



船用E级钢厚板拼板焊接变形控制试验及研究

江泽新 吴磊磊 马金军 陈华

【摘要】 我司承建的某型船的甲板为E级钢，甲板厚度为60mm，厚板拼板焊接容易出现裂纹及变形严重等缺陷的情况，为此针对于本船的甲板厚板进行试验和分析，并进行相应的改进。通过修改焊接参数、坡口形式、焊接顺序等方法提高了厚板的焊缝质量，同时控制了焊接角变形。

1. 概述

本公司在经营业务中承建某型船，采用E级钢，厚度为60mm，分段拼板焊缝约为4 000m，合拢阶段焊缝约为200m。其中合拢阶段焊缝由于受自身强度，分段、总段结构自重和加强的影响，变形较小，按照常规工艺控制可以获得良好的效果，但是拼板阶段焊缝存在变形大，难以控制的情况。

2. 现场情况及初步试验

由于现场的工装设备和压铁

数量有限，同时为推进工程进度，不允许大量使用压铁和工装强制减少焊接变形，必须通过正反面合理的焊接顺序等手段来控制自由状态下的厚板变形。经过初步分析，主要控制点为坡口的角度、坡口正反面的尺寸比例、正反面的焊道布置顺序以及使用的焊接方法和焊接层道数。

为减少坡口变形和保证焊缝质量，需要控制坡口的填充量，但同时坡口的角度过小会影响埋弧焊的焊接和焊渣的排除，一旦

出现焊渣难以排除的情况，容易产生质量缺陷。因此我们结合现场情况，设计了四种坡口节点进行现场初步试验，单边板幅设计为宽0.2m×长1m，具体坡口形式如图1所示。

由于小角度坡口影响到埋弧焊的焊接和敲渣，所以结合现场意见，坡口形式1、2为设计先使用FCAW进行打底焊接，然后进行埋弧焊焊接。而坡口形式3、4为常规埋弧焊坡口，并通过变换正反面坡口尺寸，来试验确定合

参考文献：

- [1] 李立英；李宏伟；韩涛.中碳调质钢焊接热影响区脆化研究现状[J].兵器材料科学与工程，2011(3).
- [2] 辛希贤，等.管线钢焊接热影响区在二次热循环中的组织转变与韧性[J].焊管，1994(1).
- [3] 刘欣；徐英杰.球墨铸铁热处

理工艺的分析与研究[J].科协论坛(下半月)，2011(8).

- [4] 杨文菊.静压镗头常见故障分析[J].机械工程与自动化，2011(4).
- [5] 鲁志武；董必义.耐磨高锰钢的生产技术[J].铸造设备与工艺，2011(3).
- [6] 李艳霞.齿轮滚齿加工方法的分析及探讨[J].科技资讯，

2011(17).

- [7] 刘勇.大口径管道焊接工艺[J].焊接技术，2011(8).
- [8] 程引正.精密加工和超精密加工的研究与对策[J].机械研究与应用，2011(3).

作者简介：张宏帅等，西安煤矿机械有限公司。

MW 20161122

理的坡口形式。试验结果如附表所示。

初步试验后发现，坡口形式1、2角度较小不但没有减少焊缝的填充量，反而由于坡口过小，缺少钝边，正面坡口深度反而较深。实际现场为保证坡口的宽深比，需要进行更大工作量的碳刨，同时坡口过深过窄影响焊接，焊后敲渣也需要一定的工时，没有明显降低敲渣难度，且角变形相对较大。初步试验后直接筛选了坡口形式1、2，坡口形式3、4显然更加合理。

3. 现场试验及分析

前期试验由于条件有限，选用的板幅不大，为了尽量与实际拼板条件一致，采用了两块13m×2.5m在不同条件下进行对比焊接试验。

(1) 坡口设计方面 经过现场全板幅试验后发现，坡口形式3和4按照相同焊接顺序焊接完成后，以板幅宽5m拉水平线测量最低点分别在25mm和12mm以内，满足初步要求。现场厚板试验后发现由于板厚和板幅大，打底熔深较浅，钝边可以进行缩小，从而缩小背面碳刨量。

现场试验发现，坡口形式3存在背面深度过深的问题，加大了碳刨工作。由于碳刨的工作量加大，工作质量出现了下降的情况，故给后续的打磨加大了压力。多条焊缝的试验后发现焊后探伤合格率不理想，仅为80%左右，在背面第一、二道焊缝容易出现焊接缺陷。使用坡口形式4进行试验，碳刨量明显减少，同时碳刨后的坡口截面的深宽比也更趋合理。由于焊后探伤合

格率出现明显提升，最终趋于96.6%，所以图2中的坡口形式修改后显然更加合理。

(2) 从焊道布置进行分析 常规工艺分两种：一种为时时调整正反面焊接顺序，保证变形平衡，第二种为正面直接焊接再翻身反扣，焊接背面。第一种方法需要翻身3~4次以上，可以保证一定范围内的焊接变形量，缺点为翻身次数过多，占用吊机和周期过长。第二种方法由于缺少焊接顺序的调整，单纯靠坡口设计很难调整焊接变形。

同时，建造过程中一般结构面设计在正面，划线和结构安装均在正面，也即在背面焊接完成后必须翻身正面进行后续工作。那么这就给正面预留一定的填充量暂时不焊，待背面焊后翻身再焊接提供便利。最终设计的顺序

是在不增加翻身次数的前提下，缩小了变形范围。

在现场试验时，分为三种焊接顺序进行焊接试验，如图3所示。三种顺序按以上方式测量最低点分别为60mm、30mm、12mm，如图4所示。最终选定第三种焊接顺序，可以在不放置压铁的情况下满足变形要求，同时也能保证翻身前的焊缝强度。

(3) 焊接方法和焊道数 采用单丝埋弧焊需17道焊，而将单、双丝埋弧焊结合进行焊接可以减少至约12道焊。拼板流程如下：结构面装配→结构面单丝埋弧焊打底→结构面双丝埋弧焊填充→翻身→气刨→非结构面单丝埋弧焊打底→非结构面双丝埋弧焊填充及盖面→翻身→结构面盖面。单、双丝结合的方式充分发

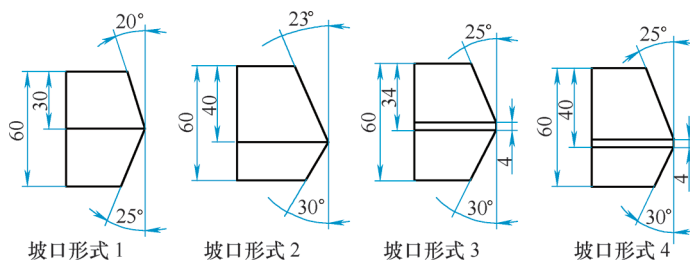


图1 初步坡口形式方案

四种坡口形式的拼板试验结果

坡口形式	焊接方法	耗费时间/h	焊道数	焊缝收缩量/mm	角变形 (°)
1	FCAW+SAW	110	24	2	1.7
2	FCAW+SAW	78	21	2.5	2.0
3	SAW	69	20	3	1.5
4	SAW	65	17	3	1.4

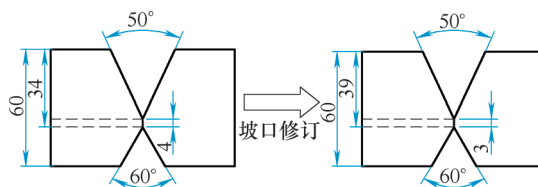


图2 现场坡口的修改

(下转第74页)

表4 最大变形量及焊后试样力学性能

序号	标准/MPa	2	3	5	6	9
最大变形量/mm	—	28	31	20	26	16
屈服强度/MPa	125	168.2	134.1	187.3	173.5	165.4
抗拉强度/MPa	275	312.2	286.9	324.8	315.7	305.7

学性能检测（见表4），检测结果均满足试验要求。

5. 结语

（1）在保证焊缝完全熔合的前提下，焊接热输入越大，抗拉强度相应较小；热输入越小，抗拉强度越大。

（2）焊接热输入越大，产生的变形越大；热输入相同时，焊接速度越慢，产生的变形越大。

综上所述，试验所得最佳焊接参数为前丝74W，后丝64W，焊接速度为105cm/min，焊接后

的薄板变形最小且力学性能符合标准。

参考文献：

- [1] 杨贵臣,邱铁男.铝合金船焊接变形的控制[C].会议论文, 2004.
- [2] 邵松林.铝合金焊接在铝合金船上的应用[C].会议论文, 1998.
- [3] 周万盛,姚君山.铝及铝合金的焊接[M].北京：机械工业出版社, 2005.

作者简介：徐鑫等，辽宁忠旺集团有限公司。MW 20161129

（上接第71页）

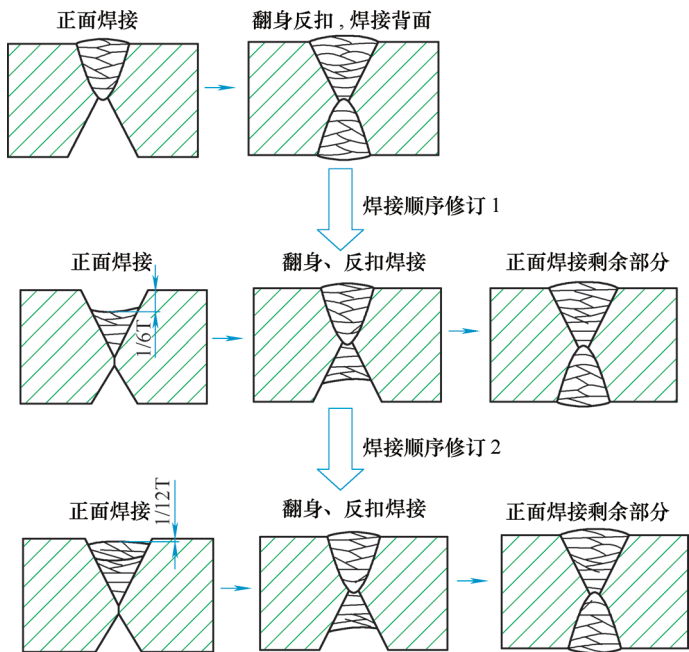


图3 焊接顺序的修改

挥了单双丝的优点，同时避免了双丝焊对于角度较小，深度过深焊接不良的缺点，提高了一定的焊接效率，同时又最大程度地保证了焊接质量。

4. 结语

（1）通过现场的工艺修订，焊后变形量基本可以控制在12mm以内，变形方向为正面焊缝下凹，这个变形量在正面安装

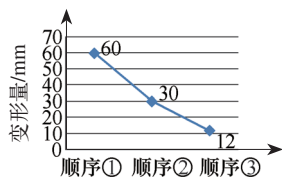


图4 不同焊接顺序的变形趋势

纵骨并进行焊接后会有一定范围进行缩小约至6mm，最终满足整体变形要求。

（2）利用合理的焊接顺序、焊道布置和坡口设置，控制焊接参数，合理利用双丝焊是可以使自由状态下的厚板双面拼板达到变形平衡状态。

（3）在设定合理的工艺流程后，厚板双面坡口的设计和下料同时影响到碳刨和焊缝的填充量，对于焊接质量控制起到关键作用。

作者简介：江泽新等，广船国际有限公司。

MW 20161129