渣油加氢装置Ⅰ系列第四加氢反应器人孔法兰裂纹修复工艺分析

扫码了解更多

■ 孙成武，刘民，王万祥，史运贞，吴伟阳，晏永权，刘剑锋，吴霜，柴世成，袁继军

摘要：根据加氢反应器裂纹较大的实际情况拟定修复工艺，并成功返修，为国内加氢反应器裂纹的修复施工积累了宝贵经验。

关键词：加氢反应器；裂纹；修复

加氢反应器是石化行业的关键设备，因承压较高，介质含有H_2、H_2S等气体，设备材料的选用及制造工艺相对比较特殊。近年来，国内虽有过加氢反应器法兰密封面出现裂纹并成功修复实例，但2017年4月大连石化公司300×10^4t/a渣油加氢装置停检中发现的Ⅰ系列第四加氢反应器R1804法兰裂纹的形态更为严重。本文就大连石化公司300×10^4t/a渣油加氢装置法兰裂纹修复工艺及其可行性做一分析介绍。

1. 加氢反应器基本参数及裂纹情况

（1）基本参数　设备基本尺寸：ϕ5213mm×23150mm×（347+7.5）mm；主体材质：SA-336M-F22V+TP309L+TP347；设计压力：21.05MPa，操作压力：19.8MPa；设计温度：454℃，操作温度：418℃；工作介质：渣油、H_2、H_2S。

（2）裂纹情况　该设备（见图1）为日本神钢制造，总重1050t。2008年8月投用后，在历次的停工检修定期检测和换剂过程中的检查均未发现异常。2017年4月，装置停工检修期间对反应器各接管法兰密封面进行着色检验，发现反应器DN750人孔法兰环连接面外斜面及底平面存在较大裂纹缺陷（见图2～图4），裂纹累计长约1900mm，占密封面周长的三分之二，裂纹形状主要为单条和树枝状两种特征。

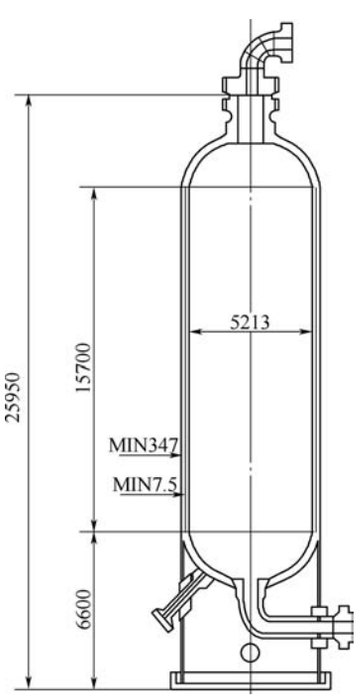

图1　R1804加氢反应器结构

2. 设备主体材质性能分析

（1）性能特点　主体材质由基层SA-336M-F22V（347mm）、过渡层TP309L（3mm）及覆层TP347（4.5mm）组成，材质化学成分如表1所示。SA-336M-F22V属于珠光体耐热钢，有较好的力学性能、韧性和耐氢蚀性能。其合金成分Cr的主要作用是提高耐腐蚀性，Cr的氧化物比较致密，不易分解，起到保护膜作用；Mo是钢中主要强化元素，Mo优先进入固溶体使其强化，提高钢的热强性；V是强碳化物形成元素，所形成的VC呈弥散分布，V的加入能促进Mo全部进入固溶体，提高钢的高温强度。

TP309L、TP347都是奥氏体不锈钢，TP309L属于23-13型

表1　主要材质化学成分（质量分数）　（%）

材料名称	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Ti
SA-336M-F22V	0.1～0.16	0.27～0.63	＜0.1	＜0.005	＜0.015	1.95～2.60	＜0.25	0.85～1.15	0.23～0.37	＜0.03
TP309L	≤0.03	≤2.0	≤0.75	≤0.030	≤0.045	22.00～24.00	12.0～15.0	—	—	—
TP347	≤0.08	≤2.0	≤0.75	≤0.030	≤0.040	17.00～22.00	9.00～13.00	—	—	—

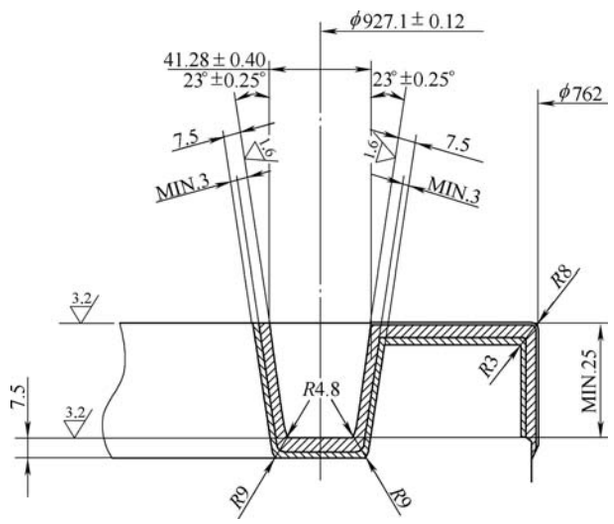

图2　人孔法兰环连接面结构尺寸

图3　人孔法兰环连接面裂纹

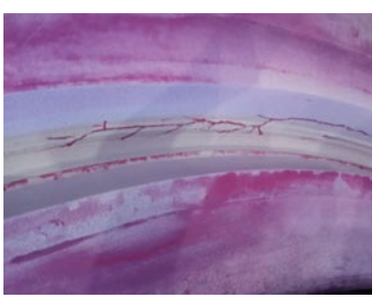

图4　法兰环连接面外斜面及底平面裂纹

奥氏体不锈钢，与18-8型奥氏体不锈钢相比，因为Ni元素含量较高，常常用做异种钢填充金属的焊接或复合钢的过渡层。

TP347属于18-8型奥氏体不锈钢，与TP304和TP321相比，TP347含有稳定化元素Nb，Nb与C能形成更加稳定的NbC，因此TP347耐晶间腐蚀性能更加优越。

（2）焊接性分析　SA-336M-F22V主要合金元素中的Cr、Mo都能显著提高钢的淬硬性，当焊接拘束度大，冷却速度快时，易产生冷裂纹。同时，因该金属材料含有合金元素V，在500~700℃敏感温度区焊后热处理或长期高温工作中，在热影响区和熔合线附近的粗晶区内存在再热裂纹倾向。

预热和焊后热处理是防止珠光体耐热钢焊接冷裂纹和再热裂纹的有效措施。对SA-336M-F22V焊前预热及焊后热处理不仅是为了消除焊接残余应力，更重要的是为了改善接头组织，降低焊缝硬度，提高接头的高温蠕变强度等综合力学性能。

TP309L、TP347奥氏体不锈钢焊接性相对较好，在任何温度下都不会发生相变，对氢脆不敏感，焊缝金属也有较好的塑性和韧性。但是TP309L由于含Ni量高，奥氏体稳定化大，故有一定的焊接热裂纹倾向。

3. 人孔法兰密封槽裂纹修复工艺及可行性分析

总体方案：首先消除裂纹，然后依次进行过渡层堆焊、过渡层粗加工和覆层堆焊三个步骤，最后进行密封面精加工，具体工艺如下。

（1）裂纹的消除　第一，消氢处理：消除裂纹前首先对人孔法兰进行整体消氢处理，其目的就是降低法兰金属中氢的含量，提高金属塑韧性，降低冷裂倾向，防止裂纹在消除中发生延展，消氢处理温度控制曲线如图5所示。

用电加热带对法兰整体包扎加热，为防止出现加热不均匀情况，需要对法兰内孔壁、外侧壁面及法兰盘密封面同时加热。

第二，裂纹消除：消氢处理后采用动力头现场对法兰密封槽底部和侧面进行整体车削以消除裂纹。①当密封槽底部及侧面车

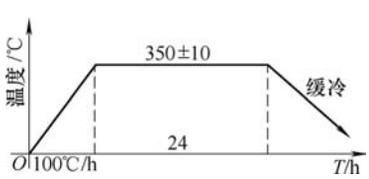

图5　法兰消氢温度控制曲线

削深度达到3.5mm时，TP347覆层虽然已经清除，着色检查裂纹仍然存在，由此可以判断裂纹已经深及过渡层。②继续进行车削处理。车削总体深度达到7.5mm后，TP309L过渡层均已清除，着色检查密封槽底部及侧面，裂纹全部消除，据此可以判断法兰密封槽裂纹贯穿于覆层和过渡层，止于基层。

（2）堆焊过渡层　第一，预热：通常情况下为了减少冷裂倾向，SA-336M-F22V锻件的焊接需要进行不低于200℃的预热。Cr、Ni含量较高的奥氏体不锈钢焊条用做SA-336M-F22V的过渡层堆焊时，在邻近基层一侧靠近熔合线附近的奥氏体焊缝中，存在一个窄的低塑性体的奥氏体加马氏体过渡带（层），它的存在降低了过渡层的抗裂性，因此堆焊过渡层必须进行预热。

但是修复中堆焊过渡层选用的WEL309L为超低碳不锈钢焊条，其熔敷金属含碳量不超过0.03%，较低的碳含量降低了熔合线低塑性体马氏体过渡带的宽度，不利因素相对减少。此外，采用较大的热输入进行奥氏体不锈钢焊接会降低焊缝的抗蚀性，故而层间温度通常控制在100℃以下。综合考虑上述三种因素，确定堆焊过渡层的预热温度可以低于200℃，最终确定预热温度为120~140℃。

第二，焊接：采用焊条电弧焊堆焊过渡层，堆焊高度≥3mm。焊条牌号为：WEL309L、ϕ4.0mm，堆焊后缓冷至室温，焊接参数如表2所示，注意控制层间温度不超过150℃。

第三，最终焊后热处理：由于局部加热范围内的复合钢过渡层和覆层都是奥氏体不锈钢，而不锈钢在敏化温度（450～850℃）区间内对晶间腐蚀较为敏感，所以这种复合钢的焊后热处理应特别慎重。与TP309奥氏体不锈钢相比，由于TP309L含C量较低，因此该种金属材料晶间腐蚀倾向也大大减少；TP347L焊条含有稳定化元素Nb，Nb与C能形成更加稳定的NbC，因此TP347L焊条耐晶间腐蚀性能更加优越。SA-336M-F22V在500～700℃敏感温度区间具有再热敏感倾向也是不能回避，因此热处理工艺的拟定必须综合考虑以下因素：①避免在回火脆性及再热裂敏感的500～700℃内进行，在此温度区间内升降温均应以相对较快的速度进行。②局部热处理必须保证受热宽度大于焊件壁厚的2~3倍，且至少≥150mm。实际确定热处理工艺曲线如图6所示。

（3）过渡层粗加工　采用动力头对WEL309L堆焊层进行粗加工，保证过渡层高度满足3mm。对加工后的堆焊层进行着色检测，探伤标准：NB/T47013—2015，Ⅰ级合格。

（4）堆焊覆层　采用TP347L焊条电弧焊堆焊，堆焊高度≥4.5mm（见图7）。焊条牌号为：WEL347L、ϕ4.0mm，焊接层间温度＜100℃。

（5）密封面精加工　采用动力头对堆焊层进行加工，各项尺寸符合图2要求，并用专用研磨环进行研磨，充分保证法兰的密封要求。修复后即进行设备人孔法兰回装，经气密检查，法兰密封无泄漏。至今投入生产运行已达10个多月无异常。

4. 结语

修复后实际应用结果表明，渣油加氢装置Ⅰ系列第四反应器R1804人孔法兰密封槽裂纹现场修复方案合理可行，修复措施控制得当，修复结果达到使用要求。该台设备法兰密封槽较大裂纹的成功修复，为国内加氢反应器裂纹故障处理积累了宝贵经验。

表2　裂纹修复焊接参数

焊材牌号	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min^{-1}	电源
WEL309L	130～160	24～26	≥150	DCEP
WEL347L焊条	130～160	24～26	≥150	DCEP

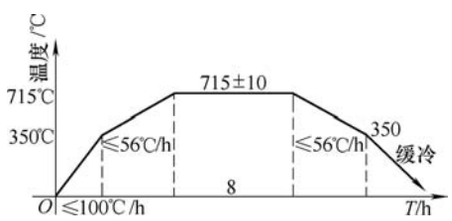

图6　最终焊后热处理工艺曲线

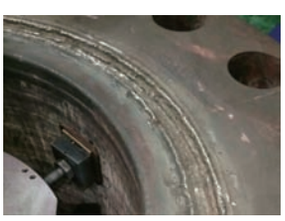
图7　WEL347L堆焊层表面

作者简介：孙成武等，中国石油大连石油化工公司；袁继军，中国一重大连加氢反应器制造有限公司。

MW 20180429