

A335 Gr.P91材质管道 熔化极气体保护焊接工艺



扫码了解更多

■ 陈言华, 唐元生

摘要: 本文以公司承揽的某公司搬迁一体化项目供热外管及丙烷脱氢装置A335GR.P91材质(以下简称P91)工艺管道施工为例,阐述了使用熔化极气体保护焊焊接耐热高压管道的施工过程。通过严格的焊接和热处理工艺,在保证焊接质量的基础上提高了焊接效率。

关键词: A335GR.P91; 熔化极气体保护焊; 焊接工艺评定; 热处理

1. 概述

我公司承担的某公司搬迁一体化项目施工中,经园区工艺供热外管进入丙烷脱氢装置,蒸汽管线材质为P91,输送介质为蒸汽、设计压力10.3MPa、设计温度540℃,主管线规格为 $\phi 508\text{mm} \times 28.50\text{mm}$ 。管壁较厚、焊接工程量大,且装置濒临海洋,属暖温带季风性气候,施工周期处于夏季,雨水较多、环境潮湿、海风较大,给管道焊接带来了一定的难度。

P91材质工艺管道安装工程焊接工程量大,如使用常规的焊条电弧焊工艺,焊接效率低下,对施工周期及成本控制不利。经过分析,熔化极气体保护焊具有焊接成形好,生产效率高,焊接变形量小,焊接热输入低等优点,确定P91管道焊接采用手工钨极氩弧焊打底,熔化极气体保护焊填充、盖面焊接工艺。

2. P91材质的特性

P91材质是采用ASME标准生产的高温用铬钼合金耐热钢,类似于我国的材质10Cr9Mo1VNb,主要合金元素为Cr、Mo。

该材质焊接难度大,当焊缝冷却到较低温度时发生马氏体转变,产生脆硬组织,使焊缝变脆,加之活跃的氢分子以及管道焊接过程中产生的焊接应力,就会导致冷裂纹与延迟裂纹的出现,给装置生产运行埋下安全隐患。

另外该材质的热处理难度大,P91材质中Cr、Mo、V、Nb、Ti等元素会促使形成再热裂纹,经一次热循环后再次加热而产生再热裂纹。因此焊接之前需进行焊接工艺评定,通过科学的焊接工艺和严格的作业纪律来控制焊前预热、焊接过程及焊后热处理等各个环节,才能有效保证焊接质量。

3. 焊接工艺评定

施工前结合现场具体的预制条件和P91材质特点,依据NB/47014-2011标准进行了焊接工艺评定。试件规格 $\phi 168\text{mm} \times 14.27\text{mm}$ 。焊接方法选用手工氩弧焊打底,熔化极气体保护焊填充、盖面,焊接位置5G+1G。手工氩弧焊氩气纯度要求 $\geq 99.99\%$,熔化极气体保护焊盖面保护气体选用混合气(85%Ar+CO₂)。根据生产厂家提供的原材料产品质量证明书对P91合金含量、力学性能、金相组织进行分析,P91材质化学成分、力学性能如表1、表2所示。

焊接材料的选择根据P91材质的化学成分、力学性能、使用与施焊条件综合考虑,选用与P91化学成分相当,熔敷金属的抗拉强度值不低于原材料标准抗拉强度值的下限以及具有良好的焊接工艺性能的焊接材料,焊接材料选用如表3所示,焊接材料

的化学成分如表4所示。

试件焊接前采用电加热方法进行200℃预热，施焊过程中层间温度控制在200~300℃之间，焊接完成后进行760℃恒温热处理，300℃以上进行控温，升温 and 降温速度≤150℃/h控温，恒温期间各测温点差值≤50℃。焊接参数如表5所示，焊接接头（试样）力学性能检测数据如表6所示。

焊接接头按规范要求进行外观检测，无表面气孔、夹渣、裂纹、未熔合、咬边等缺陷，RT检测6张底片，均为I级片，热处理后硬度检测数值为热影响区163HBW、焊缝176HBW、母材166HBW。以上数据显示此焊接工艺符合要求，焊接工艺评定合格。

4. 施工焊接过程及检验

（1）管段下料、坡口制备 P91材质管道下料采用卧式金属带锯机进行冷切割下料，采用端面径向坡口机进行机械坡口制备后再使用磨光机进行精细修磨，要求坡口处不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷，坡口形式如图1所示。

（2）组对定位与氩弧焊打底 组对焊接前将坡口及其边缘内外表面≥20mm范围内的油、漆、垢、锈等清理干净，组对内壁平齐。采用手工氩弧焊进行打

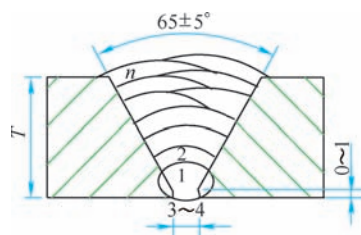


图1 坡口形式

表1 P91材质化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Ti	V	Nb	N	Al
0.08~0.12	0.20~0.50	0.30~0.60	≤0.010	≤0.020	8.00~9.50	0.85~1.05	≤0.40	≤0.02	0.18~0.25	0.06~0.10	0.03~0.07	≤0.02
0.11	0.38	0.48	0.003	0.011	8.61	0.94	0.15	0.007	0.21	0.08	0.041	0.008

表2 P91材质力学性能

拉伸试验（常温）				冲击吸收能量/J		硬度 HBW
项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率 (%)	项目	16℃状态下	
标准值	≥585	≥415	≥20	标准值	A _{vg} ≥40	≤241
实测值	701	531	26	实测值	205	220/215

表3 焊接材料选用

填充金属类别	焊丝	焊丝
焊材标准	AWS A5.28	AWS A5.28
焊材规格φ/mm	2.4	1.2
焊材型号	ER90S-B9	ER90S-B9
焊材牌号	CARBORODCrMo91	9CRMOV-N

表4 焊接材料的化学成分

焊材牌号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
CARBORODCrMo91	0.100	0.510	0.220	0.004	0.002	8.780	0.670
9CRMOV-N	0.110	0.740	0.230	0.009	0.003	9.000	0.560
焊材牌号	Cu	Nb	Mo	V	AL	N	—
CARBORODCrMo91	0.030	0.076	0.900	0.210	0.015	0.049	—
9CRMOV-N	0.060	0.063	0.950	0.200	0.001	0.040	—

表5 焊接参数

焊道/焊层	焊接方法	焊材		极性	焊接电流 /A	电弧电压/V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	热输入 /kJ·cm ⁻¹
		牌号	直径 /mm					
1	GTAW	CARBORODCrMo91	2.4	DCEN	90~130	8~14	3~8	≤11.7
2~5	GMAW	9CRMOV-N	1.2	DCEP	120~170	16~24	5.5~15	≤21.0

底焊接（见图2），焊前采用电加热方式进行预热，加热区以外100mm范围内予以保温，全程使用红外测温仪监控。为避免氩弧打底过程中背面发生金属氧化，



图2 手工氩弧焊打底

打底前按焊接工艺要求管段内部充氩气，以坡口中心为基准两侧300mm范围内制作气室，气室采用水溶纸密封，为避免熔化极气体保护焊盖面焊接时打底焊道被熔穿，采用两遍氩弧焊打底。

（3）熔化极气体保护焊填充、盖面焊接 氩弧焊打底焊接完成后即采用熔化极气体保护焊方法填充、盖面焊接（见图3）。喷嘴保护气体为85%Ar+CO₂组成的混合气。焊接过程全程电加热，加热范围与

表6 焊接工艺评定（试样）力学性能检测数据

拉伸试验						
试样编号	试样宽度/mm	试样厚度/mm	横截面积/mm ²	最大载荷/kN	抗拉强度/MPa	断裂部位和特征
1	20	14.27	285.4	190.9	669	母材，塑性
2	20	14.27	285.4	194.9	683	母材，塑性
弯曲试验						
试样编号	试样类型	试样厚度/mm×mm		弯曲直径/mm	弯曲角度（°）	试验结果
3	侧弯	14.27×10		40	180	合格
4	侧弯	14.27×10		40	180	合格
5	侧弯	14.27×10		40	180	合格
6	侧弯	14.27×10		40	180	合格
冲击试验						
试样编号	试样尺寸 /mm×mm×mm	夏比V型 缺口位置	试验温度/℃		冲击吸收能量/J	
7	55×10×10	焊缝	20		84	
8					118	
9					101	
10		229				
11		热影响区			215	
12					236	

氩弧焊打底一致，层间温度控制在200~300℃之间，摆动参数为2~12mm，一次性连续焊接完成。

（4）焊接注意事项 ①正确选择工艺参数，保持干伸长度为15~20mm。②分道焊时，焊枪在坡口两侧及分道处稍作停留，避免熔敷金属产生未熔合缺陷，平焊位置要加快焊枪摆动，适当加大电流，避免夹渣缺陷的产生。③采用变位机旋转填充盖面焊接时预热温度达到要求后，可拆下电源线利用电弧产生的热量可以保证层间温度的实现，每层焊接完成后如层间温度过高可

稍作等候，待降温后方可继续焊接。④焊接过程中每层焊接完成后应进行检查，焊接接头要错开，焊接速度不宜过快，每层焊接的厚度不能超过4mm，避免因应力集中晶粒粗大，热输入过高而产生热裂纹。

5. 热处理工艺

焊后热处理如图4所示。P91材质管道焊接完成后需保温缓冷至100~120℃之间进行1~2h恒温处理（马氏体转变），然后再进行后续热处理工作。

热处理升温到300℃以上时升温速度≤150℃/h，恒温温度

为760℃±10℃。

降温速度≤150℃/h，降温至300℃以下时断电，自由冷却至环境温度。

热处理加热范围为焊缝两侧各不小于焊缝宽度的3倍，且≥25mm，加热范围以外100mm区域内予以保温，管道两端封堵，避免穿堂风（见图5）。

经热处理的焊接接头，对焊缝及热影响区进行100%硬度检测，硬度检测值布氏硬度241HBW以下为合格。

6. 结语

本工程中使用熔化极气体保



图3 熔化极气体保护焊填充、盖面

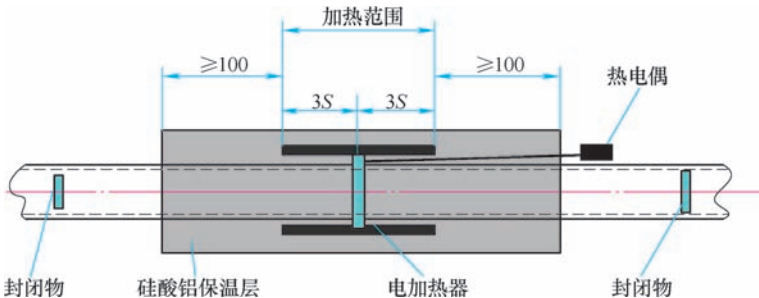


图4 焊后热处理示意（单位为mm，图中S为管壁厚）

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

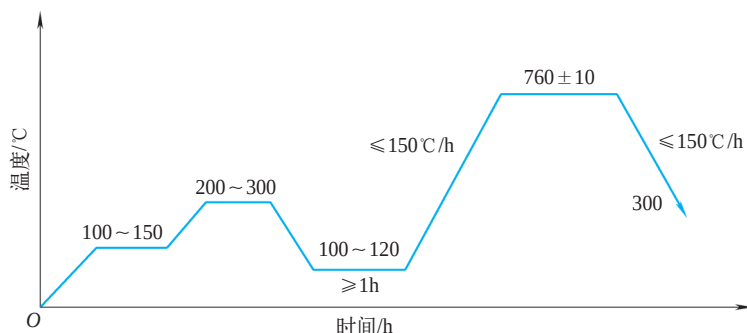


图5 焊接预热-热处理热循环曲线