

中厚板平对接双丝双面深熔焊工艺与材料

李宝学¹, 屠涛雄²

1. 舟山中远海运重工有限公司 浙江舟山 316100

2. 武汉天高焊接集团股份有限公司 湖北武汉 430056

摘要: 对船用中厚板平对接双丝双面深熔焊工艺与材料进行研究分析。结果表明: 船用中厚板平对接在不开坡口、不清根条件下, 使用双丝埋弧焊进行双面焊接以达到熔透要求, 拥有良好的无损检测合格率。通过对焊接接头理化性能进行分析, 焊接接头的理化性能满足AH36船用中厚板力学性能要求, 同时对焊接接头微观组织进行分析, 观察微量元素对焊接接头组织的影响。

关键词: 中厚板; 双面焊; 高效; 深熔焊

Process and material of double wire deep penetration welding for flat butt of medium and thick plate

LI Baoxue¹, TU Taoxiong²

1. Zhoushan COSCO Shipping Heavy Industry Co., Ltd., Zhoushan 316100, Zhejiang, China

2. Wuhan Tiangao Welding Group Co., Ltd., Wuhan 430056, Hubei, China

Abstract: The process and materials of double-wire deep fusion welding for marine medium and thick plate flat butt were studied and analyzed. The research showed that the double-wire submerged arc welding was used for marine medium and thick plate flat butt in order to meet the requirements of penetration and have a good inspection pass rate. By analyzing the physical and chemical properties of the welded joint, the physical and chemical properties of the welded joint meet the mechanical properties requirements of AH36 marine plate. At the same time, the microstructure of the welded joint is analyzed to observe the influence of trace elements on the microstructure of the welded joint.

Keywords: medium thick plate; double-side welding; efficient; deep penetration welding

1 序言

在船舶生产制造的整个流程中, 焊接是十分重要的生产环节, 船舶焊接的工作量约占总工作量的35%, 焊接产生的成本最多可占船舶制造总成本的50%左右, 由此可见焊接工艺及焊接材料的应用对船舶制造业具有十分重要的意义^[1]。随着船舶市场的竞争逐渐激烈, 船东船检和船厂也越来越重视船舶建造进度和焊接质量, 焊接作为船舶建造中十分重要的一个环节, 是衡量船舶质量的重要指标

之一, 也是影响船舶生产进度十分关键的节点, 高效焊接技术的应用范围、效率影响到船舶建造的进度。随着焊接技术的稳步发展, 焊接装备与焊接材料日益成熟, 国内外船厂都在努力提高焊接效率。20世纪90年代以前, 常用的手工焊操作现在基本上已被CO₂气体保护焊所取代, 并逐步进入到流水线生产阶段。船舶建造高效焊接技术的应用推广, 不断提高了劳动生产效率, 降本增效, 提高焊接质量, 减少焊接变形, 提高造船精度^[2]。

2 焊接工艺

中厚板平对接双丝双面深熔焊工艺是针对中厚板平对接焊设计的一种高效、深熔的双丝双面埋弧焊接工艺，该工艺不开坡口，不留间隙，无需清根，采用双面焊实现全熔透焊接。焊前对工件的拼装要求较高，拼装间隙需要控制在1mm以内，防止第一道焊接时背面烧穿。焊接时采用两根 $\phi 5.0\text{mm}$ 焊丝同时进行焊接，以达到26mm以内中厚板平对接双丝双面深熔焊。前丝直流，焊枪后倾 8° ；后丝交流，焊枪前倾 10° 。焊接试板尺寸及双丝焊枪如图1、图2所示。

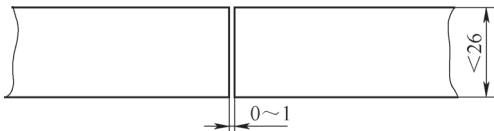


图1 焊接试板尺寸

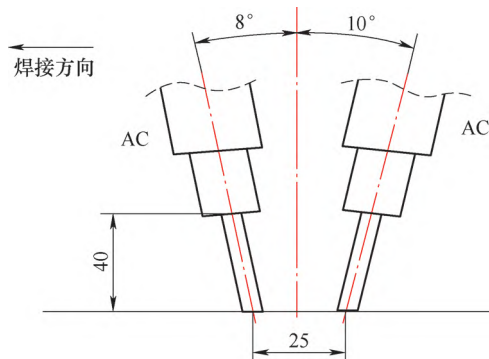


图2 双丝焊枪示意

3 焊接材料、设备及方法

本研究选用母材尺寸为 $1000\text{mm} \times 400\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的AH36钢板，引弧板尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，引出板尺寸为 $200\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，埋弧焊丝为 $\phi 5.0\text{mm}$ 、H10Mn2，焊剂为特种焊剂。焊前对母材AH36进行去污处理。焊接材料化学成分见表1、表2。焊接设备为OTC双丝埋弧焊机，对待焊钢板进行焊接试验，焊接参数见表3，焊缝外观成形如图3所示。

表1 埋弧焊丝化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu
0.07	0.04	1.69	0.015	0.01	0.04	0.09

表2 埋弧焊剂化学成分（质量分数）（%）

CaO + MgO	MnO + Al ₂ O ₃	SiO ₂ + TiO ₂	CaF ₂	P	S
25~35	10~20	10~15	20	0.018	0.009

表3 埋弧焊焊接参数

焊接部位	焊枪	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	热输入/(kJ/cm)
正面	前枪	5.0	1300	60	70	87
	后枪	5.0	600	42		
背面	前枪	5.0	1300	60	70	87
	后枪	5.0	600	42		



图3 焊缝外观成形

对以上试板进行超声波检测，未发现任何缺陷。为进一步了解焊接接头的力学性能，焊后对焊接接头进行性能检测。

3.1 焊接工艺特点

1) 该焊接工艺采用双丝焊接，极性为双交流配置，工件无需开坡口，在组对之前打磨待焊区的油污及氧化皮等杂质；通过合理设计焊枪角度、间距，在大电流焊接的条件下使用双丝双面焊，实现了25mm厚板的平对接熔透焊接。

2) 该焊接工艺采用双面单道焊接，通过大电流熔化母材实现大熔深的效果。在大电流及大热输入的焊接条件下，必须匹配相应能满足工艺及力学性能的焊接材料。这主要体现在对烧结焊剂性能的要求上，要匹配能适应大电流焊接，气体分解少，熔融状态下流动性好，以及具有一定抗裂性的焊剂；常见的主要是铝碱型与氟碱型焊剂，此类焊剂更适应于热输入在 50kJ/cm 以内的焊接工艺，但在大热输入焊接条件下使用时容易出现焊接过程不稳定、表面成形不良、焊缝内部缺陷等问题。

3) 该焊接工艺无需开坡口，可减少焊接层道次，提高焊接效率，为生产制造企业提高生产效率。

3.2 焊接设备特点

1) 焊接设备：该焊接工艺为不开坡口双面焊接，为保证双面焊接的熔透率，焊缝的熔深要深且宽，以提高双面焊接熔透的容错率。常规埋弧焊机电压输出国家3C标准的上限一般为44V，并不能达

到工艺要求,焊接电源的最大输出电压需达到60V才能满足焊接工艺要求。因焊接电流较大,故电源功率选择考虑单台1500A或两台1000A并联,以保证足够的功率储备。

2)跟踪系统:焊接过程中的跟踪系统可适用两种形式,小车形式可采用人工校准跟踪,龙门形式可采用激光跟踪。

3.3 焊接材料特点

1)按照船舶建造及船级社规范要求,焊接接头应具有良好的低温冲击性能、弯曲性能、强度等一系列力学性能(焊接接头与钢板等强等韧),因此一般多采用高碱度的氟碱型渣系,如目前常用的SJ101系列焊剂,其碱度 $B_{IIW}=1.8\sim 3.5$,渣系主要组成 $CaF_2+MgO+CaO+SiO_2$ 等。但该类焊剂由于碱型氧化物含量较高,如 MgO 熔点为 $2800^{\circ}C$, CaO 熔点为 $2572^{\circ}C$,熔渣的熔点过高,导致焊缝整体的流动性较差,因此在大热输入条件下工艺性能欠佳,主要表现为焊缝铺展不开(焊缝窄且余高过高)、表面纹路粗大、易产生咬边等^[3]。为此,设计焊剂为中性合金型焊剂,焊剂碱度根据国际焊接协会标准 $B_{IIW}=1.5$,焊剂主要熔渣为 $MgO+SiO_2+TiO_2+CaF_2$ 体系,能满足大热输入条件下良好的焊接工艺性能;因其焊接工艺为不开坡口熔化母材焊接,所以焊剂需要具备较好的流动性,在焊接过程中可使焊缝充分铺展开,避免产生表面焊缝余高过高的情况。焊剂通过合理的渣系调配,增加如 TiO_2 、 SiO_2 等氧化物,以降低熔渣的熔点,增加焊缝整体的流动性,使其在焊接过程中熔敷金属能均匀填充,拥有良好的表面焊接成形。

2)在不开坡口情况下焊接,焊缝整体熔池冷却速度较快,焊剂中通过加入低熔点氧化物来降低熔渣整体熔点,使熔敷金属中的杂质和气体有充分时间浮出焊缝,同时配合Si系合金脱氧,能有效地降低焊缝夹渣和气孔产生的概率。

3)此工艺在不开坡口的条件下,焊缝大部分为熔化母材(钢板)金属,在母材与焊接材料杂质含量偏高的情况下,在焊缝中心容易产生焊缝纵向热裂纹,因此对焊接材料的杂质含量将提出较高要求。首先保证焊丝/焊剂中的S、P杂质含量(质量分数) $<0.03\%$,同时在焊剂中加入适当Mn系合金与Mn系氧化物,使焊接过程中向焊缝过渡合金Mn,

从而提高焊缝整体抗裂性;焊剂在使用过程中要烘干处理,防止因焊剂受潮而向焊缝过渡氢。

4)为进一步提高大热输入条件下的焊接接头力学性能,在焊剂中还需添加Ce等稀土氧化物,Ce为强脱氧、脱硫元素,在焊接过程中通过冶金反应形成氧硫夹杂物,成为焊缝金属中诱导针状铁素体(Acicular Ferrite,简称AF,又称为晶内铁素体,Intergranular Ferrite,简称IGF)形核的核心,使焊缝金属中AF形核、长大,达到细化焊缝金属晶粒、提高焊缝金属低温冲击性能的目的^[4]。

4 焊接接头性能试验及结果分析

焊接接头性能检测内容:焊缝化学成分、焊缝金属拉伸性能、焊接接头冲击性能、焊接接头宏观金相、焊接接头硬度及焊接接头微观金相。

(1)焊缝化学成分 焊缝化学成分检测使用德国布鲁克X射线荧光光谱仪进行分析,结果见表4。

表4 焊缝化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti
0.07	0.18	1.58	0.014	0.005	0.02	0.012

(2)焊缝金属拉伸性能 焊缝金属拉伸性能试验依据GB/T 2652—2008《焊缝及熔覆金属拉伸试验方法》,检测结果见表5。由表5可知,焊接接头强度满足中国船级社船标对AH36钢的强度要求,同时拥有良好的延展性能。

表5 焊缝金属拉伸性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)
449	566	26
455	564	27

(3)焊缝金属冲击性能 焊缝金属冲击试验依据GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》,检测结果见表6。由表6可知,焊接接头冲击吸收能量满足中国船级社船标对AH36钢的韧性要求,同时具有良好的韧性储备。

表6 冲击试验结果 (J)

取样位置	20℃冲击吸收能量
焊缝中心	133、125、118
热影响区	159、117、128

(4)焊接接头宏观金相 焊接接头宏观金相如图4所示。由图4可知,焊接接头已熔透,无夹杂、

气孔等缺陷,符合中国船级社船标要求。

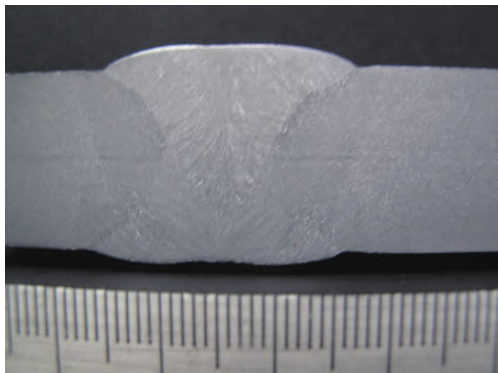


图4 焊接接头宏观金相

(5) 焊接接头硬度检测 焊接接头硬度检测结果如图5所示。由图5可知,根据中国船级社船标要求,焊接接头各区硬度均 $\leq 350\text{HV}$ 。

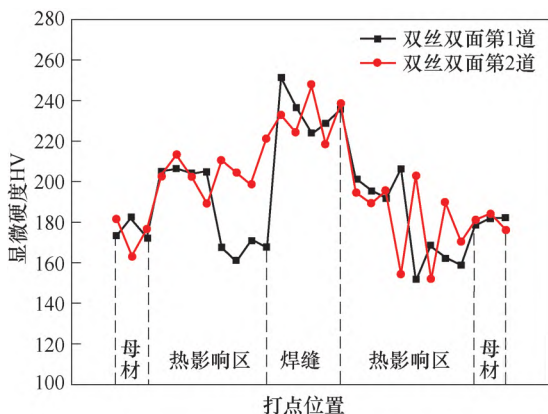
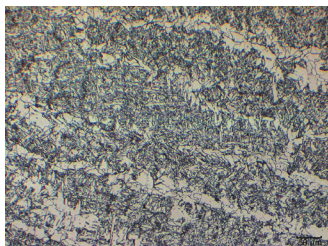
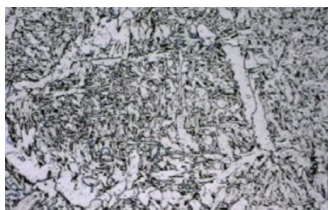


图5 硬度检测结果

(6) 焊接接头微观金相 对焊接接头两焊缝熔合区进行微观金相组织观察,如图6所示。



a) 焊缝区 (200×)



b) 熔合线 (200×)

图6 焊接接头微观金相组织

由图6可知,钢板在大热输入焊接条件下,焊缝区域有局部组织粗大现象,但仍有大量针状铁素体形成,Ce元素能够细化焊缝金属中的夹杂物,但对于微量元素的过渡量控制尤为重要,过多容易造成偏析,过少则不能起到细化晶粒的作用。李远远^[5]通过研究发现,细小的夹杂物增加了焊缝中针状铁素体形核的质点,当焊剂中 $w_{\text{CeO}_2} = 3.0\%$ 时,过渡到焊缝中的Ce元素可使焊缝金属中夹杂物密度最大,此时焊缝中针状铁素体含量(体积分数)高达75%以上。虽然熔合线附近粗晶区组织晶粒有所增大,但能满足标准要求。

5 结束语

- 1) 不开坡口25mm船用中厚板AH36钢平对接焊,采用双丝双面单道焊接,可以达到熔透要求。
- 2) 船用中厚板平对接焊缝采用双丝双面单道焊接,无需反复多次翻面焊接,焊接效率得到提升。
- 3) 通过对焊接材料的优化,在大热输入条件下,焊接接头满足钢板性能要求。

参考文献:

- [1] 宋江斌, 万多豪, 王立军. 船舶焊接方式及其焊接缺陷的控制研究[J]. 科技创新导报, 2020 (6): 65-66.
- [2] 洪森, 彭茂清. 高效焊接技术在船舶建造中的应用及推广[J]. 广东造船, 2018, 37 (1): 76-78.
- [3] 李今朝, 胡思雨, 黄浩. 大线能量埋弧焊烧焊焊剂研究[J]. 热加工工艺, 2016, 45 (23): 241-242, 244.
- [4] 余圣甫, 邓宇, 黄安国, 等. 稀土 Ce 在大热输入焊缝金属中的作用[J]. 中国科技论文, 2017, 7 (8): 612-615, 626.
- [5] 李远远. Ce合金化下FAB法埋弧焊缝组织与性能研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2018.

MW 20240507