

乙炔加氢反应器S30409材料焊接工艺试验

赵瑞辉

【摘要】乙炔加氢反应器用S30409材料为耐热奥氏体不锈钢，针对氩弧焊、焊条电弧焊和埋弧焊三种焊接方法，进行一系列焊接工艺评定试验。试验结果满足标准规范要求，在不锈钢产品焊接中采用等离子弧气刨代替碳弧气刨进行双面焊反面清根，加强清根后坡口表面的清理，可以减少焊缝中的夹渣和裂纹缺陷。

关键词：S30409，焊接性，工艺评定试验，等离子弧气刨

S30409材料为耐热奥氏体不锈钢，因具有高温蠕变强度、抗氧化性能和耐腐蚀性能，而广泛应用于锅炉及化工容器产品中。我公司制造的一台甲醇制烯烃装置乙炔加氢反应器（结构见图1），主体材质为S30409材料，规格为ϕ1 300mm×20mm，设计温度-45~340℃，催化剂再生工况温度最高为535℃，设计压力2.9MPa，介质主要为乙烯、乙烷、甲烷、丙烯等。为保证焊接接头力学性能，采用与S30409同材质的焊接材料进行一系列焊接工艺评定试验，制定焊接工艺，应用于产品焊接。

1. 焊接性分析

S30409材料的化学成分及力学性能如表1、表2所示，供货状态为固熔处理，属于Cr18-Ni8型奥氏体不锈钢，焊接产生的问题主要有热裂纹和晶间腐蚀。

热裂纹产生的原因是奥氏体不锈钢导热系数小，线膨胀系数大，在焊接局部加热和冷却作用下，焊接接头高温停留时间长，焊缝及近缝区在高温承受较大的拉伸应力和应变，加上奥氏体不锈钢焊缝凝固过程中，Ni易与S、P等杂质元素形成低熔点共晶，从而产生结晶或液化裂纹。

晶间腐蚀产生的原因是当焊接接头处于500~800℃温度区间时，过饱和固熔的碳向晶粒边界的扩散比铬的扩散快，在晶间附近和铬结合为Cr23C6的碳化物形式并在晶间析出，当该区域w_{Cr}<12.5%时，在腐蚀环境中就会发生晶间腐蚀。

由此可见，避免产生焊接热裂纹和晶间腐蚀应注意以下事项：①合理设计焊接接头形式和焊接顺序，采用较小熔合比，降低焊接残余应力。②选择合适的焊接材料，使焊缝中含有一定量的δ铁素体，提高焊缝抗裂性能，δ铁素体分散在奥氏体晶间，对控制晶间腐蚀也有一定作用。③采用较小的焊接热输入，加快冷却速度，控制道间温度，避免在敏化温度区间停留过长时间。④控制焊缝中杂质元素的含量，保持焊接区域的清洁，避免有害元素的影响。

2. 工艺评定试验

乙炔加氢反应器制造主要采用氩弧焊、焊条电弧焊、埋弧焊三种焊接方法，焊接材料选用与S30409同材质的308H类型焊材，根据NB/T47014及技术协议

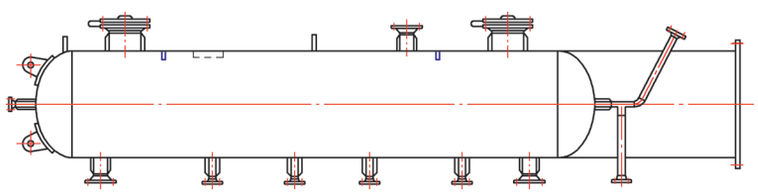


图1 乙炔加氢反应器结构

要求，结合产品厚度进行一系列焊接工艺评定试验，拟定工艺评定试验如表3所示。

试件焊接采用焊前不预热，焊接过程中道间温度控制在100℃以内，多层多道焊的形式，氩弧焊时背面采用氩气保护，焊后不进行消除应力热处理，拟定的焊接参数如表4~表6所示。焊条电弧焊和埋弧焊双面焊反面清根采用等离子弧气刨，气体采用氮氢混合气，相比传统碳弧气刨有以下优点：①清根的坡口表面平整，打磨清理工作简单。②采用氮氢混合气保护及吹渣，坡口表面无增碳现象。③烟尘量少，噪声低，工作环境较好。④没有碳棒长度的限制，可以连续工作，效率高。等离子弧气刨工艺参数如表7所示。

3. 试验结果与分析

试件按以上拟定焊接工艺进行焊接，焊接完经100%RT+100%PT检测无缺陷后取样进行拉伸、弯曲、冲击、宏观、晶间腐蚀等试验项目，试验结果如表8~表10所示。

各评定分别取晶间腐蚀试验试样按GB4334—2008标准规定的E法，在硫酸-硫酸铜溶液中连续加热16h后进行弯曲试验，拉伸面无裂纹等缺陷。

各评定分别取宏观检测试样，如图2所示。用10倍放大镜进行宏观金相检测，焊接接头截面均无气孔、夹渣、裂纹、未熔合及未焊透等缺陷。

试验结果表明，各评定试验抗拉强度均高于母材标准规定最小抗拉强度值520MPa，弯曲试验试样受拉表面无缺陷，

表1 化学成分（质量分数） （%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.035	≤0.020	18.00~20.00	8.00~10.50

表2 力学性能

力学性能	屈服强度 $R_{p0.2}$/ MPa	抗拉强度 R_m/ MPa	断后伸长率 A（%）	硬度值 HV10
标准值	≥205	≥520	≥40	≤210

表3 工艺评定试验

评定编号	母材材料	试验板厚/mm	焊接方法	焊接材料
PQR-1633	S30409	20	SAW	ER308H+JWF601A
PQR-1634	S30409	20	SMAW	E308H—16
PQR-1635	S30409	8	SAW	ER308H+JWF601A
PQR-1636	S30409	8	SMAW	E308H—16
PQR-1637	S30409	8	GTAW	ER308H
PQR-1638	S30409	16	GTAW	ER308H
PQR-1639	S30409	4	GTAW	ER308H

表4 氩弧焊焊接参数

焊接方法	层数	焊接材料	规格/mm	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}
GTAW	正1~n	ER308H	ϕ2.0	DC EP	100-140	11~14	10~15

表5 焊条电弧焊焊接参数

焊接方法	层数	焊接材料	规格/mm	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}
SMAW	正1~n	E308H—16	ϕ4.0	DC EP	130~150	21~24	14~18
SMAW	反1~n	E308H—16	ϕ4.0	DC EP	130~150	21~24	14~18

表6 埋弧焊焊接参数

焊接方法	层数	焊接材料	规格/mm	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}
SAW	正1~n	ER308H+JWF601A	ϕ3.2	DC EP	400~450	28~32	30~40
SAW	反1~n	ER308H+JWF601A	ϕ3.2	DC EP	400~450	28~32	30~40

表7 等离子气刨工艺参数

设备型号	气体	电流/A	电压/V
HYPERTHERM Powermax125	95%N_2+5%H_2	80~85	120~125

表8 拉伸试验结果

评定编号	抗拉强度/MPa	断裂部位和特性
PQR-1633	645、650	塑断于焊缝（2件）
PQR-1634	660、645	塑断于焊缝（2件）
PQR-1635	630、625	塑断于焊缝（2件）
PQR-1636	640、645	塑断于焊缝（2件）
PQR-1637	650、630	塑断于焊缝（2件）
PQR-1638	650、680	塑断于焊缝（2件）
PQR-1639	630、640	塑断于焊缝（2件）

表9 弯曲试验结果

评定编号	试样类型	压头直径/mm	弯曲角度（°）	试验结果
PQR-1633	侧弯	40	180	合格（4件）
PQR-1634	侧弯	40	180	合格（4件）
PQR-1635	面弯、背弯	32	180	合格（各2件）
PQR-1636	面弯、背弯	32	180	合格（各2件）
PQR-1637	面弯、背弯	32	180	合格（各2件）
PQR-1638	侧弯	40	180	合格（4件）
PQR-1639	面弯、背弯	16	180	合格（各2件）

表10 冲击试验结果

评定编号	缺口部位	试验温度/℃	试件尺寸/mm×mm×mm	冲击吸收能量/J	平均值/J
PQR-1633	焊缝中心	-196	10×10×55	32.0、35.0、33.0	33.3
	热影响区	-196	10×10×55	54.0、38.3、54.8	49
PQR-1634	焊缝中心	-196	10×10×55	33.6、31.2、37.2	34
	热影响区	-196	10×10×55	44.3、45.4、39.6	43.1
PQR-1635	焊缝中心	-196	5×10×55	29.8、20.2、18.5	22.8
	热影响区	-196	5×10×55	40.7、52.1、28.4	40.4
PQR-1636	焊缝中心	-196	5×10×55	23.2、21.7、20.7	21.9
	热影响区	-196	5×10×55	33.6、53.3、44.7	43.9
PQR-1637	焊缝中心	-196	5×10×55	33.1、33.6、19.2	28.6
	热影响区	-196	5×10×55	48.2、50.7、49.3	49.4
PQR-1638	焊缝中心	-196	10×10×55	54.5、35.6、36.6	42.2
	热影响区	-196	10×10×55	101、74.1、38.7	71.3

横向冲击试验试样平均冲击吸收能量值大于标准规定的最小值31J（10mm×10mm×55mm标准试样）和15.5J（5mm×10mm×55mm小尺寸试样），宏观检测显示焊缝成形良好，晶间腐蚀试验合格，证明拟定的焊接工艺可以保证焊接接头的力学性能和耐蚀性能，满足标准规范要求。

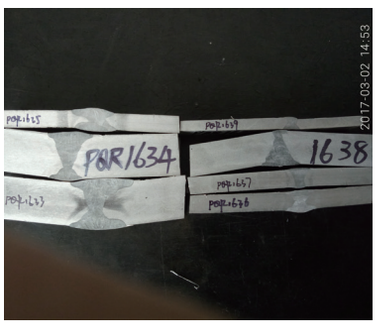


图2 宏观检测试样

4. 焊接工艺应用

根据以上工艺评定试验制定的焊接工艺应用到产品实际焊接生产，产品焊接质量合格，其中采用等离子气刨代替以往我公司使用的碳弧气刨进行双面焊反面清根，加强清根后坡口表面的清理。采用等离子气泡进行清根，不仅减少了不锈钢产品中焊接出现的裂纹和夹渣缺陷，使纵环缝焊后射线检测一次性合格，避免了焊缝缺陷的返修，而且提高了生产效率和焊接接头质量。

5. 结语

（1）乙炔加氢反应器用S30409材料，采用与母材同材质的308H型焊接材料，焊前不预热，道间温度＜100℃，采用氩弧焊、焊条电弧焊和埋弧焊三种焊接方法，制定焊接参数，进行一系列焊接工艺评定试验。结果证明，可以保证焊接接头力学性能和耐蚀性能满足标准规范要求。

（2）不锈钢产品焊接生产中，采用等离子弧气刨代替碳弧气刨进行双面焊反面清根，加强清根后坡口表面的清理，可以减少焊缝中出现的夹渣和裂纹缺陷，提高产品焊接质量。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册 材料的焊接 [M].第3版.北京：机械工业出版社，2008.

作者简介：赵瑞辉，中船圣汇装备有限公司。

MW 20170626