

E40 船板钢焊接接头组织性能分析

刘 义¹, 李 敬², 杨跃辉²

(1. 河钢集团有限公司 科技创新部, 石家庄 050023; 2. 唐山学院 机电工程系, 河北 唐山 063000)

摘要:对 13 mm 厚 E40 船板钢进行焊接, 测定了焊接接头不同位置的力学性能, 并观察了焊接接头不同位置的显微组织, 结果表明, 在焊缝区域晶粒较为粗大, 焊缝厚度中心为铁素体和珠光体, 焊缝上表面为粗大的柱状晶, 导致此处的韧性较差, 硬度较低; 在焊缝厚度方向的中心位置向一侧母材偏移 4 mm 后为热影响区的过热区, 此位置的组织中存在大量的魏氏组织, 故硬度较高, 但不利于韧性的改善; 偏移 6~8 mm 后进入热影响区的正火区, 组织为细小的铁素体与珠光体, 因此硬度大幅降低; 偏移 10 mm 后由于受到热应变失效脆化影响该处的硬度达到最高值, 此处组织为粗化的针状铁素体与准多边形铁素体; 由焊缝中心偏移 12 mm 后进入母材区, 其低温韧性基本等于母材。

关键词: E40 船板钢; 焊接接头; 低温韧性; 显微组织

中图分类号: TG407; TG142.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2020)06-0046-04

DOI: 10.16160/j.cnki.tsxyxb.2020.06.010

Analysis on Properties of the Welded Joint Microstructure in E40 Ship Plate Steel

LIU Yi¹, LI Jing², YANG Yue-hui²

(1. Department of Scientific & Technological Innovation, HBIS GROUP CO., LTD. Shijiazhuang 050023, China;
2. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: After the 13 mm thick E40 ship plates steel being welded, the mechanical properties of the welded joint microstructures on different positions are measured. The results show that: The grain is coarse in the welded seam, and in the center of the actual throat is ferrite and pearlite, while on the upper surface of the seam is coarse columnar crystal, which leads to the poor toughness and low hardness here; Four mm away from actual throat's center to the base metal is the over-heated zone, where there are a lot of Widmanstatten structures, which leads to the high hardness but an unfavorable condition for toughness improvement; The normalized zone is 6~8 mm away from the center, where the microstructures are fine ferrite and pearlite, so the hardness is greatly reduced; The hardness reaches the highest value due to the influence of thermal-strain embrittlement where the position is 10 mm away from the center and the microstructures are coarse acicular ferrite and quasi-polygonal ferrite; Twelve mm away from the center is the base metal, where the low-temperature toughness is almost equal to that of the base metal.

Key Words: E40 ship plate steel; welded joint; low-temperature toughness; microstructure

作者简介: 刘义(1963—), 男, 河北蔚县人, 正高级工程师, 硕士, 主要从事品种钢研究。

在造船业中,热轧板是广泛使用的基础核心材料,其中的高强度船板的使用数量逐年提升,主要是用在船的主体结构上^[1]。随着船舶向大型化、自重轻量化发展,船舶工业对高强度船板钢的需求也日益增加。同时,伴随着极地活动的逐渐增加,破冰船大量建造,要求船板钢具有更高的低温韧性^[2-4]。此外,焊接是船舶行业中主要的生产工艺,其工作量约占整个造船周期的 25% 左右,成本则占到 20% 左右,因此焊接工艺对船板钢焊接后仍具有优良的组织性能至关重要,但由于焊接接头容易产生各类组织性能缺陷,故对船板钢焊接性的研究始终是材料研究者重要的工作之一。针对这一问题,很多研究工作通过热模拟的方式对焊接过程进行模拟,进而分析焊接接头或热影响区的组织变化规律^[5-8],但这一方法不能直接反映焊接过程对整个接头组织的影响,同时也限制了对应工艺下性能的检测。基于此,本文采用多道次焊接方式对 E40 船板钢焊接性进行分析,通过观察焊接接头不同位置的组织特征,分析其对接头性能的影响,拟为此类钢焊接性的研究提供借鉴。

1 试验材料与方法

1.1 试验钢的成分

试验钢的化学成分如表 1 所示。试验钢经真空感应炉冶炼浇铸后锻造成 110 mm × 110 mm × 100 mm 的钢块,然后加热至 1 180 °C 保温 2 h,并在北京科技大学 350 实验轧机上轧制成 15 mm 厚钢板,轧制过程中采用两阶段控轧,精轧开轧温度为 870 °C,终轧温度为 830 °C,然后加速冷却至 570 °C。

表 1 钢的化学成分 wt%

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.35	1.40	0.006	0.003
Alt	Nb	Ti	Ceq	
0.035	0.035	0.013	0.31	

1.2 焊接工艺

焊接试验钢板的尺寸为 300 mm × 400 mm × 13 mm,开 V 型坡口,如图 1 所示。采用手工电弧焊,选择牌号 J506 碱性焊条,所用焊机为

YK-405FL4 交流焊机,进行三道次焊接,焊接工艺参数见表 2。

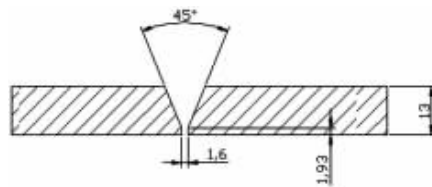


图 1 焊接坡口尺寸

表 2 焊接工艺参数

焊接道次	焊接电流/A	焊接电压/V
1	100	50
2	140	50
3	150	50

冲击试样开 V 型缺口,并按试验要求分别开在焊接接头的不同位置,即在焊缝中心、偏移 6 mm 处和偏移 12 mm 处,缺口轴线位置垂直于焊缝表面,如图 2 所示。在 -40 °C 的低温下冲击试样,并测定冲击功,每个位置测定三次。

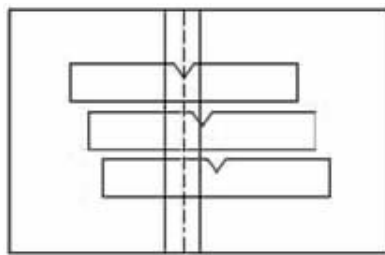


图 2 试样冲击位置选取示意图

1.3 组织的观察与硬度的测定

沿图 2 中垂直于焊缝方向取金相试样,经过研磨、抛光后,采用 4% 的硝酸酒精进行侵蚀,然后在奥林巴斯 BM41 光学显微镜下观察接头不同区域的显微组织;使用 HV1000 显微硬度计测定接头不同位置的硬度,测试点的分布如图 3 所示。测定范围为焊缝中心至一侧 16 mm,相邻两个测点的距离为 2 mm。

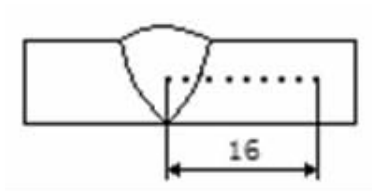


图 3 硬度测试点的位置

2 试验结果与分析

2.1 母材的组织与性能

试验钢母材的力学性能如表 3 所示。从表 3 可以看出,试验钢具有良好的综合力学性能, -40 ℃ 下冲击功仍保持在 200 J 左右。在显微镜下观察(如图 4 所示),试验钢的组织为少量的先共析铁素体+针状铁素体,此种组织构成保证了试验钢具有良好的强韧性匹配。

表 3 母材的力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	-40℃下冲击功/J		
405	535	26.5	204	180	192

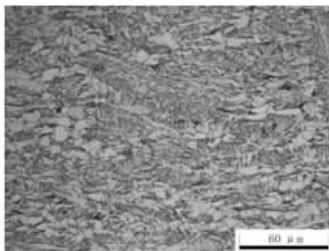


图 4 试验钢母材的显微组织

2.2 焊接接头的组织与性能

焊缝及热影响区的冲击功见表 4。由表 4 可知,接头不同位置的韧性有明显的变化,距焊缝中心越远测得的冲击功越高,距焊缝中心 12 mm 处,冲击功稳定在 200 J 以上,甚至高于母材的冲击功。在焊缝中心处和距焊缝中心 6 mm 处测得的冲击功均较低,其平均值分别为 66.6 J 和 81.6 J,且存在单值明显较低的现象。

表 4 焊缝不同位置处的冲击功

距焊缝中心的 位置/mm	-40℃下冲击功/J			
	值 1	值 2	值 3	平均
0	99.5	22	78.4	66.6
6	33	116.5	95.3	81.6
12	228.5	221	219.5	223

图 5 为距焊缝中心不同位置处测得的维氏硬度。从图 5 可以看出,在焊缝中心处硬度相对较低,为 130.1 HV, 远低于母材的硬度 156 HV。向母材偏移过程中,硬度在距焊缝中心 4 mm 和 10 mm 处出现了两个峰值,偏移焊缝中心 14 mm 后硬度基本不再变化,其值与母材基本相同,这证明在该试验条件下热影响区的范围约为距焊缝中心 12~14 mm 处。

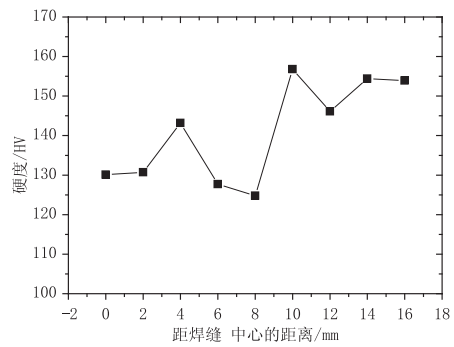
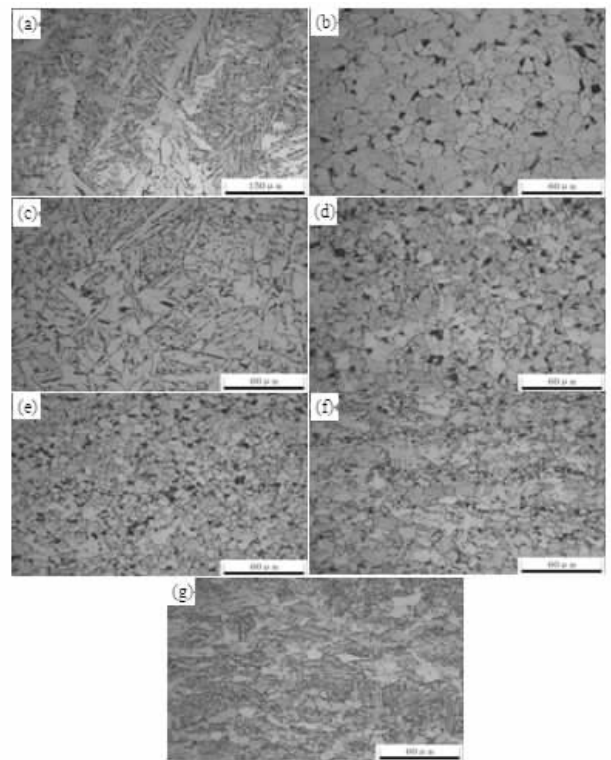


图 5 焊接接头不同位置处的硬度变化

2.3 讨论

图 6 为焊接接头不同位置的显微组织。



(a)焊缝表面;(b)距焊缝中心 2 mm;(c)距焊缝中心 4 mm;(d)距焊缝中心 6 mm;(e)距焊缝中心 8 mm;(f)距焊缝中心 10 mm;(g)距焊缝中心 12 mm

图 6 焊接接头不同位置处的组织

从图 6 可以看出,在焊缝上表面最后凝固的区域,其组织为粗大的柱状晶。由于晶粒较为粗大,组织中出现了魏氏组织;由于采用了多道焊,在后续的焊接过程中,前面道次生成的组织受到反复加热,多次发生相变,导致焊缝内部其他位置上的组织为等轴的铁素体和珠光体,如图 6(b)所示,其为焊缝内部偏离中心 2 mm

处的组织,由于焊缝内部组织相对粗大,且表面附近存在大量柱状晶与魏氏组织,导致此处韧性降低^[9]。偏离焊缝中心4 mm处的组织中出现了大量的魏氏组织,如图6(c)所示,此处应为热影响区的过热区,由于距焊缝较近,加热温度高,因此冷却之前生成的奥氏体晶粒更为粗大,促进了魏氏组织的形成,导致过热粗晶区的硬度显著增加。随着偏离焊缝的距离增加,母材受到的焊接热影响变小,热循环过程中的峰值温度降低,组织相应发生变化。6 mm处的组织转变为细小的铁素体晶粒与少量的珠光体,如图6(d)所示,此位置应为热影响区的正火区。偏移8 mm的位置则呈现出大小铁素体晶粒相间的组织,如图6(e)所示,表明热循环过程中峰值温度处于此钢种两相区范围,部分晶粒在加热和冷却过程中发生两次相变,进而显著细化,但以等轴铁素体为主的组织构成使得测定硬度均明显较低。偏移10 mm后,热循环峰值温度进一步降低,受到热应变失效脆化影响,该处的硬度显著升高,组织中则出现了部分粗化的针状铁素体,同时出现了一定量的准多边形铁素体,如图6(f)所示,由于准多边形铁素体可以分割显微组织并细化有效晶粒尺寸,进而增加大角度晶界比例^[9],因此促进了硬度的升高。偏移12 mm后,焊接热循环的影响基本消失,组织类型与母材一致,如图6(g)所示。偏移至14 mm后硬度基本不变。

由图5可以看出,12 mm处的硬度有明显的降低。为确定其原因,观察了偏移4 mm,8 mm,12 mm处压痕区域的组织,如图7所示。从图7可以看出,4 mm处的压痕处于魏氏组织上,8 mm处的压痕则处于铁素体区域,而12 mm处的压痕则恰好处于针状铁素体间的少量铁素体上,这是导致4 mm处硬度较高、8 mm和12 mm处硬度较低的主要原因。

虽然在试验钢成分设计中添加了微量的Ti和Nb元素,但从上述结果来看其对焊缝组织的细化效果并不明显,并且在焊接热循环作用下靠近焊缝区域的晶粒也有明显的长大。文献^[10]研究发现,TiNC的析出对晶界迁移的

阻碍作用并不明显,因此开发新的技术对于提高船板钢的焊接性有着重要的意义。

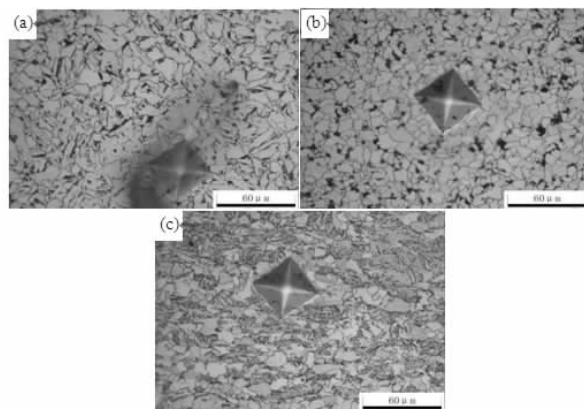


图7 焊接接头不同位置处的压痕形貌
(a)距焊缝中心4 mm;(b)距焊缝中心8 mm;(c)距焊缝中心12 mm

图7 焊接接头不同位置处的压痕形貌

3 结论

(1)E40船板钢焊接后,其焊缝内晶粒较为粗大,特别是焊缝表面附近为粗大的柱状晶,导致此处的韧性较差,存在单值较低的现象,而热影响区的过热区则出现了大量的魏氏组织,也不利于获得高的低温韧性。

(2)试验钢焊接接头不同位置的硬度存在明显的变化规律,分别在热影响区的过热区和热应变失效脆化区出现了硬度的峰值,这是由于过热区组织中出现了大量的魏氏组织,而热应变失效脆化区生成了较多的准多边形铁素体和粗化的针状铁素体。

(3)试验钢中虽然添加了少量的Ti和Nb元素,但其对焊缝及过热区组织的细化作用并不明显。

参考文献:

- [1] 隋东冶. 高强度船板钢裂纹的原因分析[J]. 中国金属通报, 2017(4): 43-44.
- [2] 王红涛,田勇,叶其斌,等. 极寒环境下厚规格船舶用钢的发展[J]. 轧钢, 2018, 35(5): 48-53.
- [3] 安海玉,郝鑫,尹绍江,等. 高强度船板钢EH36的开发[J]. 宽厚板, 2018, 24(3): 8-10.
- [4] 栾文林,刘志远. EH36级船板钢生产实践[J]. 河北冶金, 2014(2): 45-47. (下转第71页)

- [26] JIZI M. The influence of board composition on sustainable development disclosure[J]. *Business Strategy & the Environment*, 2017, 26(5): 640 - 655.
- [27] HAJI A A. Corporate social responsibility disclosures over time: evidence from Malaysia[J]. *Managerial Auditing Journal*, 2013, 28(7): 647 - 676.
- [28] AMRAN A, HANIFFA R. Evidence in development of sustainability reporting: a case of a developing country[J]. *Business Strategy & the Environment*, 2011, 20(3): 141 - 156.
- [29] BRAMMER S, PAVELIN S. Factors influencing the quality of corporate environmental disclosure[J]. *Business Strategy & the Environment*, 2008, 17(2): 120 - 136.
- [30] 闰廷飞, 吴彦龙. 企业绩效、媒体关注对企业社会责任的影响研究[J]. *财会通讯*, 2019(6): 92 - 95.
- [31] 张驰, 郑晓杰, 王凤彬. 定性比较分析法在管理学构型研究中的应用: 述评与展望[J]. *外国经济与管理*, 2017, 4(4): 68 - 83.
- [32] RAGIN C C. *Fuzzy-Set social science*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2000: 10 - 11.
- [33] 李百兴, 王博, 卿小权. 企业社会责任履行、媒体监督与财务绩效研究——基于A股重污染行业的经验数据[J]. *会计研究*, 2018(7): 64 - 71.
- [34] 庞欣. 公司治理结构对中国房地产企业绩效影响的研究——基于fsQCA方法的实证分析[D]. 北京: 中国政法大学, 2018.
- [35] 王凡, 周静. 管理层特征与企业社会责任信息披露质量——基于定性比较分析方法[J]. *经济视角*, 2020(4): 26 - 35.
- [36] 伯努瓦·里豪克斯, 查尔斯·C·拉金. *QCA设计原理与应用: 超越定性与定量研究的新方法*[M]. 杜运周, 李永发, 译. 北京: 机械工业出版社, 2017: 96 - 98.
- [37] 赵文, 李文霞, 孙国强. 二元社会网络与海归企业创新绩效——基于模糊集的定性比较分析[J]. *华东经济管理*, 2017, 31(6): 113 - 118.

(责任编辑: 李秀荣)

(上接第49页)

- [5] 马金军, 王超, 吴磊磊, 等. EH36船板钢大热输入焊接接头粗晶区组织及性能分析[J]. *金属加工(热加工)*, 2016(6): 27 - 29.
- [6] 李小宝, 张宇, 潘鑫. 大热量输入焊接EH40船板钢热模拟粗晶区组织与性能[J]. *金属热处理*, 2014, 39(11): 9 - 15.
- [7] 梁国俐, 杨善武, 武会宾, 等. 钎加入量对船板钢焊接CGHAZ低温韧性及夹杂物形态影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2013, 42(S2): 317 - 320.
- [8] 梁国俐, 武会宾, 杨善武, 等. 焊接热输入对微钎处理F40船板钢热影响区组织的影响[J]. *材料热处理学报*, 2013, 34(5): 76 - 79.
- [9] 牛延龙, 刘清友, 贾书君, 等. X80级高强低合金管线钢组织与冲击韧性[J]. *钢铁*, 2019, 54(2): 67 - 74.
- [10] 苑少强, 郁春锋, 杨跃辉, 等. Fe-40Ni-Ti合金中晶界高温迁移特征[J]. *材料热处理学报*, 36(11): 25 - 28.

(责任编辑: 李秀荣)