



大厚度E36钢板药芯焊丝 焊接试验

吴光辉 陈成 王树勇 蒋笑

【摘要】 60mm厚E36板平对接CO₂气体保护药芯焊丝焊接, 采用符合GB/T17493-2008 E551T1-Ni1C型Y CJ81Ni1药芯焊丝。试板检测按中国船级社焊接工艺评定规范要求执行, 检测结果满足规范技术要求。

关键词: 大厚度; E36钢板; 药芯焊丝气保护焊接; E551T1-Ni1C

1. 概述

船舶及海洋工程平台结构建造中广泛使用E36钢板, 各种厚度都有涉及, 厚度超过50mm的结构也时有出现。高强钢E36大厚板一般采用埋弧焊, 采用CO₂气体保护焊焊接工艺的研究及应

用也时有报道。当对低温韧性要求高时, 如需要满足-40℃冲击韧性要求, 所用药芯焊丝一般为E551T1-K2C型, 其含有较高的镍, 一般 $w_{Ni} \approx 1.5\%$, 在存在硫化物应力腐蚀开裂风险的环境或一些含有H₂S如开采过程中受到油

气污染的海域中, 其抗应力腐蚀性能将难以满足要求。

NACE规范要求, 在要求抗硫化物应力腐蚀断裂或应力腐蚀裂纹时, $w_{Ni} < 1\%$ 。E551T1-Ni1C型药芯焊丝要求 $w_{Ni} = 0.80\% \sim 1.10\%$, 而实际

(2) 研制的焊剂CHF207配套焊丝CHW-NiCr-3, 熔敷金属化学成分满足要求, 力学性能优异, 耐晶间腐蚀性能好, 达到了研制的目标。

(3) 研制的焊剂CHF207配套焊丝CHW-NiCr-3力学性能达到了国外同类产品水平, 尤其是-196℃冲击吸收能量高于国外产品, 可替代进口焊材。

参考文献:

[1] 汤传健, 等. 镍基合金换热管与管板的焊接[J]. 金属加工: 热加工, 2012(8): 36-38.

[2] 李文新. 真空直读光谱仪对镍基合金中多种元素的测定[J]. 甘肃科学学报, 2008, 20(2): 86-88.

[3] 严华, 顾芝敏. Incoloy 800H热交换器的焊接评定试验[J]. 焊接技术, 2013, 42(5): 45-47.

[4] 唐中杰, 等. 镍基高温合金的研究现状与发展前景[J]. 金属世界, 2014(1): 36-40.

[5] 闫建义. N06600镍基管材的焊接工艺探析[J]. 金属加工: 热加工, 2010(4): 36-38.

[6] 苏仲鸣. 焊剂的性能与使用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.

[7] 王效莲, 马明亮, 王青云. 不锈钢埋弧焊烧结焊剂研制[J]. 材料开发与应用, 2012, 27(1): 21-24.

[8] 陈世修, 秦宗琼. 奥氏体不锈钢中铁素体含量计算[J]. 阀门, 2005(1): 20-25.

[9] Erich Folkhard. 不锈钢焊接冶金[M]. 栗卓新, 朱学军, 译. 北京: 化学工业出版社, 2004.

作者简介: 李亚军等, 四川大西洋焊接材料股份有限公司。

MW 20160826

焊接中E551T1—Ni1C型药芯焊丝熔敷金属中 $w_{Ni}<1\%$ ，可以满足NACE规范要求。因此，本文以符合GB/T17493—2008 E551T1—Ni1C型药芯焊丝YCJ81Ni1作为焊接材料，焊接大厚度E36钢板，并按中国船级社规范中焊接工艺评定要求进行检测，考察药芯焊丝YCJ81Ni1是否适合大厚度E36钢板的焊接，为焊接技术人员制定同类焊接工艺提供借鉴。

2. 试验方法及材料

(1) 钢板E36 试验选择舞阳钢铁有限责任公司生产的60mm钢板E36进行对接焊接试验，其化学成分及力学性能如表1、表2所示。

(2) 药芯焊丝 试验所用焊接材料为药芯焊丝YCJ81Ni1， $\phi 1.2\text{mm}$ ，该焊丝符合GB/T17493—2008 E551T1—Ni1C，相当于AWS A5.36 E81T1-C1A8-Ni1。CO₂保护气体纯度为99.5%。药芯焊丝YCJ81Ni1熔敷金属化学成分及力学性能如表3、表4所示。

3. 焊接试验及结果

(1) 焊接试验 板厚60mm的E36钢板单块试板尺寸：600mm×150mm×60mm，采用非对称X形坡口，其中一边坡口深度为34mm，另一边坡口深度24mm，坡面角 $\sim 15^\circ$ ，钝边2mm，装配间隙1~2mm。

对接焊接参数：打底焊接电流220~230A，电弧电压26~27V；填充焊接电流240~260A，电弧电压27~28V，CO₂气体流量20L/min，道间温度

表1 钢板E36化学成分（质量分数）（%）

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V
0.14	1.46	0.38	0.006	0.016	0.060	0.020	0.004	0.036

表2 E36钢板力学性能

	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	冲击吸收能量/J，-40℃
要求值	≥ 355	490~630	≥ 21.0	≥ 41
检测值	419	541	24.0	245、210

表3 药芯焊丝YCJ81Ni1熔敷金属化学成分（质量分数）（%）

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V
要求值	≤ 0.12	≤ 1.50	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.15	0.80~1.10	≤ 0.35	≤ 0.05
检测值	0.052	1.26	0.36	0.008	0.013	0.005	0.87	0.004	0.019

表4 药芯焊丝YCJ81Ni1熔敷金属力学性能

	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	冲击吸收能量/J	
				-40℃	-60℃
要求值	≥ 470	550~690	≥ 19.0	—	≥ 47
检测值	502	583	25.0	132、127、134	109、97

控制为135~165℃，焊接速度约30cm/min，采用后退法焊接。

由于选择的焊接材料药芯焊丝YCJ81Ni1熔敷金属扩散氢含量达到超低氢H5等级且具有良好的韧性，所以焊接前未进行预热，焊后也未采取后热或缓冷措施。试板焊接完成后，自然冷却并放置72h，如图1所示。

(2) 试验结果与讨论 放置72h后进行无损探伤，由于常规X射线机难以穿透60mm钢板，故选择超声波探伤，探伤结果显示未发现裂纹、无夹渣、无未熔合。

对接试验试板力学性能检测试样加工按中国船级社规范要求执行。由于试板厚度为60mm，

全厚度横拉片所需拉力超过试验设备能力，故按图2所示加工厚度为25mm的三个横向拉片代替一个全厚度横向拉片。整个试板按船级社规范需取2个全厚度横向拉片，故最终加工6个厚度为25mm的横向拉片代替。

按船级社规范要求，E36钢板焊接工艺评定的弯曲试验压头直径选择 $d=4t$ 即可，药芯焊丝YCJ81Ni1焊材认可评定试验压头直径为 $d=3t$ ，所以压头直径选择更严格的 $d=3t$ 。整个试板厚度远大于可正反弯取样的12mm，也大于侧弯试样最大宽度40mm，故以4组侧弯代替2个正反弯，每组侧弯由厚度方向分割的两个30mm侧弯试样组成，



图1 完工试板端面

以覆盖整个60mm厚度。

E36钢板的冲击试验要求温度为-40℃，使用E36钢板的工程设计温度应 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ ，故本研究冲击试验温度选择-40℃。冲击试样按图3所示取样，图中



图2 横向拉片取样位置

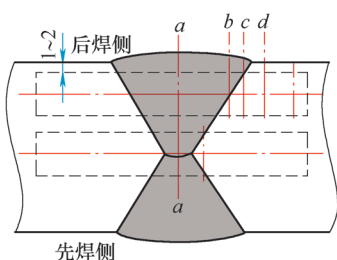


图3 冲击试样取样位置

首先，力学性能试验：结果如表5所示。

焊接接头拉片试验的抗拉强度平均数值均大于母材E36钢板的最低要求值490MPa；所有侧弯弯曲试验试样完好无裂纹；无论是焊缝还是熔合线或熔合线外，-40℃的冲击吸收能量都很高，满足大于47J的要求。焊接接头力学试验结果满足中国船级社规范中关于E36钢板焊接工艺评定的技术要求。

其次，硬度试验：按照中国船级社规范要求，对焊接接头上下表面之内2mm及板厚中心共三个部位的焊缝、熔合线、热影响区及母材各进行3个硬度测



图4 焊缝断面宏观

接头焊缝断面如图4所示。接头焊缝断面无裂纹、无气孔、无夹渣等缺陷，焊缝金属熔合良好。

4. 结语

采用药芯焊丝YJC81Ni1焊接60mm厚度的E36钢板，平对接焊接接头试验结果均满足中国船级社规范中E36钢板焊接工艺评定要求。

表5 力学性能试验结果

	抗拉强度/MPa (6个)	弯曲 (侧弯8个, $d=3t$, 180°)	冲击吸收能量/J, -40℃			
			焊缝	熔合线	熔合线外2mm	熔合线外5mm
要求	≥ 490	允许总长 $\leq 3\text{mm}$ 裂纹	≥ 47			
平1G	531, 533, 545平均536; 533, 537, 542平均537 (均为母材断裂)	完好	125, 122, 139 (后焊侧) 101, 113, 94 (根部)	98, 95, 95	103, 132, 90	143, 205, 193

a、b、c、d是冲击试样缺口所在的位置，其中a焊缝中心，b熔合线，c距熔合线2mm的热影响区，d距熔合线5mm的热影响区。d位置的取样是考虑试验焊接工艺应用于海洋工程重要构件而增加的。

试，使用维氏硬度计，加载压力98N。试验结果为191~233 HV，其中热影响区及熔合线的硬度数值变化较大，但均满足船级社规范要求的高强度钢焊接接头硬度值小于350HV。

最后，焊缝断面宏观检查：

参考文献：

- [1] 中国船级社.材料与焊接规范 (2009) [S].北京：人民交通出版社，2009.

作者简介：吴光辉等，武汉铁锚焊接材料股份有限公司。

MW 20160826

《金属加工（冷加工）》2016年第22期要目

轨道交通关键零件的再制造技术
供给侧改革下模具产业的智慧化发展
箱体类钛合金零件加工技术研究
3D打印在模具制造中的应用
以变模数变压力角的方法磨削花键塞规
简易的主轴拉刀力测量装置设计

牛头刨床自动进给刨削内圆弧面工装的研发
简易的高精度声光测量仪设计
气动夹紧连续钻孔装置的设计
在钻床上加工U形坡口的组合刀具设计
基于一键Ghost技术的西门子系统备份与还原
NH400型精密数控切割机故障维修四例