

S690QL 高强钢横焊埋弧焊 工艺研究及硬度降低方法



扫码了解更多

■ 付伟龙

摘要: 针对大直径、大厚壁的筒体,提出了采用横焊埋弧焊的方法。根据S690QL的材料特性,选择合适的预热温度、焊材及回火焊道。通过试验证明了S690QL的焊接性。

关键词: 横焊埋弧焊; S690QL; 预热计算; 焊接工艺; 回火焊道

1. 概述

桅杆式起重机是海洋工程起重机之一。该桅杆由多个筒体环缝焊接。当筒体直径较小时,环缝可以采用平焊焊接,随着起重能力的提高,筒体的直径和壁厚随之增加,无法采用平焊焊接。由于我公司承接了一台5000t的起重机,筒体壁厚65mm,直径10m。横焊埋弧焊的方法被首次引入生产中,如图1所示。

埋弧焊通常采用平焊,熔化

的铁液在重力的作用,能够理想的熔入焊缝坡口。而横焊埋弧焊面临着铁液下淌,易产生未熔合



图1 筒体埋弧焊横焊

的风险。

公司承接的起重机桅杆采用S690QL的材料,屈服强度为690MPa,要求的冲击温度为-40℃。该钢材的使用有助于减轻起重机的自重。但是新钢材,新工艺给焊接过程带来巨大的挑战。根据项目要求,该焊接执行美国焊接学会AWS D1.1和英国劳氏船级社(LR)的标准。

2. 焊接工艺

(1) 焊接性分析 S690QL

护焊焊接P91材质管道焊缝265个,RT检测全部合格,合格率100%,焊后热处理焊缝硬度值

均为241HBW以下。经对比得出采用熔化极气体保护焊(机动焊)焊接效率是焊条电弧焊的5

倍以上,其高效的生产能力为后续现场安装争取了时间,有利于项目整体效益的提高。

供热外管及丙烷脱氢装置于2014年12月开始通入蒸汽为透平试车提供动力,2015年8月初正式投产运行,至今运行平稳。

作者简介:陈言华等,中石化第十建设有限公司。

MW 20180425

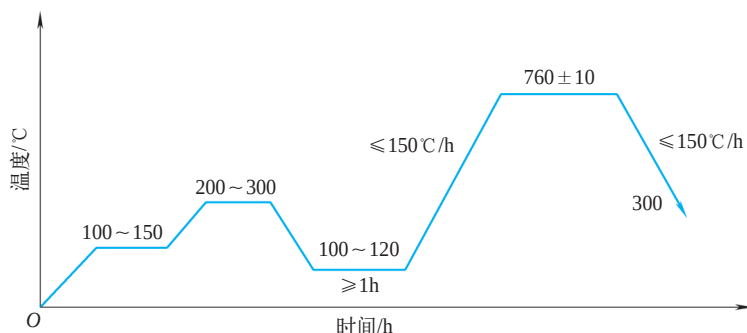


图5 焊接预热-热处理热循环曲线

属于低合金高强钢，钢板的交货状态是淬火加回火，其化学成分及力学性能如表1和表2所示。

(2) 焊材的选择 焊接材料的选择除了要考虑与钢材强度，韧性等性能相匹配外，还要尽量减少焊缝中扩散氢含量，保证接头冲击韧性，减少裂纹的倾向。为此焊材的选定必须为低氢，扩散氢的含量为H5 ($\leq 5\text{mL}/100\text{mg}$)。

结合以往的经验，打底焊材选择Stein 品牌Megafil 742M ($\phi 1.2\text{mm}$)，填充和盖面采用Topcore 742B ($\phi 4.0$) 匹配ST 55 焊剂。Megafil 742M 焊材型号为E110C—G，Topcore 742B 型号为F11A8—EC—F5，Topcore 742B 为药芯埋弧焊丝，因为药剂的作用，可以达到 -60°C 的冲击性能。

(3) 预热温度的确定 预热温度参照AWS D1.1 的附件来选择。首先计算 P_{cm} (焊接冷裂纹敏感指数) 的含量。本测试工艺 $P_{\text{cm}}=0.29$ 。其次根据焊材含氢量选择对应的敏感度指数分类。本试验由于海工环境的要求，选

择低氢焊丝 (H1组类)。确定敏感度指数分组为D组。再次根据拘束度及板厚确定预热温度为 130°C 。本试验选择中等等级拘束度。

(4) 坡口的设计 筒体对接，埋弧焊平焊通常采用双V形坡口 (X坡口)。如果该坡口用于横焊埋弧焊，面临着焊接工作量较大，铁液容易下淌，焊剂堆积过量的问题。为此将坡口改进为K形坡口，测试中发现埋弧焊导电杆容易和焊缝底部产生短路。最终选择坡口设计如图2所示。坡口预留 $3\sim 5\text{mm}$ 的间隙，上部 45° 坡口，底部预留 15° 坡口。根部采用陶瓷衬垫打底。

(5) 焊接参数及热输入 横焊的焊接参数值略小于平焊的参数。因此根据焊材材质书的参数，稍微调小，得到理想的焊缝成形。焊接参数如表3所示。参照钢板制造商的介绍，S690QL 的最大热输入不应超过 $2.5\text{kJ}/\text{mm}$ 。

3. 理化试验标准及结果

(1) 理化试验标准 依据船级社LR和AWS D1.1 的要求，

试验项目包括横向拉伸，侧向弯曲，低温冲击，宏观及硬度。

(2) 试验项目及结果 首先，完工的焊缝进行外观检测，达到ISO 5817—B级标准。其次，待焊缝冷却48h后，进行磁粉检测和超声波检测，无超标缺陷，尤其是不可以产生裂纹。再次，试板送理化试验测试。接头拉伸、弯曲、冲击测试结果如表4~表6所示。理化试验都达到标准的规定要求。

硬度检测示意如图3所示，宏观照片如图4所示，接头硬度测试值如表7所示。

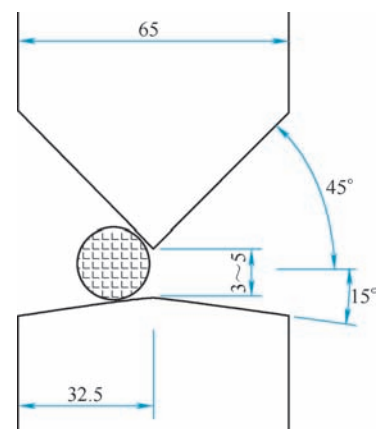


图2 坡口设计

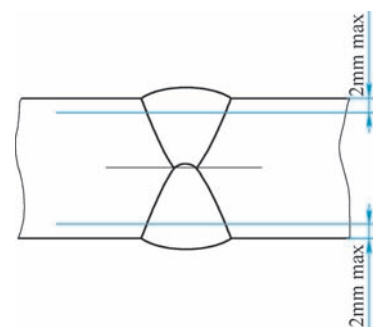


图3 硬度检测示意

表1 S690QL1钢板化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	P _{cm}	C _{eq}
0.16	0.23	1.42	0.01	0.05	0.24	0.50	0.02	0.00	0.29	0.55

表2 S690QL1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 $^{\circ}\text{C}$	-60 $^{\circ}\text{C}$
782	848	18	175, 161, 166均值167	149, 164, 157均值157

表3 焊接参数

焊道	焊接方法	填充金属	规格 ϕ/mm	保护气体/焊剂	气体流量/ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/ $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$	极性
打底	GMAW	Megafil 742M	1.2	80% Ar+20% CO_2	20~25	219~237	26~27	19~24	直流反接
填充	FCAW	Topcore 742B	4.0	ST 55	—	480~580	27~29	58~80	直流反接
盖面	FCAW	Topcore 742B	4.0	ST 55	—	480~580	27~29	58~80	直流反接

4. 硬度值分析及回火焊道

从硬度值可以看出以下几个规律。

(1) 从钢板厚度方向上，根部的硬度比钢板的表面硬度

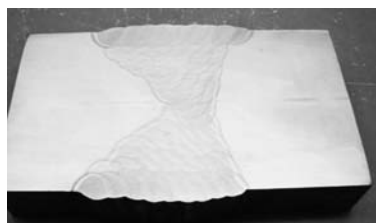


图4 宏观照片

低，这得益于后续焊道对根部焊道的反复热处理。

(2) 同一个厚度上，热影响区硬度值高于母材及焊缝区域。

(3) 焊缝表面，最后一道热影响区比第一道热影响区硬度高25HV10，这是由于最后一道焊缝没有后续焊道的回火处理。

为了降低最后一道热影响区的硬度，特调整盖面的焊道顺序，采用回火焊道（见图5）。

改进后的第7道焊缝不在母材边缘，它给第6道焊缝进行回火。第6道焊缝热影响区的硬度通过第7道的回火作用得到降低。通过额外的工艺测试，发现该焊道排布对焊缝内部力学性能没有影响，但明显降低了表面的热影响区硬度。

该回火焊道的方法被广泛用于高强钢的焊接。对于平焊、立焊和仰焊，可采用从两侧往中间焊接的方法，其硬度降低的效果比横焊更明显（见图6）。

5. 结语

试验验证了横焊埋弧焊适用于S690QL的可行性。通过采用合适的预热温度、焊接参数、焊材及回火焊道等措施，取得了良好的焊接效果。

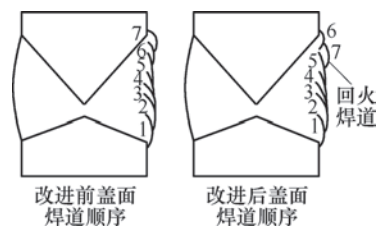


图5 横焊的回火焊道

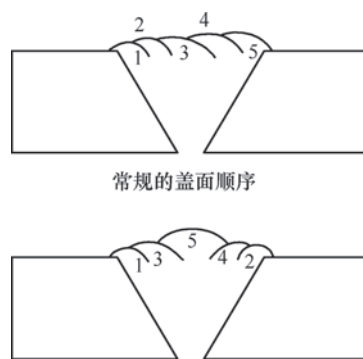


图6 改进的盖面顺序

表4 横向拉伸性能

式样组别	抗拉强度/MPa	断裂位置	结果 (≥780MPa 合格)
1#上部	808	焊缝	合格
1#下部	803	焊缝	合格
2#上部	804	焊缝	合格
2#下部	807	母材	合格

表5 横向弯曲性能

侧弯样品	试样厚度/mm	弯曲直径/mm	弯曲角度 (°)	结果
1#	10	50	180	无裂纹
2#	10	50	180	无裂纹
3#	10	50	180	无裂纹
4#	10	50	180	无裂纹

表6 焊接接头冲击性能

样品位置	冲击温 (°C)	样品尺寸 /mm × mm × mm	冲击吸收能量 /J	平均值 /J	备注
VWT 0/2	-60	10 × 10 × 55	67/79/74	73	表面焊缝中心
VHT 0/2 (45° 坡口)			81/70/76	76	表面熔合线靠45° 坡口侧
VHT 0/2 (15° 坡口)			125/70/66	87	表面熔合线靠15° 坡口侧
VHT 2/2 (45° 坡口)			107/62/70	80	表面熔合线+2mm 靠45° 坡口侧
VHT 2/2 (15° 坡口)			175/149/82	135	表面熔合线+2mm 靠15° 坡口侧
VWT 0/27.5			59/70/86	72	根部焊缝中心

表7 接头硬度测试 (≤420HV10合格)

位置	上部硬度 (HV10)	中心硬度 (HV10)	底部硬度 (HV10)
母材	281/281/278	247/256/270	287/292/287
热影响区	383/387/387	322/330/347	383/380/383
焊缝	297/281/299	272/287/285	272/254/270
热影响区	416/412/397	376/394/366	416/416/401
母材	297/290/290	236/268/260	281/287/290

作者简介：付伟龙，豪氏威马（中国）有限公司焊接工程师。

MW 20180204