

中厚板H型钢高效全熔透焊工艺和焊接材料研究

屠涛雄¹, 王智国², 易武强¹

1. 武汉天高熔接股份有限公司 湖北武汉 430056

2. 广船国际有限公司 广东广州 511400

摘要: 对中厚板H型钢主角焊缝不开坡口熔透焊工艺及接头焊接工艺与焊接材料进行试验研究, 实现了中厚板H型钢主角焊缝不开坡口熔透焊达到熔透要求, 拥有良好的无损检测合格率, 焊接变形小, 生产效率高。通过对焊接接头进行性能检测, 结果表明: 焊接接头不低于Q355B钢力学性能要求。

关键词: H型钢; 双面焊; 高效; 焊接材料

Efficient full penetration welding technology and material for medium thick plate H-shaped steel

TU Taoxiong¹, WANG Zhiguo², YI Wuqiang¹

1. Wuhan Tian-Gao Welding Co., Ltd., Wuhan 430056, Hubei, China

2. Guangzhou Ship International Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China

Abstract: Analyze the weld penetration welding technology and joint flaw detection of H-shaped steel plate without groove. The research shows that the weld penetration welding of H-shaped steel plate without groove can meet the requirements of penetration and has a good flaw detection rate. Through the analysis of the weld joint performance, the weld joint can meet the mechanical performance requirements of Q355B.

Keywords: H-shaped steel; double-sided welding; high efficiency; welding material

1 序言

H型钢具有质量轻、刚度好、质量优、外观美、施工方便及施工速度快等优点, 被广泛应用于建筑钢结构。近些年, 随着厚板在建筑钢结构的应用, 为提高主角焊缝焊接效率, 双丝、三丝及多丝门式埋弧焊机已逐渐应用于生产中^[1]。在H型钢主角焊缝全熔透焊接工艺方面, 常规的开坡口、反面清根, CO₂气体保护焊打底和填充、埋弧焊盖面的焊接工艺, 在腹板厚度14~25mm的H型钢制作中仍然被普遍采用^[2]。

为了减少工序、降本增效, 在多丝门式埋弧焊机上实现中厚板H型钢主角焊缝反面不清根焊接, 达到全熔透工艺尤为重要^[3]。本研究采用双丝埋弧

焊机, 通过合理的焊接工艺匹配专用的埋弧焊接材料, 使腹板板厚为25mm的H型钢主角焊缝在不开坡口的情况下达到了全熔透要求, 解决焊缝中容易产生缺陷问题, 提高焊缝无损检测合格率。

2 焊接工艺

中厚板H型钢不开坡口熔透焊工艺是针对厚板H型钢对接焊开发的一种高效、深熔的多丝埋弧焊接工艺, 焊接工艺不开坡口, 不留间隙, 无需清根的双面焊接, 焊接时工件与地面倾角为25°, 焊枪根部距离翼缘板一根焊丝的距离为4~5mm, 采用两根 $\phi 5.0$ mm焊丝同时进行焊接, 以达到板厚14~25mm的中厚板H型钢不开坡口熔透焊。前丝直流,

焊枪后倾8°，后丝交流，焊枪前倾10°。焊接工艺及双丝焊枪位置关系分别如图1、图2所示。

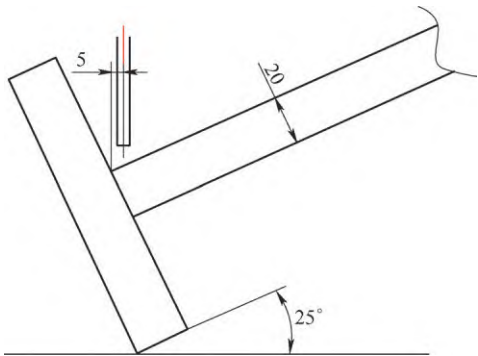


图1 焊接工艺

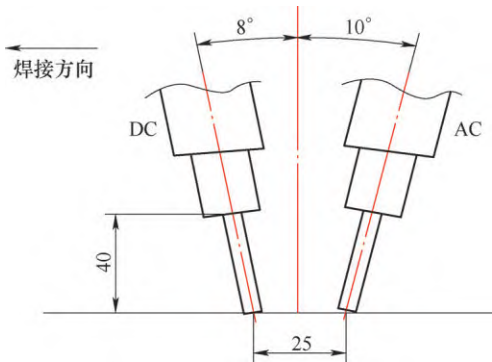


图2 双丝焊枪位置关系

3 试验材料、设备及方法

本研究选用母材尺寸为1000mm×400mm×25mm的Q355B钢板，引弧板尺寸为100mm×100mm，引出板尺寸为200mm×100mm，埋弧焊丝为H10Mn2，焊丝直径为5.0mm，焊剂为高锰合金系特种焊剂。焊接材料化学成分见表1、表2。采用林肯DC1500+AC1200埋弧焊机对待焊钢板进行焊接试验。焊接时先焊面与后焊面焊接参数分别见表3、表4。

焊缝焊接24h后，对熔透角焊缝进行超声波检测，均未发现任何缺陷，焊缝外观如图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
20~25	40~50	20~25	5~10	0.018	0.009

表3 先焊面焊接参数

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)
前枪	5.0	1100	32	48	81
后枪	5.0	850	35		

表4 后焊面焊接参数

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)
前枪	5.0	980	32	48	72
后枪	5.0	750	35		

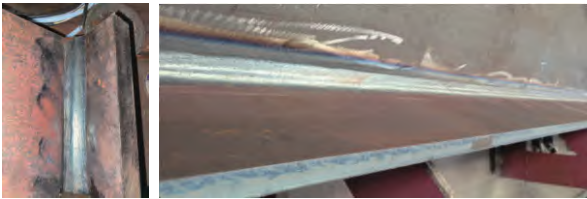


图3 焊缝外观

4 焊接工艺特点

1) 焊接工艺采用双丝焊，极性为前丝直流、后丝交流配置，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、间距及工件的倾斜角度，实现在大电流焊接的条件下完成25mm厚腹板的熔透焊接。单面一次成形，焊接产生的焊接内应力多为横向收缩应力，垂直应力小，产生角变形小；而传统多层多道焊接工艺，由于每一层道的累加，产生的焊接内应力大。因此，制造厂家多采用不断翻身焊接，用来平衡焊接产生的内应力。但是往往翻面后第一道焊缝处理不当还是会出现焊接应力裂纹，因为多层焊每层焊缝少而薄，焊缝被拉裂的概率高。而一次成形焊接熔池的焊缝多且厚，焊接内应力小，因此相应产生焊接内应力裂纹的概率也小^[4]。

2) 焊接工艺采用双面单道焊接，通过大电流熔化母材来实现大熔深的效果。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，主要体现在烧结焊剂的性能上，需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，若在大热输入焊接条件下使用，则容易出现焊接过程不稳定、表面成形不良、焊缝内部无损检测缺陷等问题，如图4所示。



a) 气孔



b) 夹渣



c) 裂纹

图4 焊接内部缺陷

3) 因本工艺无需开坡口, 故可减少焊接层道次, 提高焊接效率。

5 焊接材料特点

1) 焊剂为中性合金型焊剂, 根据国际焊接协会标准, 焊剂碱度 $B_{IIW} = 1.5$, 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; 焊剂通过合理的渣系调配, 使其在焊接过程中金属液能均匀淌平, 拥有良好的焊接成形及焊脚尺寸。

2) 因角焊缝整体熔池冷却速度较快, 焊剂中加入低熔点氧化物降低熔渣整体熔点, 使熔融金属液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, 所以能有效降低焊缝夹渣和气孔的产生概率。

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, 若母材与焊接材料在杂质含量偏高情况下, 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提出较高的要

求。首先, 保证焊丝、焊剂中的S、P杂质含量 $< 0.03\%$, 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, 能提高焊缝整体抗裂性; 焊剂在使用过程中必须烘干处理, 防止因焊剂受潮而向焊缝过渡氢; 因焊接热输入较大, 熔池合金会有一定烧损, 通过焊剂中的Mn、Si过渡来保证焊缝的合金成分, 使焊接接头拥有一定的强度与韧性。Ti-B系细化铁素体组织晶粒是十分明显的, 通过焊剂过渡Ti与B共同作用, 细化熔池组织和晶粒^[5]。

6 焊接接头性能试验及结果分析

为进一步检测焊接接头的理化性能, 进行了焊接接头性能测试。焊接接头性能检测内容为: 焊缝金属化学成分、焊缝金属拉伸试验、焊接接头冲击试验、焊接接头宏观金相和焊接接头硬度测试。

(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, 分析结果见表5。

表5 焊缝化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti
0.06	0.16	1.59	0.013	0.004	0.02	0.012

(2) 焊缝金属拉伸性能 焊缝金属拉伸试验依据GB/T 2652—2008《焊缝及熔覆金属拉伸试验方法》进行, 结果见表6。

表6 焊缝金属拉伸性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)
458	556	26
449	544	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》进行, 结果见表7。

表7 冲击试验结果 (J)

取样位置	20℃冲击吸收能量
焊缝中心	128、133、129
热影响区	98、102、95

(4) 焊接接头宏观断面 焊接接头宏观断面形貌如图5所示。由图5可知, 接头熔合良好, 无裂纹、未熔合、夹渣及气孔等焊接缺陷。

(5) 焊接接头硬度测试 焊接接头硬度测试按照GB/T 50661—2011《钢结构焊接规范》进行, 硬

度测试点位置如图6所示,检测结果见表8。



图5 宏观断面形貌

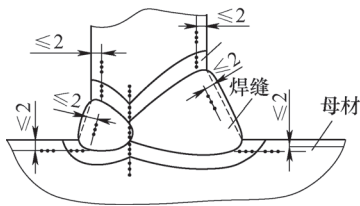
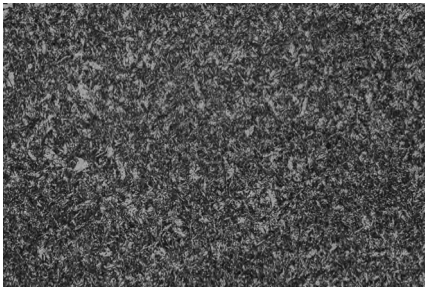


图6 焊接接头硬度测试点位置示意

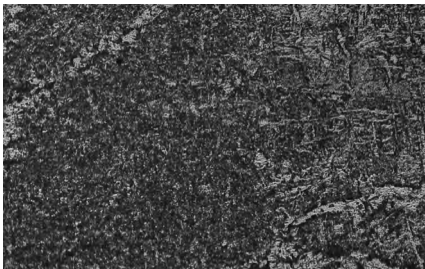
表8 硬度检测结果 (HV10)

硬度测试位置	硬度
焊缝	235、248、239
热影响区	279、268、265
母材	189、178、195

(6) 焊接接头微观金相 对焊接接头焊缝及熔合区进行金相检查,微观组织如图7所示。



a) 焊缝区



b) 熔合线

图7 焊接接头微观组织 (200×)

(7) 性能检测结果分析 主要包括以下几个方面。

1) 根据GB/T 50664—2011要求,通过对焊接

接头各项性能指标进行检测,得出焊接接头力学性能可以满足不低于Q355B钢材性能的要求。

2) 通过对焊接接头进行性能测试,得出焊接接头强度及塑性均较好。通过对焊接接头进行微观金相观察,可看出钢板在大热输入焊接条件下,熔合线附近粗晶区组织晶粒有所增大,但仍能满足标准要求。

7 结束语

1) 25mm厚H型钢中厚板不开坡口,采用双丝焊接可以实现双面单道焊,并达到熔透要求。

2) 中厚板采用双面单道焊接,焊接角变形小,焊接裂纹敏感度低,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,焊接接头满足不低于Q355B钢板性能的要求。

参考文献:

- [1] 韩国明. 焊接工艺理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 乔江伟. H型钢免清根全熔透焊接工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2016(22): 62-64.
- [3] 张建平, 滕骐, 阙子雄. H型钢双丝埋弧焊不清根全熔透焊接工艺[J]. 电焊机, 2018, 48(5): 9-14.
- [4] 屠涛雄, 李华, 赵永状. 70mm厚板高效焊接工艺及接头性能研究[J]. 金属加工(热加工), 2020(9): 12-15.
- [5] 屠涛雄, 严汉光, 赵永状, 等. 150mm超厚板多丝高效焊接技术[J]. 金属加工(热加工), 2021(11): 20-23.

MW 20240615