

弧焊机器人具有焊接性能可靠、焊缝质量优良、焊接参数调整方便、生产效率高、柔性好等特点,可焊接多种多样的产品,能灵活调整生产安排^[1,3].在焊接生产中采用机器人焊接技术,可以提高生产效率、改善工作环境、保证产品质量、实现小批量产品的焊接自动化^[2].

2.1 弧焊机器人系统组成

弧焊机器人一般由机器人机械本体、控制柜、施

教盒三部分组成,多为交流伺服驱动、6轴自由度.图1为日本发那科 120iC/10L 弧焊机器人,具有 6 轴自由度,活动半径为 2.009 m,能够实现多层多道连续焊接作业.弧焊机器人系统由焊接机器人、焊接电源及送丝机、变位器及其他配套系统构成.典型的弧焊机器人系统如图 2 所示.

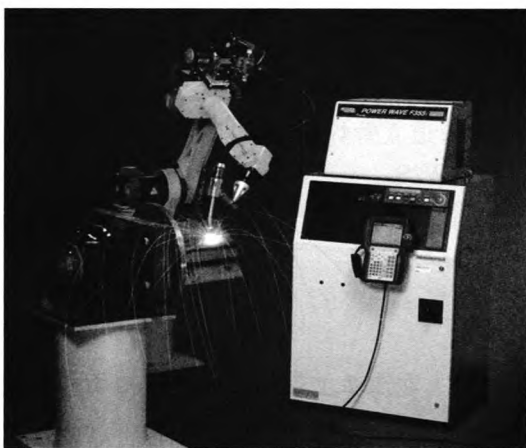


图 1 发那科 120iC/10L 焊接机器人
Fig. 1 Welding robot FANUC 120iC/10L

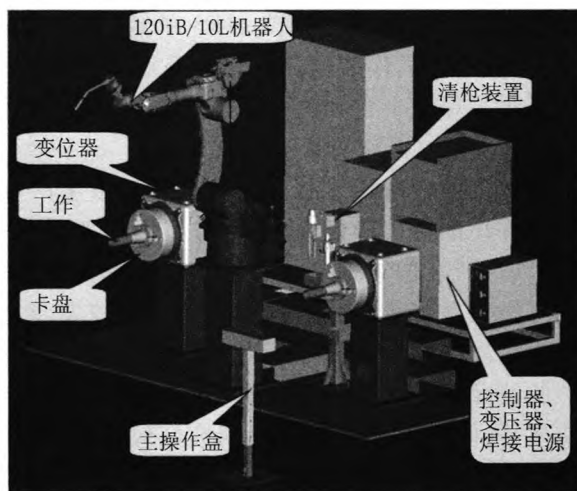


图 2 弧焊机器人系统
Fig. 2 ARC welding robot system

2.2 机器人焊接特点

为了在高性能、低成本等条件下达到最佳配置,可利用机器人 6 轴自由度焊接系统,借助目前先进的模拟设计软件,最大限度地扩大机器人的可焊范围,使得一套机器人系统就能满足现在和今后最大工件的要求.机器人系统应具有电弧自动跟踪、焊缝自动寻找、多层多道焊接、防碰撞等多种功能,以便灵活运用来满足不同中部槽的特殊焊接要求.

具有高性能的带脉冲功能的数字焊接电源

(Powerwave)与送丝机之间的独特连接,为系统提供了同步操作,有能力在复杂的、高速信号波形控制下形成连续的、精确的焊接电弧. Powerwave 可以提供代表目前技术发展水平的焊接能量的控制,可将飞溅和烟气控制在最小的范围内.

3 产品焊接试验

3.1 焊前准备

采用弧焊机器人焊接工件,首要工作就是对弧焊机器人进行施教.工件的焊接是由机器人自动焊接程序通过协调机器人和焊机等部件来实现.对不同的工件可预先编制不同的程序,并保存在系统内,在焊接工件时可调用适当的程序进行焊接.流程如下:先用机器人在工件的引弧板上进行焊缝的初始点寻位,确定焊缝的大体位置;在每条焊缝的打底焊接过程中预先设定几个跟踪点,以确保焊接时焊丝始终处于焊缝中心位置,并实时存储焊缝的变化情况,形成整个工件焊缝的位置数据.在对各焊缝进行填充和盖面的焊接过程中,通过调用机器人电弧跟踪存储的焊缝变化数据来确保焊接位置的准确性,并利用机器人的多层多道焊接功能,设置每层焊道高度,最终完成整个工件的焊接.

3.2 焊接工艺

试验用弧焊机器人系统适用于单丝熔化极气体保护焊工艺(MIG 焊工艺).采用该焊接系统对 6 组平板试验件进行工艺试验,以检验弧焊机器人系统对海洋工程焊接工况的适应能力和焊接能力.

焊接试验用钢板的材质为 GB712-2000 D36,试验件规格为 800mm×200mm×25mm,焊接位置为 1G 平焊,坡口型式为 V 型,坡口角度 60°,钝边 1~2 mm,间隙 1~3 mm,对接坡口型式如图 3 所示.

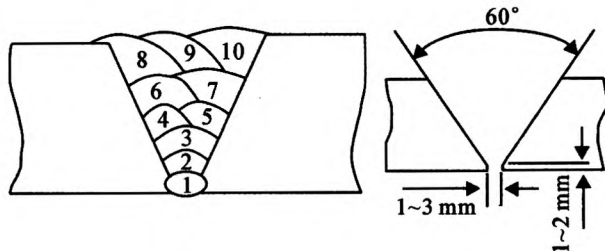


图 3 坡口型式及焊道顺序
Fig. 3 Groove type and welding run sequence

焊接时,采用手工 STT 工艺封底焊(保护气体为纯 CO₂ 气体);弧焊机器人单丝 MIG 工艺填充和

盖面焊(保护气体为 Ar 和 CO₂ 混合气体);焊丝为锦泰的 JM-58,直径 D1. 2mm;焊前预热温度为 30℃,焊后自然冷却。

焊接工艺参数列于表 1. 焊接过程中采用摆动方式,摆动参数为:频率 25 Hz,摆幅 3~4 mm,左停留时间 0.6 s,右停留时间 0.6 s.

表 1 焊接工艺参数
Table 1 Welding parameters

焊道	电流/A	电压/V	送丝速度/(m·min ⁻¹)	气体流速/(L·min ⁻¹)	焊接速度/(mm·min ⁻¹)	热输入/(kJ·mm ⁻¹)	层间温度/℃
1	180~200	19~20	5.08	20	180	1.3	60
2~7	190~210	22~24	6.09~6.35	25	180~220	1.3~1.8	70~110
8~9	170~180	19~20	5.08~5.33	25	200~240	1.2~1.5	110~120

3.3 试验结果与分析

按照 AWS D1.1 的要求,对焊接样品的焊接接头进行无损检验,包括外观检查 VE、磁粉探伤 MT、射线探伤 RT 和超声探伤 UT. 6 个试验件的焊接接头表面成形良好,无气孔、咬边,焊缝余高为 1~2 mm,焊缝增宽量范围在 4~7 mm. 48 h 后的 100% UT 和 100% RT 无损探伤检查,均符合设计标准的要求.

按照标准 AWS D1.1 的要求,对其中一个试验件的焊接接头进行力学性能试验:横向拉伸试验、侧向弯曲试验、夏比 V 型缺口冲击试验(−20℃)、宏观腐蚀及硬度测试. 测试结果分别列于表 2~4.

抗拉强度测试结果(表 2)显示,试验样在母材发生断裂,说明焊接接头的强度高于母材,焊接接头的强度符合设计要求. 冲击试验结果(表 3)显示,焊接接头冲击功的平均值均在 100 J 以上,高于设计值 34 J 的要求. 图 4 为硬度试验的取点图,各点的

硬度测试值列于表 4. 由表 4 可知,最大硬度值为热影响区的 226 HV 10,满足 325 HV 10 的设计要求. 焊接样品的宏观腐蚀照片(图 5)显示,焊缝接头融合良好,无任何缺陷.

表 2 横向拉伸试验结果
Table 2 Transverse tension test results

编号	抗拉强度/MPa	断裂位置
A6	598	母材
A7	589	母材

表 3 冲击试验结果
Table 3 Charpy V impact test results

试验位置	试验温度/℃	缺口类型	冲击功/J
焊接金属中心线	−20	V	127
熔合线+1mm	−20	V	184
熔合线+5mm	−20	V	197
根部焊缝中心线	−20	V	119
根部熔合线	−20	V	269

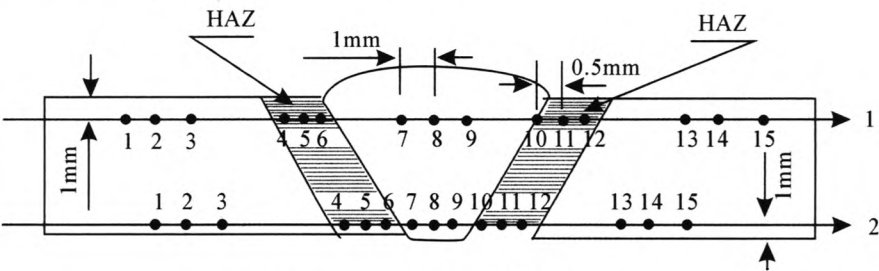


图 4 焊接样品的硬度试验取点图
Fig. 4 The location of hardness tests

表 4 图 4 样品各点硬度的测试值
Table 4 The test results for fig. 4 specimens

样品编号	测量位置的硬度 HV10														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A8-1	161	167	166	220	209	218	193	207	191	211	216	226	180	189	183
A8-2	174	163	158	177	176	187	175	177	176	197	206	197	173	174	186

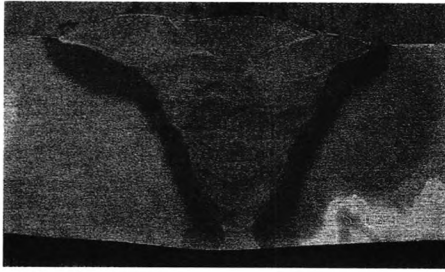


图5 焊接接头的宏观腐蚀图片
Fig.5 The picture of macro etch for welding joint

4 工程应用

依据合格的焊接工艺评定报告,编制了焊接工艺规程,用于指导工程项目的焊接施工.工程中采用弧焊机器人系统焊接的产品有管靴(图6)、加强环板(图7)、裙座(图8)等,使用控制器编制合适的程序即可完成复杂焊缝以及多层多道焊缝的一次性连续焊接,实现了海洋工程产品的全自动连续焊接作业,显著提高了生产效率.



图6 管靴
Fig.6 Shoe



图7 加强环板
Fig.7 Collapse ring

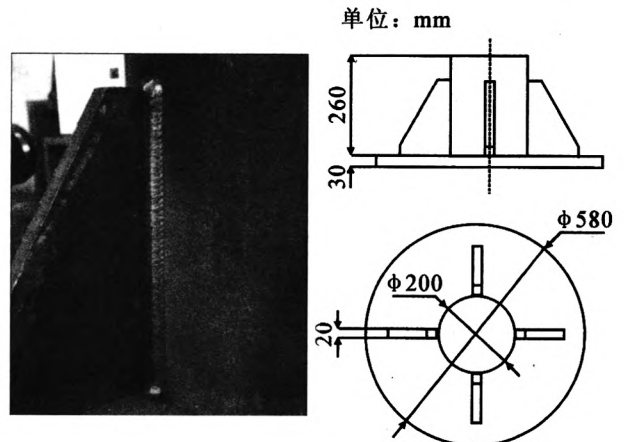


图8 裙座焊接照片及结构形式
Fig.8 The picture and structure type for skirt

5 结论

采用弧焊机器人系统焊接的焊接接头具有良好的强度和韧性,能够很好地满足海洋工程产品的服役要求,试验中所设计的焊接工艺是合理的;采用弧焊机器人焊接工件,可实现海洋工程产品焊接的自动化、智能化,焊接接头质量稳定、焊缝成形良好,提高了焊接效率,降低了工人的劳动强度;同结构类型的产品,实现一次施教,批量重复性生产作业.与传统的MIG焊接相比,极大地提高了焊接效率,改善了工作条件,提升了海洋工程领域焊接自动化水平.

随着海洋油气工业的发展,要求海洋工程产品的制造水平和制造能力得到进一步提升.弧焊机器人全自动MIG焊接技术将起到积极的推动作用,该技术在海洋工程领域具有广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 林尚扬,陈善本,李成桐,等.焊接机器人及其应用[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 林尚扬.我国焊接生产现状与焊接技术的发展[J].船舶工程,2005,27(z1):15-24.
- [3] 郭云曾.焊接机器人及系统介绍[J].焊接技术,2000,29(z1):8-11.

The application of welding robot single wire MIG welding process in offshore oil engineering

YANG Shangyu, WEI Baocheng, XU Yuqiang, WANG Peiyong, XU Xiaoming

China Offshore Oil Engineering Company, Tianjin 300451, China

Abstract: The welding characteristics, technical difficulties and its measures, technical standards for offshore oil engineering are described in general. Welding processes and its application status of arc welding robot used in the offshore oil engineering are introduced. Studies on welding process and welding parameters about offshore oil engineering structures are be done using arc welding robot, and the results showed that the welding line exhibited better mechanical properties and the method of using arc welding robot for welding in offshore oil engineering is feasible. The welding quality and welding efficiency increasaed, and the labor intensity decreased.

Key words: arc welding robot; single wire MIG; offshore oil engineering; welding automation