TP304/Q345B不锈钢复合板焊接及其接头性能研究

程义　苗慧霞　杨志鹏　李胜利　毛春生

【摘要】通过对TP304/Q345B不锈钢复合板焊接性的分析，选择合适的焊接参数和工艺顺序，并对焊接接头进行微观金相组织分析及力学性能研究。研究表明，复层焊缝区得到的焊接接头组织为树枝晶奥氏体，基层焊缝区得到的焊接接头组织为铁素体加粒状贝氏体，焊接接头的抗拉强度大于母材，弯曲过程无裂纹产生，热影响区的冲击韧性要大于焊缝区域。

关键词：TP304/Q345B不锈钢复合板；焊接接头；微观组织；力学性能；

金属复合板指的是通过采用复合技术使两种或两种以上物理、化学、力学性能不同的金属在界面上实现牢固冶金结合而制成的材料，其制作目的是既能发挥基层金属的性能优点，又能发挥复层金属的优点，达到性能互补、优点相结合的目的。不锈钢复合板指的是碳钢基层与不锈钢复层相结合而成的复合钢板，达到了不锈钢与碳钢之间牢固的冶金结合，在使用过程中，既能够发挥不锈钢耐腐蚀性强的特性，又能发挥碳钢机械强度高和加工性能优良的特性，同时可节约大量贵重金属，降低了工程造价，避免了资源浪费。

但是，由于组成不锈钢复合板的两种金属在物理性能、化学性能以及焊接性能上都有着较大的区别，导致在焊接过程中容易出现焊接裂纹及焊缝金属被稀释的现象，所以复合板的焊接有着其自己的特殊性，既要保证焊接接头处能继续发挥基层金属与复层金属各自的特性，又要保证其不产生巨大的残余应力，防止焊接接头产生缺陷。

本研究通过选择出合理的基层、过渡层以及复层的焊接材料，制定合理的焊接工艺，得到了具有优良力学性能的焊接接头。

1. 试验方法

此次焊接试验所采用的是以奥氏体不锈钢TP304为复层和以低合金钢Q345B为基层的复合板，基层厚度为9mm，复层厚度为3mm，钢材化学成分及力学性能如表1和表2所示。

焊接时先使用E309-15(A307)焊条从基层一侧打底，然后使用E5015(J507)焊条填充盖面，接着进行清根，清根完毕后使用E347－15(A137)焊条焊接复层。焊接所需焊条的化学成分如表3所示。

根据实际焊接情况所设计的坡口形状如图1所示，开V形坡口，复层打底，对口

表1　TP304/Q345B不锈钢复合板化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ceq	Cr	Nb	Ni	Cu	V	Ti	Mo
0.16	0.22	1.33	0.020	0.008	0.390	0.002	0.001	0.01	0.01	0.006	0.006	0.001

表2　TP304/Q345B不锈钢复合板力学性能

伸长率（%）	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	剪切强度/MPa	冲击吸收能量/J		
36.0	543	378	410	103.0	104.4	89.2

表3　焊条主要化学成分

型号	化学成分（质量分数，%）									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	V
E347—15	0.047	1.90	0.32	0.008	0.032	19.47	9.74	0.03	0.02	—
E309—15	0.077	2.23	0.62	0.003	0.021	23.96	12.80	0.03	0.02	—
E5015	0.077	1.19	0.52	0.006	0.016	0.02	0.01	≤0.01	—	≤0.01

间隙为0.5~1.5mm，钝边厚度为0.5~1.5mm，坡口角度为60°~70°。

通过理论分析与实践检测，得到的焊接参数如表4所示。焊接完成后，通过射线检测对焊接接头进行无损探伤检验合格后，再通过拉伸试验、弯曲试验及冲击试验，对焊接接头进行力学性能评估。

2. 试验结果及分析

（1）焊接接头微观组织　对于不锈钢TP304复层的对接，其焊接接头微观金相组织如图2所示。由图2可以看出，焊缝区得到的焊接接头组织为树枝晶奥氏体，近缝区母材为孪晶奥氏体，均属于正常组织，并且熔合区中两种组织属于正常过渡。对于碳钢Q345B基层的对接，其焊接接头微观金相组织如图3所示。由图3可以看出，焊缝区得到的焊接接头组织为铁素体加粒状贝氏体，近缝区母材为带状铁素体加珠光体，均属于正常组织，并且熔合区中两种组织属于正常过渡。

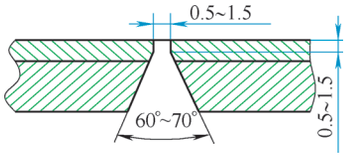


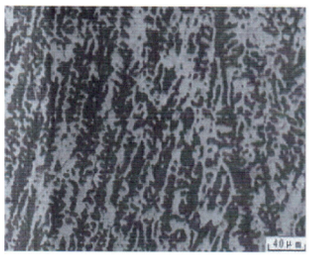
图1　复合板焊接坡口

（2）接头的力学性能　拉伸试验设备选取万能力学试验机，在常温下依据相关要求进行。焊接接头拉伸试样的制备及试验过程严格按照DL/T 868—2014《焊接工艺评定规程》以及GB/T2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》进行。拉伸试验后的试样如图4所示，拉伸试验结果如表5所示。由表5可以看出，试样的抗拉载荷达到了168kN和171kN，其抗拉强度达到了583MPa和588MPa，大于复合板自身的抗拉强度543MPa，并且断裂部位为母材延性断裂。从以上可以判断，焊接接头的拉伸力学性能符合要求。

弯曲试验设备选取万能力学试验机，在常温下依据相关要求进行。焊接接头弯曲试样的制备及试验过程严格按照GB/T 2653

表4　焊接参数（4G）

焊层、道		焊接方法	焊条		电流范围	
层道号	单层、单道焊缝尺寸/mm		型号	规格/mm	极性	电流/A
1	2.5	SMAW	E309—15	ϕ2.5	直流反接	65～85
2	2.5	SMAW	E5015	ϕ2.5	直流反接	70～90
3-4	3.0	SMAW	E5015	ϕ3.2	直流反接	85～120
5	2.5	SMAW	E347—15	ϕ2.5	直流反接	65～85



（a）焊缝区金相组织

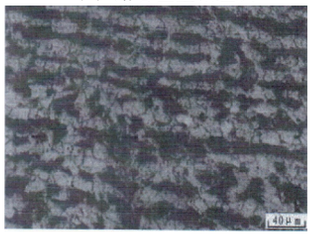
（b）熔合区金相组织

（c）近缝区母材金相组织

图2　复合板TP304侧焊接接头金相组织

（a）焊缝区金相组织

（b）熔合区金相组织



（c）近缝区母材金相组织

图3　复合板Q345B侧焊接接头金相组织

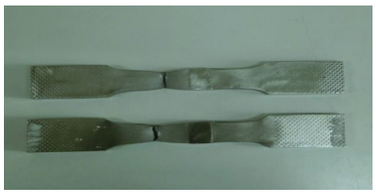


图4　拉伸试样

－2008《焊接接头弯曲试验方法》和DL/T868—2014《焊接工艺评定规程》进行。弯曲试验后的试样如图5所示，弯曲试验结果如表6所示。由表6可以看出，用直径为40mm的弯轴分别对两个面弯试样和两个背弯试样做180°弯曲试样，弯曲后试样皆完好无裂纹。由此可以判断出焊接接头的弯曲力学性能符合要求。

冲击试验设备选取冲击试验机，在常温下依据相关要求进行。焊接接头冲击试样的制备及试验过程严格按照GB/T 2650-2008《焊接接头冲击试验方法》和DL/T868－2014《焊接工艺评定规程》以及DL/T869－2012《火力发电厂焊接技术规程》进行。冲击试验后的试样如图6所示，冲击试验结果如表7所示。由表7可以看出，焊缝组织由于晶粒粗大，其冲击韧性要小于热影响区的冲击韧性，但仍然大于《火力发电厂焊接技术规程》中的碳钢冲击韧性最小值。由此可以判断，焊接接头的冲击力学性能符合要求。

图5　弯曲试样

表5　拉伸试验数据

试样编号	试样尺寸/mm	抗拉载荷/kN	抗拉强度/MPa	断裂部位及特征
L1	24.52×11.75	168	583	母材 延性断裂
L2	24.63×11.81	171	588	母材 延性断裂

3. 结语

通过对12mm厚Q345B/TP304复合板的焊接工艺及焊接接头性能的研究，得出以下结论。

（1）研究中采用的焊接工艺能够得到具有优良力学性能的焊接接头。

（2）复层焊缝区得到的焊接接头金相组织为树枝晶奥氏体，基层焊缝区得到的焊接接头金相组织为铁素体加粒状贝氏体。

图6　冲击试样

（3）焊接接头的抗拉强度大于母材，弯曲过程无裂纹产生，热影响区的冲击韧性要大于焊缝区域。

参考文献：

[1] 丁肖，李祥.Q345R/304复合板焊接接头组织及性能研究[J]. 热加工工艺，2015，44（23）.

[2] 王凤会，刘立伟，陈延清.Q345R/316L复合板双面焊接工艺优化及其接头性能研究[J]. 焊管，2016，39（3）.

[3] 苗慧霞，陈雅斌，刘树生.电站用SA-213TP347HFG钢的焊接工艺研究与应用[J]. 焊接技术，2016，9.

表6　弯曲试验数据

试样编号	试样尺寸/mm×mm	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度（°）	弯曲结果
M1	38.0×10.0	面弯	40	180	完好 无裂纹
M2	38.0×10.0	面弯	40	180	完好 无裂纹
B1	38.0×10.0	背弯	40	180	完好 无裂纹
B2	38.0×10.0	背弯	40	180	完好 无裂纹

表7　冲击试验数据

试样编号	试样温度/℃	试样尺寸/mm	缺口		冲击吸收能量/J
			类型	位置	
H1	15	10×10×55	V型	焊缝	60
H2	15	10×10×55	V型	焊缝	64
R1	15	10×10×55	V型	热影响区	112
R2	15	10×10×55	V型	热影响区	118

作者简介：程义等，山东电力建设第一工程公司。

MW 20170824