

25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管焊接工艺要点

罗运良

(蓬莱巨涛海洋工程重工有限公司, 山东 蓬莱 265607)

摘 要: 裂解炉管用 25Cr-35Ni-Nb 材料属于离心铸造的高镍铬热强钢, 化学成分较为复杂, 在焊接过程中焊缝金属具有较大的结晶裂纹倾向, 对焊接环境及施工要求较严格。通过对 25Cr-35Ni-Nb 材料的焊接性分析及焊接操作实践, 掌握了该材料的焊接工艺要点、注意事项及焊接参数。通过优化焊接工艺参数, 在工程承接的某烯烃裂解项目用裂解炉管的项目一次焊接合格率达到 99.9% 以上。

关键词: 裂解炉管; 氩弧焊; 焊接工艺

中图分类号: TG402

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.01.012

Main Points of Welding Process of 25Cr-35Ni-Nb Cracking Furnace Pipe

LUO Yunliang

(Penglai Jutao Offshore Engineering Heavy Industries Co., Ltd., Penglai 265607, Shandong, China)

Abstract: 25Cr-35Ni-Nb material for cracking furnace pipe is a high Ni-Cr thermal strength steel cast by centrifugal casting and the chemical composition is complex. The weld metal has a large tendency of crystallization crack during welding, and the requirements for welding environment and construction is strict. Through the weldability analysis and welding operation practice of 25Cr-35Ni-Nb material, the main points of welding process, precautions and welding parameters of the material are mastered. By optimizing the welding process parameters, the one-time welding qualification rate of cracking furnace pipe for an olefin cracking project undertaken by the project has reached more than 99.9%.

Key words: cracking furnace pipe; argon arc welding; welding process

本研究介绍的裂解炉管用 25Cr-35Ni-Nb 材料用于美国美孚德克萨斯州烯烃裂解厂项目, 该项目采用模块化建造的新兴方式对工厂进行前期规划和设计, 涉及大量热强钢、耐热钢的焊接, 其中比较核心的模块涉及离心铸造 25Cr-35Ni-Nb 高温裂解炉管的焊接。裂解炉管长期在高温渗碳及氧化的条件下服役, 具有较高的耐蚀性、抗氧化性等, 服役温度能达到 1 000 ℃ 以上。25Cr-35Ni-Nb 材料合金成分含量较高, 焊接性比较复杂, 本研究通过前期的焊材选择、焊工实操练习以及现场产品的模拟试验^[1], 最终优化了裂解炉管用材料的焊接工艺参数, 保证了项目

的顺利完成, 项目完工时裂解炉管的一次焊接合格率达到 99.9% 以上。

1 裂解炉管化学成分及焊接性分析

1.1 化学成分

裂解炉管用 25Cr-35Ni-Nb 材料属于离心铸造的高镍铬合金, 由于钢中加入了铬、镍、钼等合金元素, 化学成分比较复杂, 其中加入的铬元素主要作用是提高耐蚀性, 铬的氧化物比较致密, 不易分解, 能有效起到保护膜的作用; 镍元素可以提高钢的耐酸碱腐蚀性, 可以

促进耐热钢氧化膜的稳定性, 提高钢的热力学稳定性, 对提高耐热钢的高温抗氧化性有很大作用; 钼是钢种的强化元素, 钼优先进入固溶

体中使其强化, 提高了钢的热强性。本工艺试验使用的高镍铬合金 25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管的化学成分见表 1。

表 1 高镍铬合金 25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管的化学成分

%

$w(\text{C})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Mo})$	$w(\text{Nb})$	$w(\text{P})$	$w(\text{S})$
0.171	1.33	1.36	24.72	37.42	0.021	1.078	0.023 7	0.009

由于该裂解炉管采用离心铸造法制造, 不仅制造效率高而且铸管的组织致密。该材料的微观组织中, 柱状晶组织占比为 45%~85%, 等轴晶组织占比为 15%~55%。其微观组织如图 1 所示。

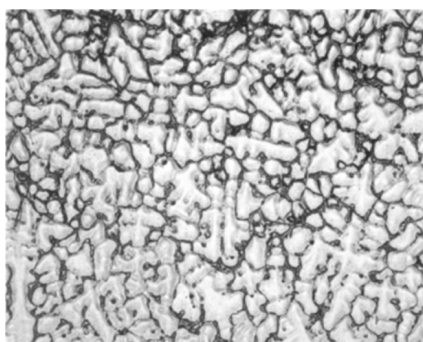


图 1 25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管微观组织 (100×)

1.2 焊接性分析

一般来说, 合金钢元素含量越多, 热导率越低, 而线膨胀系数越大, 电阻率也越高。由于高合金钢的这些特殊的物理性能, 焊接过程中会引起较大的焊接变形, 产生较大的残余应力, 焊接过程中需严格控制热输入, 尽量采用小电流多层多道焊^[2-3]。

25Cr-35Ni-Nb 材料属于高合金钢, 尤其是 Cr 和 Ni 元素的含量较高, 焊接时在焊缝及近焊缝区有产生热裂纹的可能性, 最常见的是焊缝凝固裂纹^[4-5]。焊接热裂纹的产生原因, 一方面与焊接局部加热和冷却条件下, 接头在冷却过程中产生较大的拉应力有关, 另一方面与高合金钢合金成分比较高, 焊接凝固过程中存在杂质偏析有关。焊接过程中对杂质含量较为敏感, 焊前清理比较严格^[6]。另外由于存在杂质的偏析, 在焊接弧坑位置易产生弧坑裂纹, 如图 2 所示。



图 2 焊接练习管的缺陷示例

2 焊接技术要求

针对裂解炉管的焊接特性, 要求其焊接全部使用氩弧焊工艺, 采用不摆动或少摆动的多道焊方式, 尽量使用较小的焊接热输入。第一层焊接完成后严格检查焊道质量, 不允许有裂纹及其他焊接缺陷; 第二层焊接后需要进行 PT 检测, 检测合格后才能进行下一道的焊接; 尽量减少裂解炉管的焊接返修, 焊接合格率要求达到 98% 以上。

2.1 一般原则性要求

(1) 所有接头采用氩弧焊方法完成。氩弧焊设备极性为 DCEN, 高频引弧, 电流衰减及气体延迟保护, 延迟时间为 4~6 s。

(2) 弧坑要及时填满以防止弧坑裂纹产生; 多层焊接的电弧终止端要相互错开^[7]。

(3) 严格按获批准的 WPS 要求控制层间温度, 以避免因接头过热产生热裂纹, 层间温度须使用接触式数字测温仪进行测量^[8]。

(4) 严格控制焊道宽度, 打底焊道宽度不得超过 6 mm, 第二层焊道宽度不得超过 8 mm, 填充和盖面的焊道宽度不得超过 10 mm。

(5) 焊接过程中端头氧化的、未使用的焊材禁止熔入焊道, 须割除端头氧化层; 砂轮片须标注仅用于 25Cr-35Ni-Nb 材料焊接; 钢丝

刷采用不锈钢材料^[9]。

2.2 焊接流程

2.2.1 坡口准备和组对

(1) Fe-Ni 基耐蚀合金表面由于氧化皮熔点较高, 加上一些其他元素, 如 Pb、S 和 As 等, 基本都可以与 Ni 形成有害元素, 从而让焊接物的合金热裂倾向增加。因此焊前需要仔细清除坡口及内外表面的各种污染物质, 坡口内外 25 mm 范围内需打磨并用干布去除油、漆和污垢直到露出优质金属表面。

(2) 组对前必须进行 PT 检验以保证待焊接区域 (坡口外表面 25 mm 范围) 无微观裂纹, PT 检验时注意管内壁保护, 防止污染。

(3) 使用管线夹通过螺丝扣调整根部间隙时, 管线夹必须采用不锈钢材料以防止污染母材。

2.2.2 背部充气

打底焊接前, 纯度 99.997% 的氩气充满管线

内部, 保证背部充气中的氧气含量小于 0.2%。背部供气需保持直到焊接完成 6.5 mm 厚填充金属 (至少 3 层)。

2.2.3 点焊

点焊采用桥接块, 焊点不可点在母材表面, 而是焊在坡口表面且不是打底位置。点焊位置如图 3 所示。

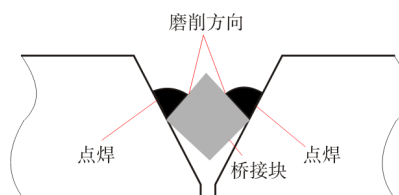


图 3 点焊位置示意图

2.2.4 焊接参数

25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管的焊接工艺参数要求见表 2。

表 2 25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管的焊接工艺参数

焊道/焊层	焊接方法	焊丝直径/mm	电特性参数			焊接速度/ (mm·min ⁻¹)	焊接热输入量/ (kJ·mm ⁻¹)
			焊接极性	电流/A	电压/V		
打底	GTAW	2.4	DCEN	60~75	9~11	60~75	0.4~0.8
第二层	GTAW	2.4	DCEN	80~100	10~12	120~130	0.4~0.6
填充	GTAW	2.4	DCEN	100~150	10~13	110~150	0.4~1.1
盖面	GTAW	2.4	DCEN	100~140	10~13	120~150	0.4~0.9

2.2.5 打底焊接

(1) 打底焊接过程中, 通过根部间隙观察打底焊道是否存在氧化、未焊透及凸起过高, 这些缺陷都需要移除并重新焊接, 这种检查要重复进行直到根部间隙封闭。

(2) 为保证焊接质量, 继续焊接前弧坑须打磨削薄以利于停止点的焊接而不会留下由 RT 检查出的小缺陷。

(3) 如打底焊道咬边和过高凸起而不能接受时, 须在焊接热焊道前进行打磨处理及重新焊接。

(4) 打底焊焊接顺序如图 4 所示。点焊位置为图 4 中 T1、T2、T3 和 T4。总是采用立向上焊接, 焊接顺序: 焊①→移除 T1→焊②→移除 T2→焊③→移除 T3 和 T4→焊④→完成焊接。

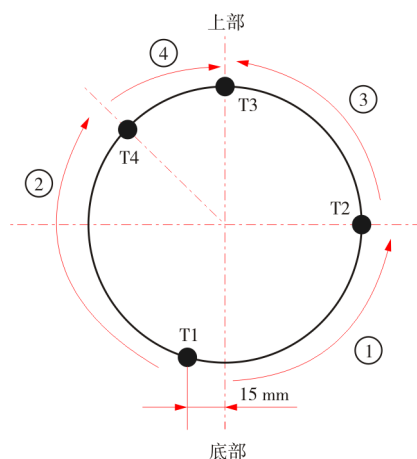


图 4 打底焊焊接顺序示意图

2.2.6 第二层焊道

打底焊完成后熔渣和外部材料必须清理干净, 氧化渣须通过不锈钢丝刷移除, 第二层后需

进行 PT 检测,避免因根部缺陷导致的焊接返修。

2.2.7 填充和盖面焊

(1) 通常填充焊道焊接至焊缝金属低于接头表面 0.5 mm 为宜,以利于盖面焊接。盖面焊接过程中,电弧锯齿状均匀摆动,焊缝表面余高应 ≤ 3 mm。

(2) 在任何情况下,开始焊接前,现存的起始和结束点须打磨处理以便新焊道平滑过渡。

(3) 每焊完一层焊道,应彻底打磨,并经质量检查合格后方可进行下一层的焊接。多层焊的层间接头应错开,严格控制层间温度,层间温度不得超过 100 $^{\circ}\text{C}$ ^[10]。

(4) 完成盖面后采取缓冷措施。在最终焊接完成 5 min 内,用保温棉包裹焊缝并用铁丝绑住使焊缝缓慢冷却。

3 焊接检验

3.1 焊后检验

外观检验要求:焊缝成型良好,焊缝与母材圆滑过渡,无裂纹、气孔、夹渣和飞溅;焊缝表面不大于 1.6 mm,焊缝宽度均匀,不允许有咬边。其他要求满足 ASME B31.3 和业主规格书的相关要求。

焊工经培训后严格按照要求进行焊接,实现产品所有接头焊接完毕后都满足外观检验的要求。

3.2 无损检测

接头在焊接完毕后焊缝金属和热影响区 100%PT 和 RT 检查。RT 灵敏度要求为 2~2t (t 为板厚),接收标准增加了:①任何线性缺陷和咬边是不可接受的;②任何 4 个及以上非线性缺陷之间的距离小于 1.6 mm 都是不可接受的;③单个非线性缺陷直径大于 1.6 mm 是不可接受的。

通过焊工培训和优化焊接参数,最终该项目 1 280 道焊缝中只出现 1 道焊缝不符合无损检测要求,该道焊缝出现了超过 1.6 mm 未熔合缺陷,后续通过 1 次焊接返修,无损检测合格。

4 结 论

(1) 结合裂解炉管用 25Cr-35Ni-Nb 材料的焊接性分析以及前期的焊接性试验,总结了项目中裂解炉管用钢 25Cr-35Ni-Nb 的焊接工艺要点,如多层多道焊、小摆动宽度、小线能量、根部焊道的 PT 检测等。

(2) 选择合适的焊接工艺参数用于 25Cr-35Ni-Nb 裂解炉管的焊接,最终实现项目 1 280 道焊缝仅出现 1 道焊缝返修,一次焊接合格率达到 99.9%以上。

参考文献:

- [1] ASME International (ASME). Welding, brazing and fusing qualifications: ASME BPVC IX—2019 [S]. Washington, USA: ASME, 2019.
- [2] US-AWS. Recommended practice for welding of Cr-Mo steel piping and tubing: AWS D10.8 [S]. Miami USA: AWS, 1996.
- [3] American petroleum institute. Welding guidelines for the chemical, oil, and gas industries: API RP 582—2016 [S]. Washington, USA: API, 2001.
- [4] 张善勇, 贺庆, 王艳杰, 等. 镍铬合金裂解炉管的现场焊接技术[J]. 甘肃科技, 2008, 24(8): 55-59.
- [5] 申大伟. 乙烯裂解炉辐射炉管 KHR45A 材料的焊接工艺[J]. 焊接技术, 2004, 33(1): 54-56.
- [6] 周振丰. 焊接冶金学与金属焊接性 (修订本) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [7] 钱昌黔. 耐热钢焊接 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1988.
- [8] 王文瀚. 焊接技术手册 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000.
- [9] 尹士科. 焊接材料手册 [M]. 北京: 工业出版社, 2000.
- [10] 范长信, 张红军, 周荣灿, 等. 超超临界机组锅炉用新型耐热钢的焊接[J]. 电力设备, 2006(4): 11-14.

作者简介: 罗运良 (1988—), 男, 汉, 学士, 焊接工程师/IWE, 现主要从事焊接工艺及焊接过程控制的研究工作。

收稿日期: 2021-09-28

编辑: 罗 刚