

# 埋弧自动横焊在船体合拢缝的工艺试验及应用

罗 坚 杨 利 陈天云

广船国际有限公司 广东广州 511457

**摘要:** 讲述采用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊 (FCAW) 加埋弧 (SAW) 自动横焊的组合焊接方法焊接船体大合拢平直横焊缝。通过 FCAW 进行打底封焊和 SAW 填充、盖面的焊接工艺进行试验, 从工艺性能及力学性能方面进行探讨。结果表明, 此工艺的焊接性能较好, 力学性能亦能满足船级社 LR 和 DNV.GL 规范要求。与传统 FCAW 焊接方法进行对比可知, 此工艺能够有效提高焊接质量和工作效率, 并减少劳动强度。

**关键词:** 船体合拢缝; 埋弧自动横焊; 效率; 质量

## Process test and application of submerged arc automatic cross welding in hull closing joint

Jian Luo, Li Yang, Tianyun Chen

Guangzhou Shipyard International Co. LTD Guangzhou, Guangdong 511457

**Abstract:** The combined welding method of CO<sub>2</sub> gas shielded welding (FCAW) and submerged arc automatic cross welding (SAW) was introduced to weld the large closed straight cross weld of ship hull. FCAW was used to weld the bottom seal and SAW filling and covering surface, and the technological properties and mechanical properties were discussed. The results show that the welding performance of this technology is good, and the mechanical properties can meet the requirements of LR and DNV.GL of Classification Society. Compared with the traditional FCAW welding method, it can be seen that this process can effectively improve the welding quality and work efficiency, and reduce the labor intensity.

**Keywords:** Hull joint; Submerged arc automatic transverse welding; Efficiency; Quality

### 前言

面对我国造船事业的快速发展以及日益激烈的市场竞争环境, 为提高竞争力, 造船企业对高效自动化焊接工艺的需求尤为重要。

船体大合拢横缝是船体焊接的主要组成部分, 其焊接效率的提高能有效缩短船体建造周期, 降低建造成本。而在船体大合拢横缝焊接方面, 国内船厂主要采用 CO<sub>2</sub> 半自动焊, 受焊接位置及焊工水平影响, 焊接质量和效率很难得到保证。

埋弧自动横焊具有焊接效率高、焊接质量稳定、焊接操作简单等特点, 目前在国家石油战略储备库以及地方油库的储备罐焊接制造中, 埋弧自动横焊是广泛使用的焊接工艺<sup>[1,2]</sup>, 但在造船行业, 埋弧焊只是大量应用于船体中厚板的平对接拼板焊接, 在船体大合拢横位置对接缝的应用较少。因此, 进行埋弧自动横焊试验, 对于提高我国船舶自动化焊接效率和技术水平, 推进船舶建造技术进步, 降低建造成本具有十分重要的意义。

### 一、焊接方法

船体大合拢横缝目前传统的焊接方法主要是采用 CO<sub>2</sub> 半自动焊, 而埋弧自动横焊又无法直接使用, 因为

受建造精度的影响, 需工人进行二次修割, 导致部分坡口的装配要求达不到标准工艺。为此, 本工艺采用在结构面贴陶瓷衬垫, 并使用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊打底焊来实现单面焊双面成型的目的, 同时为实行埋弧自动横焊进行填充、盖面焊创造条件。考虑到船坞施工周期, 通常一条总段焊缝的焊接难以在一天内完成, 为保证打底焊缝不受焊接内应力以及外部因素影响而产生裂纹, 可以选择使用 FCAW 焊两层打底焊。

### 二、焊接设备与焊接材料

#### 1. 焊接设备选择

埋弧焊设备选择国内某厂家研制的 YS-AGW-P 型埋弧自动横焊机。焊接电源为平特性, 采用等速送丝方式, 额定输出电流为 600A。该设备由 AGW 焊接机架、电源台架及配电控制、行走系统、焊剂回收系统、焊枪位置调节系统、控制箱和送丝机构等部分组成, 除电源台架及配电控制外, 其余全部集中在焊接车上, 机架速度调节范围为 100~2650mm/min。焊接机架通过导轨悬挂于船体外板上, 对外板平直横焊缝进行埋弧自动焊, 如图 1。

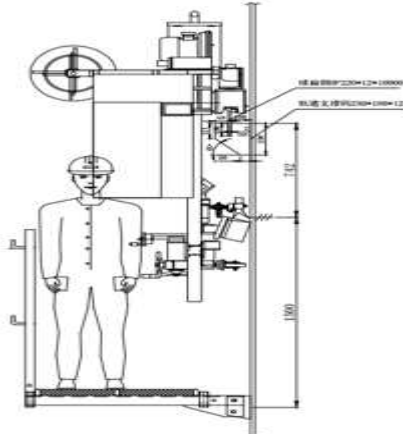


图 1 埋弧自动横焊

## 2. 焊接材料选用

CO<sub>2</sub> 气体保护焊选用常规的药芯焊丝 E71T1-C, 直径 Φ1.2mm。埋弧焊丝选择昆山京群公司生产的 GWL-W14H, 直径 Φ3.2mm, 焊剂选用配套使用的 GXL-122 焊剂, 符合 AWS A5.17-F7A0-EH14 标准, 并取得 DNV. GL、CCS、ABS 等船级社横焊认证。GWL-W14H 的化学成分和机械性能如表 1、表 2 所示, GXL-122 的焊剂成分如表 3 所示。

表 1 GWL-W14H 化学成分 (%)

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
填料金属	0.124	0.04	1.92	0.013	0.003	0.02	0.003	0.01	0.02

表 2 GWL-W14H 机械性能

测试项目	屈服强度 R <sub>eq</sub> /MPa	抗拉强度 R <sub>m</sub> /MPa	伸长率 A/%	冲击试验	
				温度(°C)	能量(J)
测试值	485	571	28	-20	181/190/206 AVE: 192

表 3 GXL-122 焊剂成分 (%)

成分	P	S	CaO+MgO +CaF <sub>2</sub> +MnO	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	含水率 (%)	机械夹 杂物(%)
测试值	0.02	0.01	66.3	14.0	40.4	0.07	0.0001

## 三、焊接工艺试验

### 1. 坡口形式设计

为实现单面焊双面成型的焊接目的, 坡口形式设计成单边 V 型坡口, 如图 2 所示, 坡口角度为上口 35°, 下口 10°, 间隙 6mm。

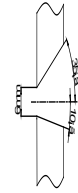


图 2 坡口形式图

## 2. 试验参数

对采用图 1 中坡口形式的试板横缝进行焊接, 第一层采用 FCAW 进行打底焊, 采用 SAW 进行填充和盖面焊。经多次试验, 得到最佳的焊接参数范围, 如下表 4 所示。对试验板焊缝进行 100%MT 和 100%RT 探伤结果均为合格, 后续对此工艺进行工艺评定。

表 4 最佳焊接参数范围

焊道层	焊接方法	焊材规格 / mm	电流 / A	电压 / V	速度 / (cm · min <sup>-1</sup> )	热输入 / (kJ · cm <sup>-1</sup> )
打底层	FCAW	1.2	150~180	26~29	10~22	14.2~23.4
填充层	SAW	3.2	400~450	25~30	40~60	13.5~20.3
盖面层	SAW	3.2	400~450	25~30	40~60	13.5~20.3

## 四、焊接工艺评定

### 1. 评定方案

工艺评定采用上述焊接材料、焊接参数及坡口形式, 试板材质为 DH36 高强钢, 每件试板规格为 1200mm\*200mm\*25mm, 层道间温度控制为 250°C 以下。焊接完成后进行 100%MT 及 100%RT 无损探伤、焊缝及热影响区的冲击性能、焊缝横向拉伸、硬度测试和宏观检测等, 工艺评定按 LR 和 DNV.GL 船级社规范要求进行。

### 2. 探伤及力学性能

(1) 冲击试验。经 100% 无损检测后, 对 SAW 层焊缝中心、熔合线、熔合线 +2、熔合线 +5; FCAW 层焊缝中心、熔合线、熔合线 +2 进行 0°C 冲击韧性试验, 检测数据如表 5 所示, 满足船级社规范最低值 34J 的冲击要求标准。

表 5 焊缝不同位置冲击韧性值

取样位置	温度 / °C	冲击吸收功 / J			
		单个值		平均值	
WM(SAW)	0	114	182	182	159
FL(SAW)	0	163	155	201	173
FL+2(SAW)	0	171	187	200	186
FL+5(SAW)	0	169	172	161	167
WM(FCAW)	0	153	162	150	155
FL(FCAW)	0	156	172	148	158
FL+2(FCAW)	0	178	140	171	163

(2) 焊缝拉伸、弯曲、和硬度试验。对焊缝进行横向拉伸试验, 试验结果显示, 断裂位置均在母材一侧,

数据如下表6所示。弯曲试验所用弯头直径40mm, 弯曲角度180°, 结果表明弯曲试验结果合格。硬度试验所测数值如下表7所示, 可知最大值为235, 满足船级社规范最大值不超过350的要求。

表6 焊缝横向拉伸试验

序号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	断裂位置
试样1	519	母材
试样2	523	母材

表7 HV10 硬度试验结果

试验位置	母材	热影响区	焊缝	热影响区	母材
线A (左→右)	160 162	230 230	178 183	226 213	166 165
线B (左→右)	162 166	199 199	174 169	212 210	180 185
	167	189	180	210	170

(3) 宏观金相试验。

对焊缝接头断面进行宏观检测, 未发现有肉眼明显可见焊接缺陷, 如下图3所示。



图3 宏观焊接缺陷检查

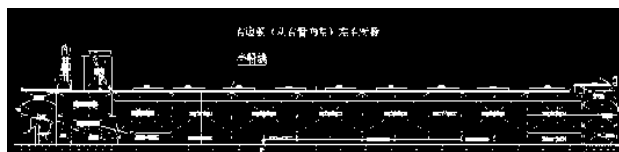
### 五、现场实船应用效果

经过工艺评定试验并取得LR和DNV.GL船级社认可后, 将该工艺在某VLOC船应用, 经过对比之前焊接方法发现, 在同板厚下, 焊道数同比减少1/3, 且焊接效率较快。焊缝成型美观, 极大地减少焊缝打磨量。焊接环境良好, 对焊工无弧光、烟尘伤害。质量方面, 焊接过程稳定, 可减少因断弧而产生的弧坑裂纹, 层道间

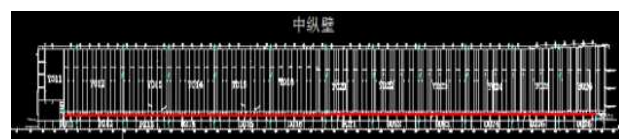
平滑过渡, 避免产生焊缝夹杂和未熔合等焊接缺陷, 经表面探伤发现, 基本无大点状或线状缺陷。

### 六、经济效益和社会效益

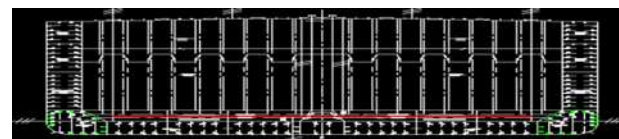
埋弧自动横焊使用后, 综合效率提高了30%, 大大的提高了生产效率, 突破了横焊的焊接瓶颈, 后续将大面积推广使用, 可运用于各型船舶大合拢横缝, 主要集中在船体外板、内壳板和纵横仓壁横对接。



船体外板



船体纵仓壁



船体横仓壁

### 七、结束语

为提高船舶建造的高效焊接自动化率, 缩短船舶建造周期, 为此进行FCAW+SAW组合焊接工艺的横焊试验, 并根据船级社规范要求, 完成工艺评定认可。在现场实船应用中, 得出以下结论:

- (1) 对横位置焊缝采用组合焊接方法, 能够取得良好的工艺性能, 同时满足船级社的相关规范要求。
- (2) 用该工艺焊接船体外板横对接缝, 可有效减少焊缝接施工时间, 且质量稳定, 焊缝成型美观, 可减少焊缝打磨量, 降低动能的消耗, 减少人员的劳动强度, 能达到船厂降本增效的目的。

### 参考文献:

- [1] 高莹, 李桓, 孙勃, 等. 脉冲埋弧横焊工艺在石油储罐焊接中的应用[C]// 第十二次全国焊接学术会议. 2007:149-152.
- [2] 刘泽民, 方平. 大型储罐横焊技术的发展与应用[J]. 电焊机, 2011, 41(3):46-49.