

中厚板低合金钢 Q345R 埋弧焊接工艺研究

陈思远,薛根奇,张颖杰,郑延召,王斌

(河南平高电气股份有限公司,河南 平顶山 467001)

摘要:研究了 Q345R 低合金钢 H10Mn2 焊丝和 SJ101 焊剂焊接工艺,结果表明,焊接接头抗拉强度达到 517 MPa,大于母材最低值 490 MPa,−20 ℃ V 型低温冲击功吸收值最小值 98 J,高于最低要求 41 J;焊接接头达到 NB/T 47013.2-2011 能标 I 级要求,选择的焊接材料和制定的焊接工艺满足 Q345R 中厚板低合金钢埋弧焊的质量要求。

关键词:Q345R;埋弧焊;焊接工艺评定

中图分类号:TG445 文献标识码:A

Research on Submerged Arc Welding Technology of Medium Thick Low Alloy Q345R Steel Plate

CHEN Siyuan, XUE Genqi, ZHANG Yingjie, ZHENG Yanzhao, WANG Bin

(Henan Pinggao Electric Co. Ltd., Pingdingshan 467001, China)

Abstract: The welding process of Q345R with H10Mn2 as welding wire and SJ101 as welding flux was studied. Results showed that the tensile strength of the welding joint reached 517 MPa, higher than the minimum 490 MPa of the base material, and that the minimum value of −20 ℃ low temperature V-shaped impact energy absorption was 98 J, higher than the minimum requirement of 41 J, so the welding joint could meet the I grade requirement of NB/T 47013.2-2011. It manifested that the chosen welding materials and the welding process could satisfy the quality requirement for the submerged arc welding of Q345R medium thick low alloy steel.

Keywords: low alloy steel Q345R; submerged arc welding; welding process research

电锅炉压力容器钢壳体材料为 25 mm 中厚板 Q345R 钢,需要用埋弧焊进行钢壳体纵焊缝、环焊缝的焊接。Q345R 钢是一种低合金高强度钢,根据 GB 713—2014《锅炉与压力容器用钢板》标准分类,由 16MnR、16Mng、19Mng 3 个钢号合并而成。埋弧焊由于自动化程度高、焊缝质量好,焊接时没有烟雾、弧光产生,在各种压力容器钢壳体的焊接生产中得到了广泛应用。以 25 mm 板厚 Q345R 钢的纵缝埋弧焊为研究对象,通过焊接工艺试验与评定,确认所制定的埋弧焊工

艺能够满足 25 mm 板厚 Q345R 钢的焊缝质量要求。

1 Q345R 钢的焊接性分析

1.1 试验材料

试验材料选用 25 mm 厚 Q345R 钢,材料化学成分如表 1 所示。

收稿日期:2020-04-27

作者简介:陈思远,男,1977 年生,工程师,主要从事焊接工艺及自动化技术研究。E-mail:chenxanrui@163.com

表 1 Q345R 钢的化学成分

Table 1 Chemical composition of Q345R steel (w)

C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Nb	V	Ti	Mo	P	S	%
0.18	0.24	1.6	0.02	0.04	0.07	0.001	0.001	0.012	0.007	0.015	0.003	

1.2 Q345R 钢的焊接冷裂性分析

钢材的焊接冷裂纹敏感程度取决于钢材淬硬倾向, 常用 C_E (国际碳当量公式)来评价钢材的焊接冷裂倾向。当 C_E 超过 0.60% 时, 钢材的冷裂倾向显著增加, 淬硬倾向随之增加^[1]。

$$C_E = w(C) + w(Mn)/6 + (w(Cr) + w(Mo) + w(V))/5 + (w(Ni) + w(Cu))/15 \quad (1)$$

将表 1 中所列 25 mm 板厚 Q345R 钢的化学成分数值代入式(1), 计算结果为 $C_E \approx 0.47\%$, 小于 0.60%, 说明 Q345R 钢材的焊接淬硬倾向不大, 材料焊接性较好, 可以不需要预热或稍加预热。

1.3 Q345R 钢的焊接热裂性分析

合金钢焊接的热裂纹倾向一般采用热裂纹指数 H_{es} 评定, 若 $H_{es} > 4.0$, 则说明该钢种在某种工艺条件下会产生热裂纹。

$$H_{es} = \{w(C)(w(S) + w(P) + w(Si))/25 + w(Ni)/100\} \times 10^3 / (3w(Mn) + w(Cr) + w(Mo) + w(V)) \quad (2)$$

将表 1 中化学成分代入式(2), 计算结果为 $H_{es} = 1.05$ 。可见, 焊接时只要选用合适焊接材料和正确工艺参数, 可以避免焊接热裂纹的产生^[1]。

2 Q345R 钢埋弧焊的焊材选择

能标 NB/T 47015—2011《压力容器焊接规程》中对 Q345R 低合金钢推荐的埋弧焊焊丝为 H10Mn2, 配套的推荐焊剂有 HJ431、HJ350、SJ101 3 种。当被焊接材料确定以后, 焊缝的化学成分在很大程度上取决于焊丝、焊剂的选配。焊丝在焊接时熔化, 进入熔池, 起到填充和合金化的作用。焊剂在焊接时起着隔离空气、保护焊接金属不受空气侵害, 对熔化金属进行冶金处理。H10Mn2 为高锰实心埋弧焊丝, HJ431 为高锰高硅低氟熔炼型焊剂, HJ350 为中锰中硅中氟熔炼

型焊剂, SJ101 为氟碱性烧结型焊剂。国内丁鑫、李歆怡等对 Q345R 低合金钢埋弧焊使用 H10Mn 焊丝搭配 HJ431、HJ350、SJ101 3 种焊剂进行了系统性的研究, 得出 H10Mn2 焊丝搭配 SJ101 碱性焊剂进行埋弧焊可使所得焊缝获得最佳的低温冲击韧性^[2-3]。GB 713—2014《锅炉和压力容器用钢板》相比前版, 将冲击功要求最小值由 34 J 提高到 41 J, 同时, 根据要求, Q345R 钢板可进行-20 ℃ 低温冲击试验, 代替 0 ℃ 冲击试验, 其冲击吸收能量值应符合标准中规定的 0 ℃ 冲击功要求。选用 $\phi 3.2$ mm 的 H10Mn2 焊丝搭配 SJ101 焊剂作为 25 mm 板厚 Q345R 钢埋弧焊的焊接材料。H10Mn2 焊丝、SJ101 焊剂按照 GB/T 12470—2018《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》进行合格验收, 其化学成分如表 2、表 3 所示。

表 2 试验用焊丝的化学成分

Table 2 Chemical composition of the welding

wire used in the test (w)

%

C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	S	P	%
0.058	0.039	1.720	0.028	0.022	0.011	0.022	0.008	

表 3 试验用焊剂的化学成分

Table 3 Chemical composition of

the welding flux used in the test (w)

%

MgO+CaO	Al ₂ O+MnO	SiO ₂ +TiO ₂	CaF ₂	S	P
30	24	25	20	0.031	0.029

3 焊接工艺试验

3.1 试验设备及接头形式

埋弧焊设备选用唐山开元特种焊接设备公司生产的 KM3045 高效钢纵环缝焊机, 试件尺寸为 600 mm×130 mm×25 mm, 2 件焊接成 1 副试板。试件的坡口结构及焊接层次见图 1, 用 $\phi 3.2$

mm 规格 H10Mn2 焊丝搭配 SJ101 焊剂使用埋弧焊工艺焊接试件。

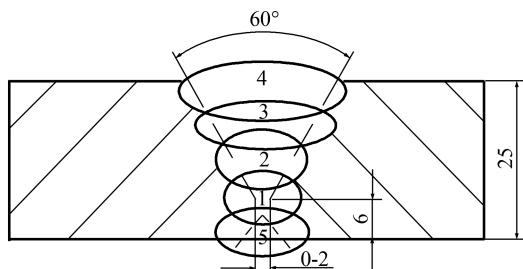


图 1 坡口结构及焊接层次

Fig. 1 Groove structure and welding level

3.2 焊接工艺参数及技术措施

采用分层焊接, 选择相对较小的焊接电流以控制焊接热输入, 为兼顾生产效率, 直接用埋弧焊进行打底焊接。焊接第 1 层打底焊时, 注意观察焊缝成型的情况, 若没有异常, 直接进行第 2~4 层的焊接。正面焊接完成后, 在开始焊接背面焊缝之前, 先用碳弧气刨对第 1 层的打底焊缝背面进行“清根”处理, 再用手砂轮打磨刨槽的内外表面, 完工后进行着色渗透检测, 确认打底焊的背面焊接缺陷被彻底清除, 最后进行第 5 层的埋弧焊接, 埋弧焊作业过程的工艺参数见表 4。

表 4 埋弧焊工艺参数

Table 4 Submerged arc welding process parameters

电源极性	焊接顺序	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	焊丝伸出长度/mm
直流正接	正	500~520	28~30	38~40	31~33
反接	反	470~490	27~29	36~38	

焊接过程中, 首先, 对 SJ101 焊剂进行 250 °C、保温 2 h 烘干, 消除焊剂中残留水分; 对试板坡口周边进行清理, 清除油污、锈斑等杂质, 焊缝背面用碳弧气刨进行“清根”处理后, 用手砂轮把槽内增碳层、氧化层彻底磨掉, 避免残留杂物污染焊缝金属; 焊接过程中, 层间温度控制在 190 °C 以下, 避免温度过高引起热影响区晶粒粗大。

为提高焊缝的低温冲击韧性, 焊后对试件去应力退火, 退火工艺为 (575±10) °C, 保温 2.5 h, 随炉缓冷到 200 °C 后空冷。

4 试验结果及分析

4.1 焊缝检查

(1) 焊缝外观检查

焊缝表面不存在任何肉眼可见的气孔、夹渣、裂纹等缺陷。试件进行表面着色渗透检测, 检测结果如图 2 所示, 没有发现表面焊接缺陷, 符合 NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测第 5 部分: 渗透检测》标准中 I 级质量要求。

(2) 焊缝内在检查

对焊接试件进行 X 射线实时成像检测, 检测成像如图 3 所示, 内在质量良好, 符合 NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测第 2 部分: 射线检测》标准射线 I 级的质量要求。说明所制定的焊接工艺参数和技术措施, 能够保证埋弧焊的焊缝金属充分熔合, 成型良好。



图 2 试件渗透检测

Fig. 2 Penetration detection



图 3 射线实时成像检测

Fig. 3 Real-time radiographic detection

4.2 焊缝金属金相组织

焊缝金属的金相组织如图 4 所示。由图可知, 焊缝组织由铁素体和珠光体组成。铁素体主要呈点状(针状)分布, 分布较均匀, 主要分布在晶内, 晶界位置分布较少。珠光体晶粒组织也较细小, 与铁素体相间分布。

4.3 焊缝金属力学性能

试验结果见表 5。

表 5 焊接接头力学性能

Table 5 Mechanical properties of welded joints

R_m /MPa	$KV_{2,-20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ /J								180°弯曲试验 ($S=10, B=38, D=40$)
	焊缝区				热影响区				
521	517	93	108	114	89	115	121	合格,未见裂纹	

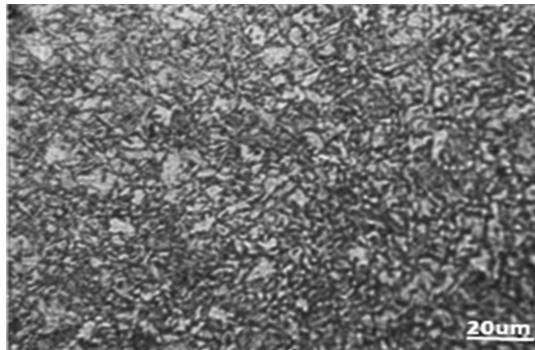


图 4 焊缝金相组织

Fig. 4 Metallographic structure of weld joint

由表 5 可知, 使用 H10Mn2 焊丝、SJ101 焊剂搭配进行 25 mm 板厚 Q345R 低合金钢的埋弧焊, 焊接接头的抗拉强度达到 517 MPa, 超过 GB 713—2014 规定的母材最低值 490 MPa; 无论焊缝区还是热影响区, -20 °C 冲击吸收功均大于 GB 713—2014 要求的最低值 41 J; 180°面弯、背弯试验均未见裂纹, 可见, 焊接接头的塑性较好。综上可知, 所得焊接接头具有良好的综合力学性能, 说明所制定的焊接工艺试验方案是比

较合适的, 能够满足 25 mm 板厚 Q345R 低合金钢的埋弧焊接质量要求。

5 结论

使用 H10Mn2 焊丝、SJ101 焊剂对 25 mm 板厚 Q345R 低合金钢进行焊接, 表面着色检测, 焊缝接头符合 NB/T 47013.4—2015 I 级质量要求, X 射线检测符合 NB/T 47013.2—2015 I 级质量要求, 拉伸、弯曲、冲击相关力学性能试验, 均达到相应的技术标准要求。

参考文献:

- [1] 薛根奇, 张国平, 陈思远. 中碳调质钢 30CrNi3 焊接工艺及生产应用 [J]. 电焊机, 2013, 43(7): 33-36.
- [2] 丁鑫. 低合金强度钢埋弧焊接焊丝-焊剂组合的探讨 [J]. 石油和化工设备, 2015, 18(4): 8-13.
- [3] 李歆怡. 关于低合金强度钢埋弧焊接焊丝-焊剂组合的教学试验 [J]. 中小企业管理与科技, 2015, 179(1): 270-271.