



15CrMo换热管束的焊接

郭晓春 崔淑芬 王大华

【摘要】对15CrMo换热管与管板15CrMo锻件进行了焊接性分析。针对换热管束焊接结构特点,采用合理的施工工艺,并通过对焊接过程中预热温度的控制、焊后消氢及焊后热处理等工艺的合理调整,有效防止了再热裂纹的产生,保证了产品焊接质量。

我厂为某化工天然气制氢综合改造工程预制的多台容器设备中,涉及特殊材料和结构的设备较多,其中燃料气预热器(见图1)等为固定管板式换热器,该设备设计在高温环境下工作,其内径为1 000mm。壳程、管程的设计参数如表1所示。管程材料为Q345R,壳程材料为15CrMoR,换热管束和管板材料为15CrMo,并且整台容器需进行焊后消除应力热处理。这在我厂是首次对施焊的换热管束及其

焊缝进行热处理,对整个焊接过程提出了更高的要求,并需对焊接顺序、热处理顺序及热处理次数进行合理的部署。

该批换热器中,换热管761根,焊接量大,焊接质量要求严格,劳动条件差(在长时间预热条件下施焊),劳动强度大,焊

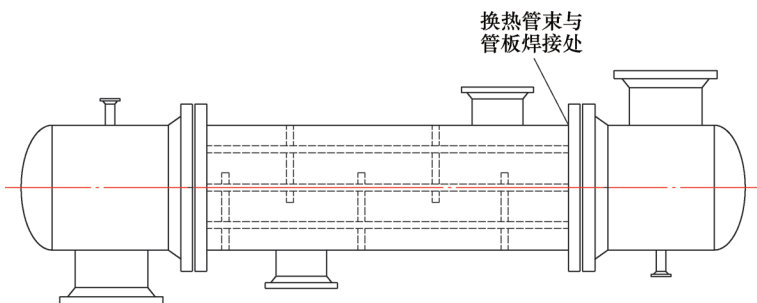


图1 燃料气预热器结构

况,所以只对焊缝及Q345R侧热影响区进行了-20℃冲击试验,冲击值>31J,满足NB/T47014标准要求。

由此可见,焊接接头的抗拉强度、弯曲性能及冲击性能结果均满足标准要求,证明制定的焊接工艺可以保证焊接接头的力学性能。

4. 结语

Q345R钢焊接性良好, N08825钢属于铁镍基合金,焊接时容易产生热裂纹,两者物理

性能差异较大。两异种钢焊接时,采用氩弧焊打底,背面采用纯氩气体保护,焊前应严格清理坡口表面,适当加大坡口角度,填充及盖面采用焊条电弧焊,采用较小的热输入,层间温度<100℃,多层多道焊,焊接接头力学性能满足标准要求。将该工艺应用于回收塔冷凝器产品焊接,焊接接头焊后进行20%RT+100%PT检测,水压试验后进行100%PT检测,均没有发现焊接缺陷,满足设计技术要求。

参考文献:

- [1] 冯勇, 罗纯东.Incoloy825材料在加氢裂化装置高压空冷器上的应用[J]. 炼油技术与工程, 2006 (5): 24-26.
- [2] 姚彩艳, 张林贤.Incoloy Alloy 825铁镍基合金的焊接工艺研究[J]. 焊接技术, 2002 (6): 19-20.

作者简介: 赵瑞辉, 中船圣汇装备有限公司。

MW 20160502

缝质量不易获得可靠的控制。通过对材料焊接性和焊接结构难点的分析,制订了合理的工艺,保证了焊缝质量。

1. 焊接性分析

15CrMoR为珠光体耐热钢,其组织为珠光体和铁素体,这类钢在500~600℃具有良好的耐热性,工艺性能好,又比较经济,是石油、化工部门用于高温条件的主要材料。15CrMoR化学成分和力学性能分别如表2、表3所示。

对于珠光体耐热钢焊接的主要问题是冷裂纹,按照国际焊接学会推荐的碳当量计算公式,15CrMo钢的碳当量约为0.532%。当碳当量>0.5%时,钢材易淬硬,焊接性已变差,极易产生冷裂纹,因此焊接时需预热才能防止焊接裂纹,并且随着板厚增大,预热温度也要相应提高。

对珠光体耐热钢还要分析对再热裂纹的敏感性,根据合金元素对再热裂纹敏感性的影响,采用PSR法对其测定。通过计算 $PSR=0.04>0$,说明该材料对再热裂纹敏感,因此在整个换热管束的焊接中,不仅要控制焊接过程,还要对其热过程后加强无损检测。

2. 坡口加工

根据图样要求加工坡口,坡

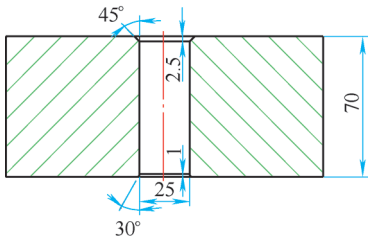


图2 坡口形式及几何尺寸

口形式及几何尺寸如图2所示。焊前要清除坡口面及其周边的锈迹、油污及氧化皮等影响焊接质量的杂质,特别应注意,在生产条件范围内,尽可能的清理换热管与管板接触的内部各类杂质,保持符合要求的清洁。

3. 焊接工艺的制定

(1) 焊接方法选择 根据单位生产设备人员等实际情况,决定全部采用手工钨极氩弧焊焊接。采用该焊接方法既保证根部焊缝的熔合,又保证填充焊缝质量,同时又能有效控制相应的焊接节奏,避免产生不必要的焊接生产疲劳。

(2) 焊接材料选择 针对材料的化学成分和力学性能,合理选取焊接材料,既保证焊缝的高温耐蚀性能,又保证产品的力学性能。按NB/T47015—2011《压力容器焊接规程》规定,与15CrMoR材料匹配的焊接材料为钨极氩弧焊焊丝ER55—B2、

$\phi 2.5\text{mm}$ 。具体的化学成分和力学性能如表4、表5所示。

氢在高温下渗透性很强,氢的存在使钢铁组织变脆甚至形成微裂纹。同时氢也是焊缝金属中产生气孔的主要因素,它可以以任何气源进入焊接熔池。因此焊前一定要将焊丝表面油、锈、水分及其他杂物清除干净。

(3) 焊接工艺评定 按照NB/T47014—2011《承压设备焊接工艺评定》要求,在焊接前进行了焊接工艺评定试验。分别选取规格为 $20\text{mm}\times 250\text{mm}\times 140\text{mm}$ 的15CrMoR钢板与 $\phi 25\text{mm}\times 2.5\text{mm}\times 80\text{mm}$ 的10根15CrMo无缝钢管进行试验。按照图样要求开孔和加工坡口,加工10个孔,保证各个开孔之间的孔桥间距及方位角度,严格加工坡口角度及坡口深度,控制组对尺寸、换热管的伸出长度,并完全按照所制订的工艺焊接、焊后

表1 设计参数

项目	容积/ m^3	设计压力/MPa	工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	工作介质	材料
壳程	1.588	2.4	334	中温变换气	15CrMoR
管程	3.238	1.0	280	燃料气	Q345R

表2 15CrMoR化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni
0.16	0.2	0.42	0.009	0.002	0.97	0.53	0.01	0.02

表3 15CrMoR的力学性能

供货状态	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	R_m (460 $^{\circ}\text{C}$) /MPa	$R_{p0.2}$ (460 $^{\circ}\text{C}$) /MPa	KV (常温) /J
正火+回火	558	425	21.5	581	354	279/288/283

表4 化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	V
0.068	0.51	0.85	0.014	0.011	1.16	0.51	0.14	0.01

表5 力学性能

R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	KV (0 $^{\circ}\text{C}$) /J
600	500	189/195/210

消除应力热处理后, 对其表面进行PT检测及剖开面的金相检测, 均符合标准要求; 同时按NB/T47014—2011《承压设备焊接工艺评定》制作了一套平板钨极氩弧焊试板, 按要求进行热处理及RT无损检测合格后, 对其进行力学性能试验, 试验结果如表6所示。

(4) 焊接生产工艺 换热器是固定管板式换热器, 换热管为直管, 因此对整根换热管都进行了除锈处理, 并且两侧端头150mm范围内露出金属光泽, 避免在穿管过程中对焊缝坡口造成锈污, 影响焊接质量。

由于15CrMo材料焊接性较差, 管板厚度为70mm, 材料较厚, 因此焊接的拘束应力较大, 在焊前需对其进行预热, 焊接冷却后热影响区会出现低塑性的脆性组织, 焊接时如果冷却速度过快, 焊缝金属中溶解较多的扩散氢来不及逸出, 很容易产生延迟氢致冷裂纹。虽然提高焊接预热温度可以有效降低热影响区淬硬程度, 但温度过高会导致焊缝金属晶粒粗大。为此焊前将焊接部位预热到120℃, 采用哈佛式加热片进行加热, 其特点是无需包裹, 加热、焊接可同时进行。

焊接过程中应合理的控制层

间温度为120~250℃, 中间短时间停顿时要进行适当保温, 避免受外界环境的影响。

为保证换热管束与管板的焊接质量, 确保无泄漏, 因此采用双层焊, 第一遍打底焊或者根据加工的情况采用自熔的方法以保证根部焊缝的熔合, 第二遍保证焊缝截面尺寸, 以保证图样要求的强度。具体焊接参数如表7所示。焊后应立即进行消氢热处理, 300~350℃, 保温2.5h。

先进行一侧管板的焊接, 焊接完毕24h后, 对焊缝进行100%渗透检测, 按JB/T4730—2005《承压设备无损检测》, I级合格。检测合格后对其进行局部热处理, 热处理后再次进行上述无损检测合格后, 对另一侧管板进行焊接, 重复第一侧管板的所有检测及热处理, 将焊接应力减到最小。

4. 热处理制度

通过合理控制焊前预热温度、层间温度和焊后消氢热处理

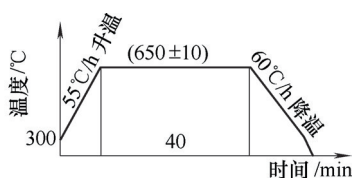


图3 最终热处理曲线

表6 试验结果

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	冲击吸收能量 /J	硬度HV	侧弯试验 (180°)
514	360	66、80、70	163、154、149、153、156	合格

表7 焊接参数

焊接方法	焊接材料	焊材规格 φ/mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
GTAW	ER55—B2 (或无)	2.5	100	15	5
GTAW	ER55—B2	2.5	150	17	7

工艺, 可有效防止低合金耐热钢焊接冷裂纹的产生。

通过选择合理的热处理制度, 可有效地消除焊接残余应力, 防止焊接缺陷的发生, 并改善组织性能。特别是对于这种厚度差别较大的焊接结构, 热处理时一定要避免在敏感温度区间停留时间较长, 同时确定合理的保温时间以达到消除应力的目的。根据相关标准规定, 结合以往的热处理经验, 确定消应力热处理的恒温温度为650℃, 保温40min。具体热处理工艺曲线如图3所示。

硬度是检测热处理工艺的有效手段, 经整体热处理后对其焊接接头进行了硬度测试, 其硬度值基本维持在225HBW上下, 符合技术要求。

5. 焊后检测

换热管焊接完成后对焊缝进行PT无损检测, I级合格, 合格率为100%; 对壳程按图样要求试验压力进行水压试验, 共计1 522道焊缝无一处泄漏, 一次合格率为100%。

6. 结语

根据实际情况, 选择合理的坡口形式、焊接方法及匹配的焊接材料, 严谨的焊接工艺和制订合理的预热、消氢及热处理工艺, 避免了裂纹的产生, 保证了燃料气预热器的焊接质量。

作者简介: 郭晓春等, 大庆油田工程建设公司石油石化设备厂。

MW 20160420