2205与Q345D异种钢焊接产生裂纹探讨

陈啸　姚洪清　任华芳　陈小东　许建清　任华伟

【摘要】本文通过舍夫勒组织图对2205与Q345D异种钢焊接产生裂纹的原因进行了分析，结果表明，主要原因是Q345D钢侧熔合比高了，进行了焊接工艺评定试验，焊接接头满足了相关标准要求。

关键词:异种钢；裂纹；熔合比；焊接工艺评定

1. 概述

随着科学技术的发展，在工业生产中，为了节约价格相对较高的双相不锈钢材料，经常会遇到双相不锈钢与碳钢异种金属的连接问题。我公司承接了几台过滤机体设备，根据图样要求，坡口形式如图1所示，在进行打底焊接时就产生了裂纹，根据现状对裂纹进行分析。

2. 异种钢焊接特点

（1）异种钢焊接通常会出现的问题　①焊缝金属的稀释（熔合比）。②碳迁移形成扩散层。

（2）焊缝金属的稀释（熔合比）　异种钢焊接一个突出问题就是焊缝化学成分不均，焊缝成分取决于焊材成分和母材成分及其熔合比。由于珠光体钢（Q345D钢）的合金成分较低，用奥氏体焊材E2209T1—1焊接时，若熔合比过大，焊缝金属成分被稀释，使焊缝的奥氏体元素含量不足，结果使焊缝出现脆性马氏体组织，从而产生裂纹，2205钢、Q345D钢及E2209T1—1铬镍当量值如表1所示。

通过舍夫勒组织图我们可以得知：当母材金属面积比≤40%，焊缝金属面积比≥60%，才能避免出现奥氏体+马氏体组织，此时的焊缝组织为奥氏体+40%铁素体。

（3）碳迁移形成扩散层　焊接过程中，在珠光体钢（Q345D钢）和奥氏体钢（2205钢）界面产生碳迁移，在珠光体钢侧形成脱碳层发生软化，奥氏体钢侧形成增碳层发生硬化，碳元素产生迁移的结果，使焊接接头的蠕变强度降低、热疲劳性能下降，易在脱碳层处产生裂纹。

3. 焊缝裂纹状态及产生原因

（1）裂纹状态　在进行打底焊接时就产生了裂纹，裂纹在焊缝处和Q345D热影响区，采用的焊接方法是FCAW，焊丝厂家：首锐焊材，焊丝型号：E2209T1—1、ϕ1.2mm。现场焊

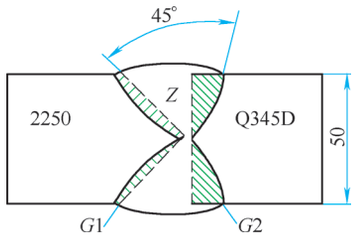

图1　坡口形式

表1　异种钢与E2209T1—1的铬镍当量及化学成分（质量分数）（%）

材料名称	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Creq%	Nieq%
2205钢	0.016	1.16	0.55	22.4	5.2	3.0	26.225	6.26
Q345D钢	0.15	1.42	0.28	0.088	0.034	0.003	0.511	5.244
E2209T1—1	0.027	0.84	0.55	22.27	8.62	3.68	26.775	9.85

接参数如表2所示。

（2）产生原因　根据上述分析结果可知，焊材选择E2209T1—1是可行的，并且焊接热输入也不算大，母材金属的面积比$G_1+G_2 \geqslant 50\%$（见图1），焊缝出现脆性组织（A+M），因此2205钢与Q345D钢焊接产生裂纹的主要原因是母材金属的熔合比高了（Q345D钢侧熔合比高），即坡口设计不合理。

4. 解决方案

由于产品数量较多，坡口形式都已加工完成，为将损失降至最低，我公司将Q345D钢开成坡口60°。焊接过程中，焊丝尽量偏向2205钢一侧焊接，若焊丝直接送至焊缝中心会导致接头焊缝硬度升高，偏向Q345D一侧会导致Q345D钢侧熔合比高。为此我公司对2205与Q345D异种钢焊接进行了焊接工艺评定试验。

5. 焊接工艺评定

根据EN ISO 15614—1：2004+A2：2012（E）进行焊接工艺评定试验，评定厚度接近于产品厚度，从而更有意义地验证产品的焊接性能，坡口形式如图2所示，焊接参数如表3所示。

（1）拉伸试验　依据EN ISO 4136：2012对焊接试样进行拉伸试验，检测结果如表4所示，试验合格。

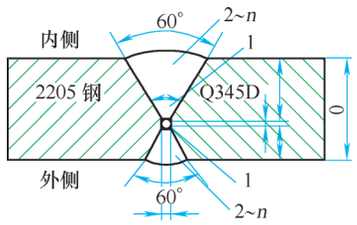

图2　坡口形式

（2）弯曲试验　依据EN ISO 5173：2010+A1：2011，对焊接试样进行弯曲试验，检测结果如表5所示，试验合格。

（3）冲击试验　依据ISO 9016：2012对焊接试样进行冲击试验，检测结果如表6所示，试验合格。

（4）硬度试验　依据ISO 9015—1：2011对焊接试样进行硬度试验，检测结果如表7所示。结果表明HV10均≤380，试验合格。

（5）宏观金相试验　试样和试验符合EN ISO 17639：2013规定，焊缝根部无未焊透，焊缝

表2　焊接参数

焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·s^{-1}	保护气体	气体流量/ L·min^{-1}
210~230	31~32	4	100%CO_2	15~20

表3　焊接参数

焊接层次	焊接方法	填充金属		焊接电流		电弧电压/V	焊接速度/mm·s^{-1}	保护气体及流量/L·mm^{-1}	热输入/kJ·mm^{-1}	备注
		焊材型号	直径/mm	极性	电流/A					
1（内）	136	E2209T1—1	1.2	DCEP	200	31	5	100%CO_2 15~20	0.99	层间温度120℃，热输入计算按EN1011—1
2~n（内）	136	E2209T1—1	1.2	DCEP	200~230	31~33	5~6		1.21	
1（外）	136	E2209T1—1	1.2	DCEP	200	31	5		0.99	
2~n（外）	136	E2209T1—1	1.2	DCEP	200~230	31~33	5~6		1.21	

表4　拉伸试验

试样编号	宽度×厚度/mm×mm	截面面积/mm^2	最大力/kN	抗拉强度/MPa	断裂部位及特征
1	25.00×40.40	1010.00	556.560	551	断于Q345D侧母材，韧性断裂
2	24.9×40.30	1003.47	556.280	554	断于Q345D侧母材，韧性断裂

表5　弯曲试验

试样编号	试样类型	试样厚度/mm	弯心直径/mm	弯曲角度（°）	试验结果
3	侧弯	10	40	180	合格
4	侧弯	10	40	180	合格
5	侧弯	10	40	180	合格
6	侧弯	10	40	180	合格

表6　冲击试验

试样编号	试样尺寸/mm×mm×mm	缺口类型	缺口位置	试验温度/℃	冲击吸收能量/J	侧膨胀量/mm
7	10×10×55	V	焊缝中心	-20	39/40/40	0.58/0.60/0.60
8	10×10×55	V	2205侧热影响区	-20	198/248/266	2.10/2.20/2.46
9	10×10×55	V	Q345D侧热影响区	-20	290/272/284	—

表7　硬度试验　　（HV）

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	260	260	261	254	258	262	263	262	262	262	263	200	199	199	191	184	178	179	179
2	254	254	255	255	257	260	261	260	262	262	262	198	196	198	189	10	175	176	176
3	261	260	260	256	256	260	262	262	247	248	247	198	199	199	191	185	178	178	178
说明	2205母材			2205侧热影响区					焊缝			Q345D侧热影响区					Q345D母材		

金属和热影响区无裂纹，无未熔合，试样如图3所示。

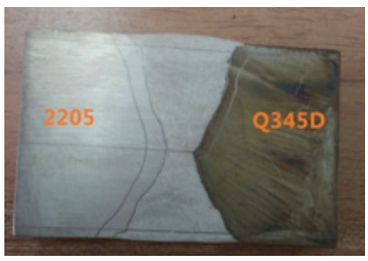

图3　宏观试样

6. 结语

（1）2205与Q345D异种钢焊接，若想要获得较小的熔合比，坡口角度设计要合理。

（2）在重新焊接产品时根据WPS焊接参数施焊，焊后进行RT检测，其结果符合ISO 5817—B级，保证了产品的焊接质量。

（3）考虑到以后还会焊接此类产品，最后与客户沟通并达成协议，针对此种异种钢焊接，坡口形式开成单边各30°，确保对接接头的熔合比在40%以下，坡口形式最好开成双U形，这样方便焊工更好的焊接操作。

作者简介：陈啸等，江阴市博汇机械成套设备有限公司。

MW 20170506

(上接第42页)

称间断碳刨清除缺陷，打磨干净后，进行磁粉探伤，确认缺陷全部清除，然后再进行焊接。②焊前清洁：焊接前，坡口内应进行打磨除锈、除油。③焊前预热：焊接前，应采用火焰或加热片进行预热，预热温度70~80℃。④单道焊缝宽度：焊接时应采用多层多道焊工艺，单道焊缝宽度≤16mm。⑤道间锤击：每焊完一道焊缝后，应进行锤击，消除应力。⑥焊后缓冷：焊接完毕后，应用玻璃棉或同等材料进行保温缓冷。⑦全程监控：焊接过程中，安排焊接工艺员全程监控、时时查看检验焊缝质量和现场情况，并做好记录。

（5）焊后探伤要求　焊接完成48h后，100%进行MT+PT+UT探伤。②试航完后，对修补位置再进行100%MT+PT+UT探伤（检验试航期间振动能否引起撕裂）。

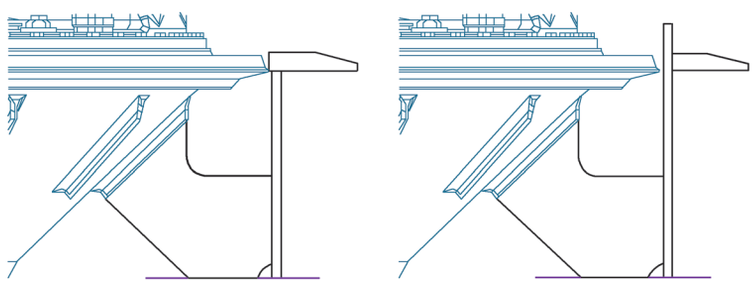

图5　另外两种节点类型

（6）建议　针对该节点焊后接头区易存在较大的应力集中问题，建议同类船舶尽可能不要采用这种节点形式，应尽可能采用图5所示节点形式，可避免Z向撕裂现象的发生。由于发生这种Z向撕裂还是几十年建造中第一次发生，经查阅以前的拖轮，节点均有别于本船节点，主要有两种形式，且最好选用节点a类型。

5. 结语

按照上述制定的工艺处理方案逐步处理完毕，48h之后的焊后无损检测结果和试航后（相隔修补工作一个多月）的无损检测结果均未发现裂纹，表明裂纹已成功修复。该Z向撕裂的成功修补，不仅为公司节省了上百万的直接经济损失，而且该船也在预期时间顺利交付船东。

作者简介：孙德一等，广东新船重工有限公司。

MW 20170619