海洋工程830MPa高强钢焊接材料研究

法国液化空气焊接公司CTAS实验室 A-E.Traizet, E.Galand, C.Chovet, B.Leduey 高鹏程 莫青杉 译

1. 概述

高强钢以其重量轻的优势广泛应用于自升式海洋平台中，目前海洋工程领域广泛使用690MPa级高强钢。为了进一步降低平台的重量，全球最大钢铁集团ArcelorMittal旗下INDUSTEEL钢厂开发了830MPa级的高强钢SUPERELSO830，该钢经热轧、淬火及回火工艺，全板厚上的韧性保证值为50J/－60℃，屈服强度≥830MPa，提供89mm和160mm两种板厚。

为解决SUPERELSO830的焊接问题，INDUSTEEL和法国液化空气焊接集团合作开发了焊条电弧焊及药芯焊丝埋弧焊工艺，焊态下的试验结果表明，该焊接方案完全满足各项性能要求。

2. 埋弧焊解决方案

液空焊接集团专门研发了一种埋弧药芯焊丝来焊接SUPERELSO830钢。和690MPa级焊接材料一样，通过添加合金元素（镍、铬、钼）来增加焊缝的力学性能，但也使得焊缝韧性降低，故必须优化化学成分来获得韧性和屈服强度的平衡，为此，各项特殊措施用以确保优良的韧性水平，如使用高碱度焊剂来确保焊缝低氧含量、低扩散氢含量等。

液空焊接集团研发的ϕ3.2mm埋弧焊药芯焊丝FLUXOCORD83，配合焊剂OP121TT/W使用，进行了全焊缝金属以及焊接接头的试验，试板尺寸为1000mm×350mm×160mm，焊接参数如表1所示。

表1 焊接参数

焊接位置	电弧电压/V	焊接电流/A	预热温度/℃	层间温度/℃	热输入/kJ·cm^{-1}	行走速度/cm·min^{-1}	后热温度/℃×h
1G	30	550	120	170	18.1	55	250×2

的分发。低氢型焊条暴露在空气中的时间严禁超过规定值。暴露时间小于该规定值的焊条可以放回保温烘箱中，在至少120℃下保温储存，焊条必须进行再烘焙的次数严禁多于1次。②焊缝不能用淬火冷却或者使用其他不同于空气对流冷却的方法来冷却。在一些环境条件下，焊缝必须通过覆盖一些保温材料来减缓其空冷速度。根据具体的材质和环境，采取相应的预热保温措施。③所有的自由表面，包括甲板及其支撑结构，当它们没有焊接强度的要求的时候必须进行最小3mm角高的密封焊接。④管状结构的对接缝不能采用焊接衬垫，应采用单面焊双面成形的焊接方法，对接缝必须具有适当的坡口以保障焊缝的完全熔透。⑤当管型构件存在纵缝时，相邻两条纵缝在环缝上的接点必须错开90°以上。相交两个管型构件纵缝之间的距离≥50mm。⑥在重要结构上，包括桩管和主要支撑结构，临时焊缝被清除以后，如果母材表面存在任何损伤，则该部分区域必须作100%的磁粉探伤。⑦根部焊道焊接时，除了更换焊条和焊工改变姿势的情况，否则不允许受到中断。焊材烘干设备如图9所示。

4. 结语

胜利902铺管工程船通过制定合理的“创优工程”活动计划，以及建造施工过程中严格、细致、全面的控制每个工序，加上焊接新技术的应用，不仅为公司提交了一艘质量可靠、性能优良的工程船舶，大幅提升了建造能力和水平，为中国石化集团发展全球海洋石油工程奠定了基础。MW

（20131108）

表2是母材及全焊缝金属的化学分析。和690MPa级钢相比，该成分具有较高的镍含量，这让材料获得了更高的屈服强度。表3综合介绍了全焊缝金属和接头的力学性能。可以看到，全焊缝金属的屈服强度高出母材规定的最低值830MPa，抗拉强度高于母材规定的最低值870MPa，冲击值高于母材规定的47J/－60℃。

表2 SUPERELSO 830和全焊缝金属化学成分 (FLUXOCORD 83/OP121TTW)

	质量分数，%										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb	O/N /ppm
母材	0.141	0.18	1.30	0.007	0.001	0.31	0.57	4.26	0.031	0.031	–
焊缝金属	0.063	1.42	1.48	0.011	0.004	0.25	0.49	2.84	0.004	0.001	300/81

表3 全焊缝金属和焊接接头的力学性能 (FLUXOCORD 83/OP121TTW)

	力学性能			冲击吸收能量/J						
	Ts/MPa	*Ys*/MPa	*A* (%)	位置	-40℃ as	-40℃ rh	-60℃ as	-60℃ rh	-80℃ rh	-80℃ as
焊缝金属	903	867	17.5		84	104	67	89	48	66
焊接接头	956	901	18.0	盖面层	—	—	61		—	—
				打底层	—	—	85		—	—

注：as指凝固区，rh指再热区。

值得注意的是，830MPa母材根部的韧性值比690MPa的根部韧性值要高，其主要原因为两种母材化学成分具有较大差异，母材中很高的Ni含量（4.26%）使得稀释后焊缝金属的Ni含量也不会显著降低，V含量也相对更低（0.031%对0.053%），并且杂质水平也较低。

3. 焊条电弧焊解决方案

液空焊接集团也开发了SUPERELSO830的焊条电弧焊方案。使用ϕ3.2mm及ϕ4.0mm的TENACITO 83焊接全焊缝金属和焊接接头（2G），如图1所示。试板尺寸为1500mm×350mm×160mm，10° K形接头，焊接参数如表4所示。

表4 焊接参数

焊接位置	电流极性	焊接电流/A	预热温度/℃	层间温度/℃	热输入/kJ·cm^{-1}	行走速度/cm·min^{-1}	后热温度/℃×h
1G	DC+	110~150	120	150	15.9	10~20	250×2

包括焊缝、熔合线及母材的冲击韧性测量如图2所示。由图可以看出，热影响区和母材区的韧性符合规定值。焊接接头及全焊缝金属的化学成分和力学性能如表5、表6所示。

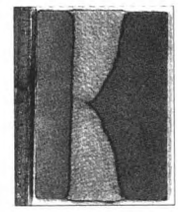


图 1

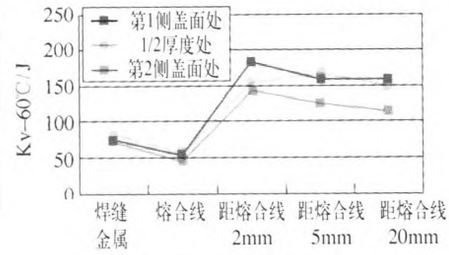


图2 焊接接头的冲击韧性

表5 母材及焊条全焊缝金属的化学成分 (TENACITO 83, ϕ4mm)

	质量分数，%										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb	O/N /ppm
母材	0.141	0.18	1.30	0.007	0.001	0.31	0.57	4.26	0.031	0.031	-
焊缝金属	0.047	0.36	1.36	0.007	0.007	0.039	0.54	4.83	0.013	<0.001	330/65
焊接接头	0.048	0.34	1.32	0.010	0.007	0.029	0.52	4.94	0.010	0.002	398/75

表6 全焊缝金属和焊接接头的力学性能 (TENACITO83, ϕ4mm)

	焊缝性能	力学性能				冲击吸收能量/J		HV_5硬度		
		Ts/MPa	*Ys*/MPa	*A* (%)	*Ts*/MPa	-50℃	-60℃	焊缝金属	母材	热影响区
焊缝金属	—	888	856	17.0	—	96	87			
焊接接头	第1侧盖面处	885	854	14.8	横向：863~861	-	73	326	285	409
	第1侧1/2厚度	889	849	18.2			80	314	277	372
	第2侧1/4厚度	924	888	14.2		-	-	-	-	-
	第2侧盖面处	892	859	17.6			71	310	280	391

从表6可以看出，试验结果完全满足母材的要求（*Ys*≥830MPa，*Ts*≥870MPa，*Kv*（-60℃）≥50J）。同时也可以看出，埋弧焊和焊条电弧焊两种解决方案熔敷金属成分不尽一致，特别是镍含量，焊条电弧焊焊缝金属明显高于埋弧焊焊缝金属。

4. 结语

试验表明，焊接含镍量高的830MPa高强钢时，埋弧焊材料组合FLUXOCORD83 /OP121TT W和焊条电弧焊条TENACITO 83在强度、韧性方面都能很好地匹配钢材SUPERELSO 830。**MW**

（20131103）