

中间换热器筒体开裂原因分析

袁 园

(石家庄正元塔器设备有限公司)

一、设备概况及筒体所用材料情况

1、设备概况

2022年10月4日通辽梅花生物科技有限公司(东区合成氨)中间换热器发生裂纹泄漏。该设备为变换工段换热器,参数如下:管程设计压力2.6MPa、设计温度330℃,介质为甲烷化原料气(成分CO₂:0.2%、O₂:0.2%、CO:0.1%、H₂:73.2%、CH₄:5.0%、N₂:21.3%、总硫<0.1ppm),换热管φ25x2;壳程设计压力2.6MPa、设计温度460℃,介质为变换气(干基成分:CO₂:30.6%、O₂:0.4%、CO:16%、H₂:44.9%、CH₄:3.2%、N₂:4.9%、H₂S:30mg/m³,该气体含H₂O汽);管、壳体材质均为S30408。该设备作用是用中温变换炉一段出口气将进甲烷化炉的甲烷化原料气进行加热。设备为倒U型管结构,管板下部为带隔板的管箱,隔板两侧壳体上为甲烷化原料气进、出口(双程),管板上部为倒U型换热管及壳侧筒体(厚18mm),变换气从壳体下部侧进、从壳体上部封头出,壳程设折流板5层;设备外保温约150mm厚。

该设备2021年8月16日发货,到货安装后投运;查损坏前10天内DCS历史记录,变换气入口温度420℃(最高430℃),出口224℃,甲烷化原料气入口温度209℃,出口241℃。

2、开裂筒体用材料情况

筒体钢板材料生产厂家:振石集团东方特钢有限公司。

入厂检验情况:2021年7月3日入厂,3张钢板,材质S30408,规格18mm(实测18.35mm),同炉批号,经验收满足订货技术条件并办理入库。

出库领用情况:2021年7月13日车间领用出库,均使用在该设备上。

二、设备拆检及分析取样

裂纹位置基本在变换气入口管正上方、距变换气入口管中心线以上约580mm左右,纵向裂纹,长约30~40mm;经沟通后,先对裂纹处进行打磨,发现裂纹分别向上、下延伸,因筒体较厚、裂纹非直线,再改用碳弧气刨消除裂纹,消除过程上端裂纹出现分叉、变宽,后将筒体制出一个长椭圆孔进行探查(目视及渗透检测)发现:筒体内壁存在多条不规则状纵向裂纹,但筒体内壁光滑。经沟通,确定扩大开口范围,为防止割伤换热管,采用金属挡板挡护换热管的措施(下同),实施后检测发现:高约500mm、宽大约1/4圆弧筒体内壁均存在裂纹;同时发现,变换气入口对侧约半圆筒体内壁也存在多条不规则状裂纹,裂纹均纵向,并且横穿筒体原环焊缝。

拆检情况看,壳程筒体裂纹分布有明显特征:裂纹均纵向且处在设备内表面;裂纹随筒体温度变化而变化,温度越高裂纹越严重(U形换

热管非布管区较布管区对应筒体内壁裂纹要严重,离变换气入口越近筒体内壁裂纹越严重);裂纹没有选择性,钢材、焊缝均存在。

从设备现场拆检情况看,主要为变换气进口的上部一段筒体内壁发现纵向裂纹,为尽快查清裂纹及损坏原因、制定对策、解决问题。

三、检验结果

1.厚度检测

试块检测厚度为18.35mm,与进厂原材料实测厚度无变化。表明:设备服役过程,壳程筒体未出现减薄情况。

2.化学成分分析

试样化学成分分析结果见表1,同时列出GB/T24511-2017对S30408钢板化学成分规定要求,其中P、Cr元素按照GB/T222-2006《钢的成品化学成分允许偏差》表3“不锈钢和耐热钢成品化学成分允许偏差”可判断:其含量在允许的偏差范围内。因此,该不锈钢板材料化学成分符合GB/T24511-2017及相关技术条件的规定。

表1 材料化学成分分析结果及规定要求对照(W%)

| 成分 | C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Cu | N |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|-------------|------------|-------|-------|
| 标准 | ≤0.08 | ≤0.75 | ≤2.00 | ≤0.015 | ≤0.035 | 18.00-20.00 | 8.00-10.50 | - | ≤0.10 |
| 实测 | 0.026 | 0.519 | 1.603 | 0.008 | 0.036 | 17.920 | 8.332 | 0.086 | 0.074 |

3.力学性能及工艺性能分析

从三块试板上分别取拉伸、侧弯试样,拉伸试样制取后表面无肉眼可见的裂纹。试验结果见下表2。

从试验结果看:带裂纹试板上截取的拉伸试样拉断后,夹持端出现多条裂纹(中间拉伸部位未发现),裂纹集中在钢板内表面一侧(另一侧未发现),因裂纹深度较浅,中间拉伸部位裂纹被加工去除,裂纹对试验结果未造成影响,试验结果合格;带裂纹试板上截取的弯曲试样弯曲后,在原有裂纹表面起始处表层裂开,无原始裂纹部位保持完好,弯曲结果应判定合格。综上,服役后钢板力学性能(规定塑性延伸强度、抗拉强度、断后伸长率、硬度值)符合GB/T24511-2017及相关技术条件的规定;工艺性能(弯曲试验)GB/T24511-2017未做规定,参NB/T47014-2011焊接工艺评定试件弯曲要求制取试样弯曲后无异常,表明服役后钢板塑性无异常。

表2 材料力学性能及工艺性能分析结果及规定要求对照

| | Rp0.2/MPa | Rm/MPa | A% | HB | 横向弯曲 D=40mm | 备注 |
|-----|-----------|--------|-----|------|-----------------|----|
| 标准值 | ≥220 | ≥520 | ≥40 | ≤201 | 标准未做要求, 额外增加 | |

| | | | | | | |
|----|-----|-----|----|-----|-----------------------------|-----------------------------|
| 1# | 400 | 640 | 52 | 125 | 在原有裂纹表面起始处表层裂开, 无原始裂纹部位保持完好 | 试样拉断后, 夹持端出现多条裂纹, 中间拉伸部位未发现 |
| 2# | / | 630 | / | 140 | 无裂纹 | 焊缝试件 |
| 3# | 420 | 655 | 54 | 114 | 无裂纹 | |

4. 非金属夹杂物检验

GB/T24511-2017 标准外增加非金属夹杂物检验项目, 检验结果见表3 结论: 未见异常。

表 3

| 夹杂物类别 | A | B | C | D | DS |
|-------|-----|---|-----|-----|-----|
| 评级 | 0.5 | 0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |

5. 金相组织检验 (GB/T 13298-2015)

GB/T24511-2017 标准外增加金相组织检验项目, 检验结果见图1-图4 及图片说明。



图 1 1号试样 500×

浸蚀剂: 10%草酸电解腐蚀

图片说明: 均匀、等轴的奥氏体组织, 晶内有孪晶, 晶粒度约为 8.5 级。



图 2 1号试样裂纹处 200×

图片说明: 未浸蚀状态下裂纹处微观形貌, 裂纹有分叉呈树枝状, 裂纹剖面形态具有应力腐蚀的特征。

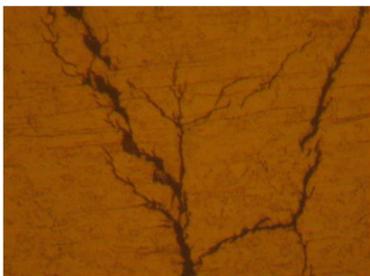


图 3 2号试样裂纹处 200×

浸蚀剂: 10%草酸电解腐蚀

图片说明: 均匀、等轴的奥氏体组织, 裂纹有分叉呈树枝状, 裂纹剖面形态具有应力腐蚀的特征。

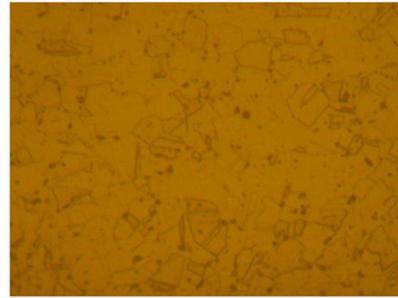


图 4 3号试样 200×

浸蚀剂: 10%草酸电解腐蚀

组织说明: 均匀、等轴的奥氏体, 晶内有孪晶。

四、检验与试验总结

1. 设备设计及选材满足 TSG 21-2016、GB/T150-2011 及业主设计条件要求; 设备制造及使用材料满足图纸及设计所依据的主要标准和规范要求。

2. 材料厚度检测结果表明: 设备服役过程, 壳程筒体未出现减薄情况。

3. 拆检过程宏观检测发现, 壳程筒体裂纹分布有明显特征: 裂纹均纵向且处在设备内表面; 裂纹随筒体温度变化而变化, 温度越高裂纹越严重 (U 形换热管非布管区较布管区对应筒体内壁裂纹要严重, 离变换气入口越近筒体内壁裂纹越严重); 裂纹没有选择性, 钢材、焊缝均存在。

4. 按 GB/T24511-2017 《承压设备用不锈钢和耐热钢板和钢带》标准规定, 对壳程筒体钢板化学成分、服役后壳程筒体钢板力学性能 (规定塑性延伸强度、抗拉强度、断后伸长率、硬度值) 进行复验, 结果均符合标准规定要求。

5. 钢板制造标准 GB/T24511-2017 规定外, 增加服役后壳程筒体钢板工艺性能(弯曲试验)、非金属夹杂物及金相组织检验等项目, 结果如下:

①参 NB/T47014-2011 焊接工艺评定试件弯曲要求制取试样并弯曲后未发现异常, 表明服役后钢板塑性未出现异常。

②非金属夹杂物检验, 未见异常。

③壳程筒体钢板及环焊缝组织为均匀、等轴的奥氏体组织; 焊缝内表面均存在裂纹, 裂纹源于设备内表面 (具有一定的深度, 1~5mm 不等), 由内向外扩展延伸, 裂纹有分叉呈树枝状, 裂纹剖面形态具有应力腐蚀的特征。

6. 从试验过程看: 带裂纹试板上截取的拉伸试样拉断后, 夹持端出现多条裂纹 (中间拉伸部位未发现), 裂纹集中在钢板内表面一侧 (另一侧未发现), 因裂纹深度较浅, 中间拉伸部位裂纹被加工去除情况下试验结果合格; 带裂纹试板上截取的弯曲试样弯曲后, 在原有裂纹表面起始处表层裂开, 无原始裂纹部位保持完好。综上所述: 裂纹未影响部位材料力学性能和工艺性能使用前、后未发生明显变化, 均满足 GB/T24511-2017 规定。

鉴于上述判断是我公司给出了自己结论, 仅供参考。