



一种焊接Z向撕裂修补工艺研究与应用

孙德一 黄昌妙 蔡超苏

【摘要】 公司一艘拖轮舵桨机面板同围井焊接后，发现围井壁板沿圆周方向出现Z向撕裂，板厚26mm，裂纹深度6~12mm。本文详细讲述了Z向撕裂通过焊接修补的工艺处理方案，以供同行参考借鉴。

关键词： 焊接；Z向撕裂；修补

1. 概述

公司一艘拖轮舵桨机安装定位、焊接后，质检员在检测时发现围井的壁板沿圆周方向出现Z向撕裂。由于此时船舶已处于接近下水状态，如果换板处理，存在返工量大，施工难度大，工期长等困难，且严重拖延船舶下水和交船节点，所以为尽快确定解决方案，公司组织相关技术人员进行调查分析，并同船东、船检、设计公司一起研究。

2. 焊接方法及工艺

根据图样资料要求，并结合公司的焊接工艺评定文件，该节点采用的焊接方法是CO₂气体保护焊，设备为直流恒压特性CO₂焊机，焊接材料为GB/T10045:E501T—1（AWS A5.20:E71T—1）。平焊时采用多层多道焊工艺，层间进行锤击去应力；根部焊缝碳刨清根后，进行盖面焊（仰焊）。具体焊接参数如表1所示。

3. Z向撕裂原因查找与分析

（1）焊缝节点介绍 该焊接节点是由围井面板、围井壁板和舵桨机面板（舵桨机整体设备自带结构）三块板组成的T字接头，如图1所示。其中围井的面板和壁板间的全熔透角焊缝（图1所示的焊缝1）在提前围井壁板同舵桨机面板之间的对接缝（图1所示的焊缝2）几个月完成，

完工时已做完探伤检测，确认合格。

焊缝2是在舵桨机吊装到位后再进行焊接，焊缝2在焊接完成后发现围井的壁板沿圆周方向出现Z向撕裂。裂纹位置在1/2板厚处，裂纹深度6~12mm（整个壁板的高度620mm）。

（2）原因查找与分析 针对该Z向撕裂问题，我们从母材

表1 焊接参数

焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊丝直径 /mm	送丝速度 /cm·min ⁻¹	气体流量 /L·min ⁻¹	层间温度/℃	电源极性
打底	160~180	24~25	1.2	15~20	15~20	< 160	直流反接
填充	180~200	25~26		25~30			
盖面	160~180	24~25		15~20			

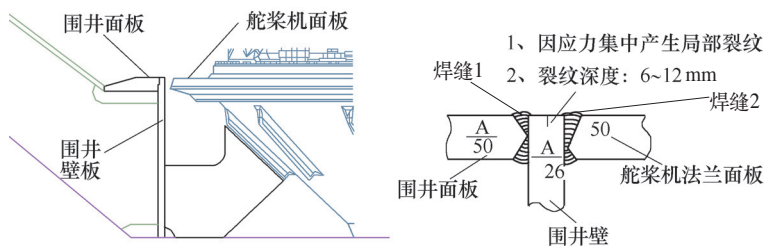


图1 Z向撕裂焊接节点示意

材质、焊工资质、焊接参数、节点设计合理性及现场监控等方面进行了全面的分析与调查研究。

分析结果如下：

母材材质核查：根据设计图样，壁板采用的是LR—A级普通低合金钢，为查验原材料是否用错，首先对材料是否与图样相符进行了核查。通过查阅下料记录、化学成分取样分析进行验证（因余料已用完，且不能从工件上进行破坏性取样，导致无法进行Z向拉伸、弯曲等力学性能试验）。主要元素化学成分对比如表2所示，结果表明，材料使用无误。

焊工资质核查：经审查施工焊工的资质，均持有船级社认可的焊工证书，人员资质方面没有问题。

焊接参数：经查看当天的焊接参数记录表和现场询问，焊接电流普遍在240~260A，焊接参数比给定的参数要偏大，层间处理也未按要求控制层间温度和锤击去应力，从而导致接头周围焊接因内应力大而集中。

节点受力分析：焊接时，节点的受力分析如图2所示，从图中可以看出，围井壁板（中间板）一边受的是船体结构刚性约束应力，一边受焊接时产生的拉应力，围井壁板1/2板厚处正好受的是剪切力。而该壁板仅是普通低合金钢板，自身Z向抗裂性不强，当焊接应力>钢板Z向抗拉力时，或者母材自身表面有一些微小缺陷导致的应力集中点时，钢板就会开裂。

现场监控：经调查发现，焊接是在晚上通宵作业，由3名焊

工连续作业，如此大的焊接量仅几个小时就完成，且夜间作业并没有安排专人进行现场监控与指导，导致工人违规作业而无人制止。这也是本次事故的一个次要因素。

综上所述，本次质量事故的主要原因是节点设计不合理和焊工未按工艺要求作业，导致焊后应力集中过大引起的Z向撕裂。

4. 修补工艺

根据现场的观察发现，裂纹并没有往下继续延伸，证明内部焊接应力已通过开裂释放，因此，只需将开裂部分母材清理干净，再通过焊接回填，并加强焊接过程中应力的消除，且焊材自身的强度要远远大于母材自身的强度，理论上可行。经过多次同船东、船检、设计公司的沟通协调，同意采用由我公司制定的修补工艺方案，如图3所示。

本工艺处理方案看似简单，但控制和及时消除焊接应力是整个施工过程中的重难点，为此，我们对施工过程拟定了严格的工艺要求与注意事项，修补过程中

的现场情况如图4所示。

重点注意事项如下：

（1）人员资质 焊工必须持船级社认可证书，应安排至少两名以上焊工。

（2）焊接材料 焊接材料选用京雷GFL—71，该焊丝在满足AWS A5.20 E71T—1要求的基础上，增加了Ni元素的含量，抗裂性能更优。

（3）缺陷清除后确认 要求缺陷经碳刨清除后，同船检一起进行100%着色探伤确认清除完毕。

（4）焊接作业要求 焊接作业在按照表1要求的基础上，又细化了几项要求：①间断处理：沿圆周方向等分16份，对

表2 主要化学成分（质量分数）（%）

化学元素	C	Si	Mn	S	P
理论值	0.13	0.14	0.67	0.007	0.028
实测值	0.14	0.14	0.66	0.0071	0.027

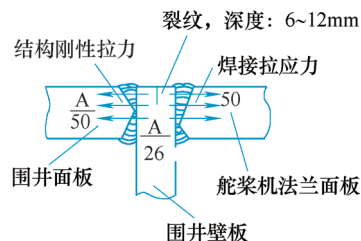


图2 节点受力分析

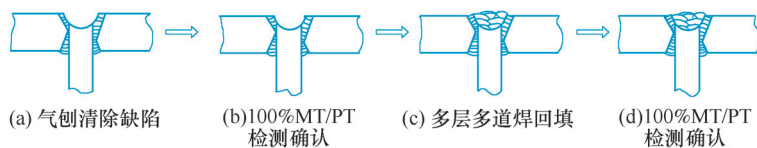


图3 修补工艺方案



图4 修复现场

（下转第45页）

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。

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—



图3 宏观试样

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）。

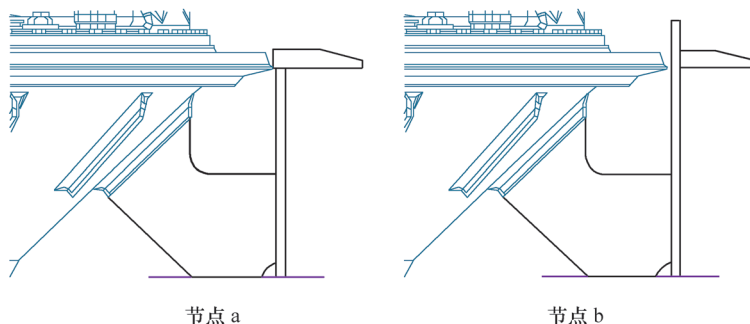


图5 另外两种节点类型

(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 results 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元的直接经济损失，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