

DH36 钢湿法焊条多层多道焊海试结果分析

程方杰^{1,2}, 刘 阳¹, 高文斌¹, 王东坡^{1,2}, 刘永良³, 许 威³

(1. 天津大学 材料科学与工程学院,天津 300072; 2. 天津大学 天津市现代连接技术重点实验室,天津 300072; 3. 海洋石油工程股份有限公司,天津 300452)

摘 要:通过对潜水员焊工的培训,成功实现了不同接头形式的水下湿法手工多层多道焊,并且在渤海海域的 11 , 22 m 两个水深分别进行了对接接头平焊、搭接接头横焊及立焊和 T 形接头立焊及船形位置焊的焊接试验. 结果表明,在两种水深的对接接头和搭接接头中都未发现夹渣、气孔及未熔合等缺陷,并且两种水深的对接接头和搭接接头在各项力学性能指标上都满足 AWS D3.6 M:2010 关于 B 级接头的要求. 与 11 m 水深的焊缝相比,22 m 水深的焊缝柱状晶区的针状铁素体减少,块状铁素体明显增多. 两种水深接头的热影响区粗晶区组织差异不大,主要由板条状马氏体组成.

关键词:水下焊接; 湿法焊条电弧焊; 多层多道焊; 海上试验

中图分类号: TG 456.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2017)04-0111-04

0 序 言

随着人口增长以及社会经济的发展,人类对海洋油气资源的依赖正逐年增加^[1]. 海洋资源勘探业正蓬勃发展. 海洋平台是海洋油气资源开发过程中工人作业以及生活的重要场所. 然而,海洋平台在服役过程中承受着多种随机载荷,环境非常复杂,非常恶劣. 目前,已经有大部分临近寿命的海洋平台出现了裂纹等缺陷. 行之有效的水下焊接修复技术正成为海洋石油工业日益增长的需求. 而水下湿法焊接仍然是最为常见的一种修复方法,被广泛应用于海洋工程当中^[2-4].

在这种背景下,天津大学水下焊接课题组与中国海洋石油总公司合作,研究开发水下湿法焊接多层多道焊修复工艺. 课题组通过对潜水员焊工的培训,成功实现了不同接头形式的水下湿法手工多层多道焊,并且在渤海海域成功进行了海上试验. 为渤海海域石油钻井平台的水下实际修复奠定了坚实的实践基础.

1 海试任务及设备

为了培训潜水员焊工在实际海洋环境下对多层多道焊工艺的操作技能,探究 DH36 钢在实际海洋环境下不同类型接头的湿法多层多道焊的工艺性能

以及力学性能,课题组依托“渤中 13-1 至岐口 18-1APP 海底管道跨越黄骅港航道停输改造项目”,在渤海海域的渤中 13-1WHPB 平台附近进行了海上试验. 作业海域的具体地理位置为东经 117°52′、北纬 38°19′. 试验选择 11,22 m 两个水深,水温为 21 ℃.

试验的接头类型包括对接接头和角接头(T 形接头和搭接接头). 试验内容为:对接接头平焊、搭接接头立焊和横焊、T 形接头立焊和船型位置焊. 试验所选母材为 DH36 海洋结构钢,其化学成分(质量分数,%)为 C 0.12, Mn 1.54, Si 0.34, S 0.002, P 0.04, Nb 0.03. 所选焊条为美国海军认证的 Broco UW-CS-1,其化学成分(质量分数,%)为 C 0.073, Mn 0.46, Si 0.31, Al 0.006, O 0.006, Ti 0.012. 母材与焊条的力学性能见表 1. 焊接电源选用 KEMPPi 公司生产的 MASTER 2850 焊机,接线方法为 DCEP. 焊接电流为 150~180 A,电压为 30 V,焊接速度为 3 mm/s.

表 1 母材 DH36 与焊条 Broco UW-CS-1 的力学性能
Table 1 Mechanical properties of DH36 steel and Broco UW-CS-1

试验材料	屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A(\%)$
母材 DH36	380	520	31.5
焊条 Broco UW-CS-1	476	523	8

2 海试结果与力学性能分析

2.1 对接接头外观与力学性能分析

图 1 为对接接头的宏观腐蚀图,可以看出,两种水深的对接接头都无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。

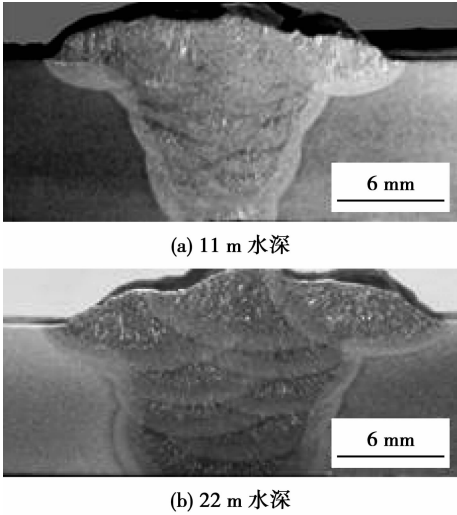


图 1 不同水深下对接接头宏观形貌
Fig. 1 Macro picture of butt joint

表 2 为两种水深条件下得到的对接接头的力学性能。由表 2 可知,减截面拉伸断裂位置都为母材,焊缝强度都不低于母材强度。焊缝以及热影响区的冲击吸收功平均值都大于美国标准 AWS D3.6 M: 2010^[5] 关于 B 级接头所要求的 27 J,但 22 m 水深的冲击吸收功平均值要比 11 m 水深的低,且 22 m 水深的 4 个侧弯件中有一个出现了小于 3 mm 的裂纹,说明随着水深的增加,焊接接头的塑性变差,但在 22 m 水深内仍符合标准要求。

表 2 对接接头力学性能
Table 2 Mechanical properties of butt joints

水深 h/m	抗拉强度 R_m /MPa	断裂 位置	焊缝冲击	热影响区	侧弯
			吸收功 A_{kv1} /J	冲击吸收功 A_{kv2} /J	
11	567	母材	37	58	合格,未出现裂纹
22	548	母材	29	47	合格,但一个试样出现小于 3 mm 的裂纹

图 2 为两种压力条件下盖面焊道的硬度测试结果。两种水深接头的最高硬度都出现在热影响区熔合线附近,与文献[3]的结果一致,11 m 水深接头的最高硬度为 362 HV,22 m 水深接头的最高硬度为

372 HV,已接近 AWS D3.6 M:2010^[5] 关于 B 级焊缝硬度要求的上限值 375 HV。且 22 m 水深的焊缝区硬度比 11 m 水深的要小。

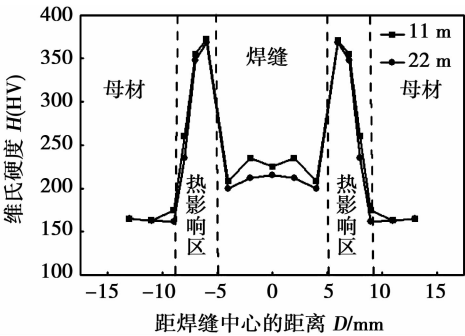


图 2 盖面焊道的硬度分布
Fig. 2 Hardness distribution of the cap passes

图 3 为对接接头焊缝的 X 射线无损检测形貌。由图 3 可以看出,在整个焊缝长度上未发现裂纹、气孔、夹渣等缺陷。

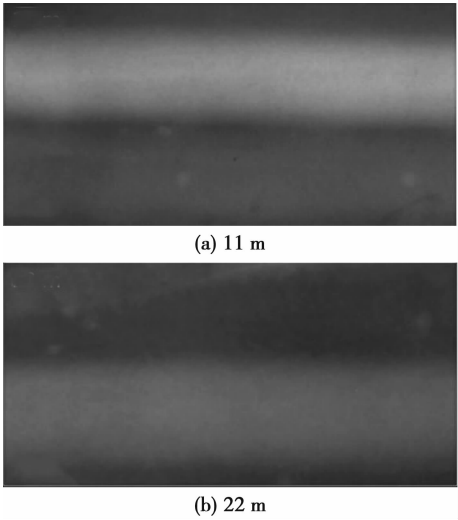


图 3 对接接头焊缝无损检测形貌
Fig. 3 Nondestructive examination picture of butt joint

2.2 T 形接头压断裂试验

11 m 水深的 T 形接头的宏观形貌如图 4 所示。由图 4 可以看出,接头焊缝致密,未发现气孔、夹渣、裂纹等缺陷。对 T 形板平焊位置和船形焊位置的多层多道焊接头进行压断裂试验。图 5 为压断后的形貌,可以看出在整个焊缝长度上根部熔合良好,未发现夹渣、气孔及未熔合等缺陷。

2.3 搭接接头拉剪试验

对搭接接头进行了横向和纵向拉剪试验。表 3 为得到的搭接接头抗拉强度。

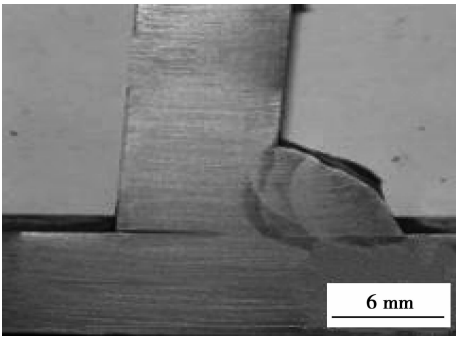
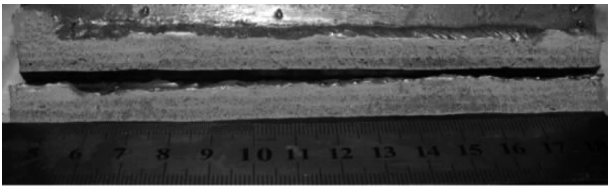
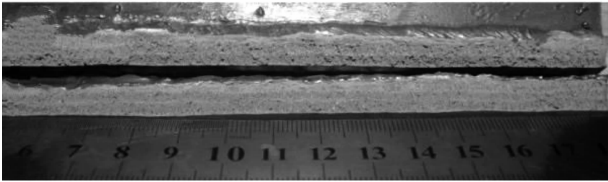


图 4 T 形接头宏观形貌(11 m 水深立焊)

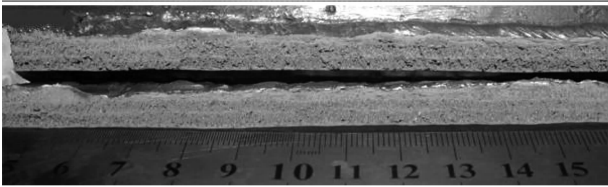
Fig. 4 Macro picture of T-joint at vertical welding position at 11m water depth



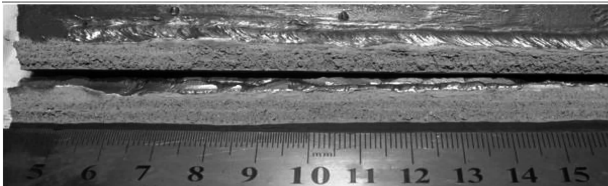
(a) 11 m 水深船形位置焊



(b) 22 m 水深船形位置焊



(c) 11 m 水深立焊



(d) 22 m 水深立焊

图 5 T 形接头压断裂试验断口形貌

Fig. 5 Fracture morphology of T-joint specimens

表 3 搭接接头抗拉强度

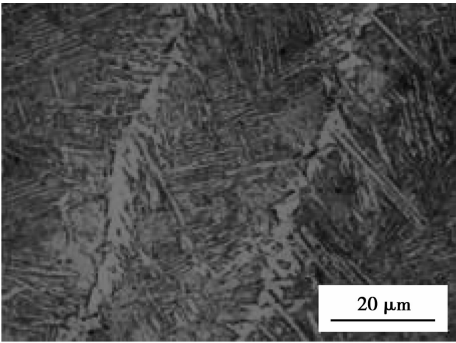
Table 3 Shear tensile test results of fillet joints

水深 <i>h</i> /m	焊接位置	横向抗拉强度 <i>R</i> _{m1} /MPa	纵向抗拉强度 <i>R</i> _{m2} /MPa
11	横焊	578	540
11	立焊	547	534
22	横焊	560	530
22	立焊	538	525

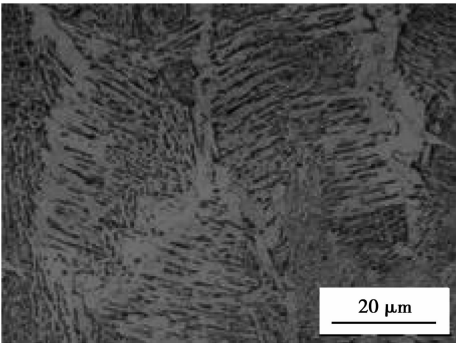
由表 3 可以看出,所有接头的抗拉强度都高于母材. 综上所述,两种水深焊接接头的各项性能指标都满足 AWS D3.6-2010 关于 B 级焊缝的要求.

3 金相组织分析

图 6 为焊缝柱状晶区的组织形貌. 由图 6 可见,焊缝的柱状晶区组织主要为先共析铁素体,侧板条铁素体以及针状铁素体. 针状铁素体是中温转变的产物,它对裂纹扩展有着很强的抵抗能力,是较为理想的转变产物^[6].



(a) 11 m 水深



(b) 22 m 水深

图 6 焊缝金相组织

Fig. 6 Microstructures of weld metal at 11m and 22 m depths

由图 6 还可以看出,相对于 11 m 水深的焊缝组织来说,22 m 水深的焊缝组织中针状铁素体明显减少,块状铁素体明显增多. 这是由于:随着水深的增加,熔池环境的氧分压增大,Si,Mn 等合金元素的氧化烧损变得严重,过冷奥氏体里的 Si,Mn 等合金元素逐渐减少,导致过冷奥氏体连续冷却转变曲线左移,所以先共析的块状铁素体明显增多. 所以 22 m 水深接头的焊缝硬度比 11 m 水深的小.

图 7 为熔合线附近热影响区粗晶区的典型组织. 两种水深的热影响区粗晶区组织差别不大,都是主要由板条状马氏体组成. 淬硬组织的产生使得

接头硬度增大,塑性变差. 所以熔合线附近是整个焊接接头硬度最大、最薄弱的部位.

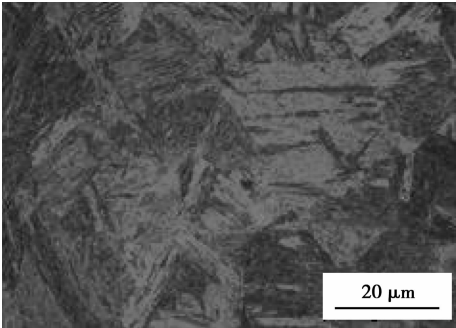


图 7 热影响区组织

Fig. 7 Microstructure of the coarse grain heat affected zone

4 结 论

- (1) 经过培训,潜水员焊工成功掌握了不同接头形式的水下湿法多层多道焊的操作技能,并成功进行了海上试验.
- (2) 11 m 水深与 22 m 水深的对接接头和角接头的各项指标都满足 AWS D3. 6 M:2010 标准关于 B 级焊缝的要求. 但随着水深的增加,接头的冲击吸收功变小,塑性变差.
- (3) DH36 钢水下湿法焊接焊缝的柱状晶区组织主要是先共析铁素体、侧板条铁素体、针状铁素体. 但由于水深的增加,Si,Mn 等合金元素的氧化烧损变得严重,使得过冷奥氏体连续冷却转变曲线左

移,所以 22 m 水深的焊缝柱状晶区的针状铁素体减少,块状铁素体明显增多. 两种水深的热影响区粗晶区的组织差别不大,主要为板条马氏体.

参考文献:

[1] Ketan Verma, Harish K Garg. Underwater welding-recent trends and future scope[J]. International Journal on Emerging Technologies, 2012, 3(2): 115 - 120.

[2] RoweM, Liu S. Recent developments in underwater wet welding. Science and Technology of Welding and Joining, 2001, 6(6): 387 - 395.

[3] 胡家琨, 武传松, 贾传宝. 水下湿法焊条电弧焊接过程稳定性评价[J]. 焊接学报, 2013, 34(5): 99 - 102.

Hu Jiakun, Wu Chuansong, Jia Chuanbao. Welding process stability evaluation of underwater wet manual metal arc welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2013, 34(5): 99 - 102.

[4] 程方杰, 胡生辉, 邓彩艳, 等. 水下焊条电弧焊扩散氢含量及焊缝组织特征分析[J]. 焊接学报, 2014, 35(5): 45 - 48.

Cheng Fangjie, Hu Shenghui, Deng Caiyan, et al. Diffusible hydrogen content and microstructure characteris-tic in the joint by underwater shielded metal arc welding[J]. Transactions of the ChinaWelding Institution, 2014, 34(5): 45 - 48.

[5] American National Standard. Underwater welding code: AWS D3. 6M-2010[S]. Miami: American welding society, 2010.

[6] 张文钺. 焊接冶金学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

作者简介: 程方杰,男,1971 年出生,博士,副教授. 主要从事先进连接技术研究. 发表论文 20 余篇. Email: chfj@tju.edu.cn