



35CrMo钢制超高压水泥头 焊接工艺

尹垒 周保德 陈立平

【摘要】探讨了调质热处理后的35CrMo低合金高强钢管材作为筒体，承插由壬组焊成为水泥头产品的焊接工艺，并对焊接措施及操作注意事项进行了总结，尤其是对引弧和熄弧处理、层间处理及道间温度以及焊接次序及时间做了详细介绍。通过合适的焊后热处理工艺措施消除应力。最后通过试压检测，证明此工艺能够满足105MPa压力要求，该工艺可以为超高压容器焊接提供参考经验。

关键词：5CrMo；超高压；焊接工艺；焊后热处理

日前公司承担焊制页岩气固井用超高压水泥头一件，现场使用工作压力达到70MPa，试验压力要求达到105MPa，属超高压压力容器。经讨论确定选用调质热处理后的35CrMo低合金高强钢管材作为焊接筒体，将5个由壬（材质35CrMo）承插于筒体上焊接完成此产品。

35CrMo钢的化学成分以及力学性能如表1和表2所示。

35CrMo无缝管有很高静力强度、冲击韧性及较高疲劳极限，高温下有高的蠕变强度与持久强度，冷变形时塑性中等。

35CrMo钢的碳当量值为0.72%，可知此钢种焊接性不良，焊接时其淬硬倾向较大，尤其在调质状态下焊接，由于热影响区热裂纹

表1 化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.035	≤0.035	0.8~1.10	≤0.030	≤0.030	0.15~0.25

表2 常温下力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)
≥985 (100)	≥835 (85)	≥12	≥45

看出电流电压对焊缝的熔合影响比较大，U形坡口得到理想的角焊缝尺寸。由此工艺试验确定了管子管板焊接接头的形式，采用U形坡口来代替常用的45°坡口。此种坡口焊缝成形好，尖角处不易产生未熔合的现象，焊脚尺寸可以达到工程标准的要求。

(2) 第一遍采用自熔容易产生热裂纹，热量不容易到达焊

缝的根部，通过增大根部的间隙，两遍都填丝，并且采用U形坡口就能很好地解决不熔透的问题。

(3) 设计焊接的管头伸出量也很重要，如果管头伸出太短，容易产生咬倒结构，不利于产品的耐腐蚀性。

参考文献：

[1] 宋天虎.焊接手册[M].第2

版.北京：机械工业出版社，2001.

[4] 周浩森.焊接结构设计手册[M].北京：机械工业出版社，1990.

作者简介：文明，大连金州重型机器集团有限公司。

MW 20170828

和冷裂纹倾向都会较大，对焊接工艺及措施要求高，所以在选取合适焊接材料，合理焊接方法基础上，必须采取严格工艺措施才能实现产品焊接目的。

本文以超高压固井水泥头焊接实例，介绍规格为长1469mm， $\phi 326\text{mm} \times 18.25\text{mm}$ 筒体上焊接5件规格为 $\phi 52\text{mm} \times 17.25\text{mm}$ 的由壬的焊接工艺。

1. 焊接难点分析

35CrMo钢属低合金高强度钢，其碳当量 $>0.60\%$ ，钢材的硬倾向较强，致使焊接时热影响区淬硬倾向增大，焊接性较差。而且焊接时接头内氢含量较多，极易产生冷裂纹。

由于该产品试压要达到105MPa，属于高压力容器，且工件连接处为复杂的相贯线，因此焊接时要采用多层多道焊接的方法进行，以保证焊接强度。多层多道焊接一方面热输入大，熔池温度过高，高温停留时间过长，在冷却过程中均易产生结晶裂纹；另一方面，筒体以及由壬厚度相差悬殊，受热不均匀，致使焊接后残余应力很大。

2. 焊接工艺

(1) 焊接设备 采用唐山松下YC—400px焊机。

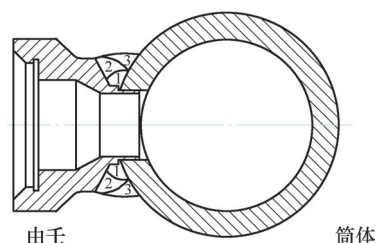
(2) 焊接材料 根据焊接材料选用手册，采用天津大桥焊材集团公司的E8515—G(J857Cr)焊条。J857Cr焊条属低氢钠型药皮的低合金高强度焊条，采用直流反接，可全位置焊接，规格为 $\phi 3.2\text{mm}$ 和 $\phi 4\text{mm}$ ，其化学成分如表3所示。

(3) 焊接接头坡口设计 据设计图样显示，筒体与由壬组装位置及坡口设计如附图所示。

筒体根部不开坡口，由壬被焊接端部车削加工一斜坡，筒体与由壬焊接坡口采用类似 $45^\circ \pm 2^\circ$ 单V形坡口。该坡口形式开口较大，有利于焊接过程中扩散氢的逸出和脱渣，也可使根部很好熔合。清磨焊缝缺陷及飞溅时，使用金属内磨头或中厚切片，尽量不用厚磨片。

(4) 焊前预热 为了防止局部加热引起的高应力以及热裂纹，在焊前要对筒体和由壬进行预热。首先将由壬安装到筒体上（见附图），进行定位焊，使两者固定；然后整体进入回火炉预热至 250°C 。

(5) 焊道间温度控制 焊道间温度控制在 $90\sim 110^\circ\text{C}$ ，焊



筒体与由壬组装位置及坡口设计
注：1、2、3代表焊接顺序。

接过程中红外测温仪监控，当焊缝温度低于要求时，即用氧乙炔中性焰加热至规定温度后再焊接。

(6) 中断焊接保温 由于焊接5个由壬，焊接时间长，无法一次性焊完。中间停止焊接操作时，应将工件放入回火炉持续保温，保温温度也为 250°C 。一方面为了防止急速冷却引起的裂纹，另一方面可以为未焊接的由壬预热。

(7) 焊接参数 该焊接采用打底层、填充层、盖面层三层焊接的方式。其焊接参数如表4所示。

(8) 焊后热处理 此筒体焊前已做过调质处理，焊后筒体置于回火炉内温度缓升至 420°C ，应力释放时间8h，随炉冷却完成焊后热处理。整体高温回火消除焊接残余应力效果最好，可将80%~90%以上的焊接残余应力消除掉。

3. 焊接操作及注意事项

(1) 焊接准备 ①焊前焊条须经 350°C 烘干保温1h，随用随取，用不完可重复烘干，但重复烘干不得超过三次。②不锈

表3 E8515—G (J857Cr) 焊条化学成分 (质量分数) (%)

C	Mn	Si	Cr	V	Mo
≤ 0.15	≥ 1.00	≤ 0.60	0.70~1.10	0.05~0.15	0.50~1.00

表4 焊接参数

焊层	焊材型号	规格 ϕ/mm	电源极性 及方式	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	层间温度 /℃	焊层厚度 /mm
打底层	E8515—G	3.2	SMAW DC+	110~125	16~22	17~22	—	10
填充层	E8515—G	4.0	SMAW DC+	170~180	18~20	18~20	90~110	20
盖面层	E8515—G	4.0	SMAW DC+	165~175	16~20	16~19	90~110	10

钢刷或氧乙炔中性火焰清理焊缝附近50mm内的毛刺、铁锈及油污等杂物。③由壬定位组焊于筒体上,定位焊缝长度不短于20mm,焊缝的起弧点与熄弧点与母材圆滑过渡。④筒体工件整体进入高温回火炉预热至250℃。

(2) 焊接操作注意事项 第一,引弧和熄弧处理。鉴于低氢钠型药皮焊条在起弧处易产生密集气孔的特性,宜在起弧点后15~20mm处划弧方式引燃电弧,待电弧稳定燃烧后再前移至起弧点处焊接;熄弧时采用回焊法填满弧坑,避免引起收弧裂纹。

第二,焊接角度。尽可能使焊缝熔池处于平焊位置冷却成形,平焊可使焊工在焊接工艺参数范围内适度增大焊接电流,有效减少夹渣缺陷产生几率,特别是打底层间隙较小处,保证电弧穿透力。

第三,层间处理及道间温度。采用小电流、短电弧、不摆动或轻微摆动的多层多道焊,打底层采用 $\phi 3.2$ mm焊条适当增大电流,窄道快速焊;填充层采用 $\phi 4.0$ mm焊条不摆动或轻微摆动,使焊道平整并充分熔合;最后一道采用 $\phi 3.2$ mm焊条可有效消除咬边缺陷。每层焊道必须清理干净,尤其接头及焊道两侧,并注意防止夹渣、未熔合等缺陷的产生。焊道单层厚度 ≤ 4 mm,每层接头应错开10~15mm,一为便于清渣和避免死角,二可使焊接应力不至过于集中。道间温度不可过高(以90~110℃为宜),相对焊接热输入,道间温度对熔敷金属低温性能影响更

大,应对道间温度严格控制。

第四,焊接次序及缓冷措施。由于此工件焊接过程中存在视线受阻的实际情形,所以可采用先焊接半圈,再焊接另半圈的方法。但每一单道焊缝必须全部焊接完成后,才可以进行下道焊缝焊接。单道焊缝焊接过程不得无故中断,如遇特殊情况应采取后热保温措施,达到焊接条件后方可再行焊接。鉴于由壬有5个,可采取交互焊接方式:即由壬1和由壬2交互焊接,等全部焊完,使用岩棉保温被缓冷;然后再焊接由壬3和由壬4,全部焊完后采用相同的缓冷措施;最后再焊接由壬5。此方式可有效减小焊接热输入,防止道间温度过高,且可避免焊接残余应力不致过分集中,减小了再热裂纹的产生几率。焊缝总体工作量较大,单班次不能全部焊完,停焊后须将筒体置于250℃回火炉内保温处理(单个由壬焊接须焊完三分之一以上),下一班次取出按预热规范要求再继续焊接。

第五,焊缝要求。焊角高度应符合设计图样,焊缝应与母材圆滑过渡,焊缝余高在0.5~2mm,焊缝表面不得有气孔、夹渣、裂纹、未熔合和咬边等可见性缺陷,边缘不得有飞溅、焊瘤等附着,如有可用角向磨光机装羊毛轮清磨去除,整个焊缝应尽可能平滑美观。

4. 检测试验

(1) 外观检查 焊缝表面无咬边、气孔、裂纹等可见缺陷,焊后成形平滑美观。

(2) 无损检测 焊缝经超声波探伤,焊缝内部无明显夹

渣、气孔、裂纹及未熔合等缺陷。

(3) 水压试验 该产品经石油工业井下工具质量监督检验中心进行检测,水压打压至105MPa,焊接处无可见变形,且在整个试验过程中无异常响声,稳压15min无渗漏。

5. 结语

35rCMo钢属于中碳钢,焊接性能不良,尤其是为了增加其强度经过调制热处理后,其可焊性更差。该材质水泥头的焊缝要达到承压能力105MPa,应该说是一项严峻的挑战。通过研究实践,总结了一套行之有效的超高压水泥头焊接工艺,经过试压检测,该工艺能够满足水泥头105MPa超高压要求,为此类超高压产品的焊接提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] 杨亮平,徐延金.合金结构钢35CrMo的焊接[J].金属加工(热加工),2009(4):58-59.
- [2] 谭金明.35CrMo焊接工艺实践[J].制造技术与实践,2007(6):71-72.
- [3] 俞宽铤.锅炉压力容器焊工培训教材[M].北京:北京科学技术出版社,1999:40.
- [4] 中国机械工程学会焊接学会.焊工手册:手工焊接与切割[M].北京:北京机械工业出版社,2003:40-41,312-313.

作者简介:尹奎、周保德、陈立平,德州大陆架石油工程技术有限公司。

MW 20170728