

炉口接管法兰修复热处理应力研究

田启发¹, 孙宏飞²

(1. 山东科技大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东科技大学 材料科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 气化炉的法兰密封面在高温、高压及 H_2S 环境下极易发生腐蚀。设计了气化炉喷嘴连接法兰密封面的焊接修复工艺, 运用有限元法分析焊接后消氢热处理过程中炉口法兰、接管和连接螺栓的温度、热应力及热变形的分布情况。仿真结果表明, 该修复工艺及热处理工艺合理, 产生的热应力小于材料的屈服极限, 不会产生永久性变形。

关键词: 焊接修复; 热处理; 热应力; 有限元

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)03-0059-05

Study on the Stress Distribution in Flange During Heating-treatment of Gasification Furnace

Tian Qifa¹, Sun Hongfei²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Flange of gasification furnace is easily eroded under the conditions of high temperature, high pressure and H_2S . The repair welding process of flange was designed. FEM (Finite Element Method) was used to analyze the thermal field of piping and the connected bolts, thermal stress and deformation in the flange during the heat treatment following the welding. Results show that the repair process and the heat treatment process designed are feasible for the flange of gasification furnace. Thermal stress is below yield limit of materials during the process without permanent deformation.

Key words: repair welding; heating-treatment; thermal stress; finite element method

水煤浆气化技术是煤化工主要造气方法之一, 采用高纯度氧气与水煤浆通过特制的工艺喷嘴混合后喷入气化炉燃烧室, 在高温、高压条件下反应, 生产以 CO 和 H_2 为主要成分的合成气^[1]。气化炉由高压容器和耐火材料组合构成^[2], 喷嘴的工作温度和压力都比较高, 长期处于具有强腐蚀性的 H_2S 中, 气化炉接管与法兰密封面损坏严重。焊接修复技术以其经济、方便被广泛应用于石油、化工设备的制造与修复过程中。根据焊接要求, 选择合适的焊接材料和焊接方法, 以及相应的热处理方案, 对工件采用焊接修复方法解决局部腐蚀问题, 能够延长工件的使用寿命, 降低成本^[3]。

本研究主要针对水煤浆气化炉气化喷嘴连接法兰密封沟槽腐蚀严重问题, 设计法兰面焊接修复及焊后热处理工艺, 采用有限元法分析焊缝处温度分布, 研究法兰和连接螺栓的热应力分布情况, 探讨利用有限元法分析焊接修复及热处理过程中法兰和螺栓的温度及热应力分布特性。

1 炉口法兰结构、材料及修复工艺

1.1 法兰结构及材料

法兰的主要安装结构如图 1 所示, 炉口法兰的密封面如图 2 所示。

收稿日期: 2012-09-17

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2012M511015)

作者简介: 田启发(1971—), 男, 山东章丘人, 讲师, 博士研究生, 主要从事先进制造方法方面的研究. E-mail: tianqifu@sohu.com

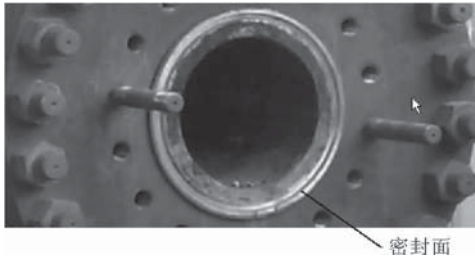


图 1 实际法兰结构图

Fig. 1 Picture and shape of flange

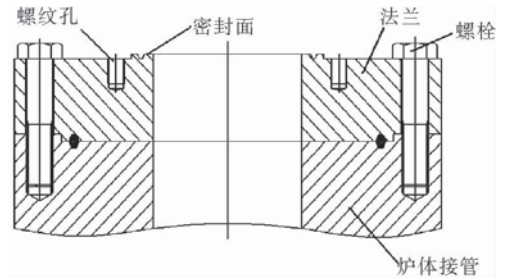


图 2 炉口法兰结构示意图

Fig. 2 Structural shape of flange unit

法兰的主要尺寸:法兰外径 $D=1314$ mm,内径 $d=457$ mm,厚度为 250 mm。在距中心 578 mm 的圆周上,20 个孔径 $\phi 86$ mm 通孔均匀分布;在距中心 343 mm 的圆周上均布 20 个 M48 mm 孔深 86 mm 的螺纹孔。炉口法兰材质为 SA182GrF11CL2 铬钼合金钢锻件,ASME(American Society of Mechanical Engineers)标准中对材料的化学成分要求如表 1 所示^[4]。

表 1 法兰锻件的主要化学成分表

Tab. 1 Chemical constitution of forging flange

| 元素 | C | Mn | P | S | Si | Cr | Mo |
|----|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 含量 | 0.10~0.20 | 0.30~0.80 | ≤ 0.040 | ≤ 0.040 | 0.50~1.00 | 1.00~1.50 | 0.44~0.65 |

1.2 修复焊接工艺

炉口法兰修复焊接工艺主要包括焊前准备、密封面堆焊、焊接热处理等。

1) 焊前准备和注意事项

气化炉停炉后,立即拆除气化炉炉口法兰上连接螺栓,现场搭设防风棚。将炉口密封面过烧部分车削干净,深度为 3~4 mm,保证车削面硬度和母材硬度基本一样(HB170-180),防止组织疏松。

施焊前去除焊件上的油脂、油污、润滑剂等;连续施焊,保证层间温度与预热温度接近,如中途中断焊接,应有保温缓冷措施;再焊接前应清扫、检查、重新预热。

2) 密封面堆焊工艺

密封面堆焊步骤主要包括:①采用中频加热带将法兰整体预热 300~400 °C,然后整体冷却到 150~200 °C,焊接过渡层。过渡层厚度 2 mm,层间温度控制在 150 °C 以上。②过渡层进行消氢和消应力处理。电加热带缠绕在法兰内径和上表面,消氢处理加热 300~350 °C,保温 2~3 h,冷却后测量硬度,如果硬度较大,进行消应力处理。③消氢和消应力处理完成后,表面着色检查堆焊面是否有裂纹,如有裂纹,打磨彻底。④最后焊接表层两遍,2 mm+2 mm。每层表面着色检查堆焊面是否有裂纹。如有裂纹,打磨消除后重新补焊。

3) 焊后热处理

焊后立即进行高温回火处理,防止产生氢致裂纹^[5],消除部分焊接应力,改善焊缝组织和综合力学性能。因 SA182GrF11CL2 铬钼合金钢在该温度区间内有强烈的回火脆性现象,因此焊后热处理方式为 680~700 °C 局部回火处理^[6]。加热炉口法兰内径和上表面,未加热的部分进行保温处理。

4) 密封槽切削加工工艺

采用专用光刀机加工密封槽,主要步骤:①在安装光刀机前,把法兰表面污渍清理干净,焊接表面打磨找平;②光刀机吊装就位后,以烧嘴法兰上表面和密封梯形槽密封面为基准找水平,同轴度误差要求在 0.1 mm 之内;③在光刀机上安装铣削头,对密封梯形槽内密封面整体切削,切削顺序为:表面→底槽→两斜面,每次进刀量不大于 0.2 mm;④验收法兰密封梯形槽尺寸,检验接触情况。

2 炉口法兰温度及热应力特性仿真

本研究针对所设计法兰面焊接修复及焊后热处理工艺,先求解炉口法兰的温度场分布,再以温度场分布作为载荷求解应力场分布。温度与应力场求解过程主要包括几何建模、网格划分、属性设定、施加载荷和约束等。

2.1 几何模型

该炉口法兰为轴对称结构,而且存在较多的螺栓孔,将整个法兰全考虑进去,需要的网格数量非常多,计算量非常大。为减少计算机的计算量,而且能够得出较为准确的仿真计算结果,取炉口法兰及部分接管的1/4进行计算,结构如图2所示,法兰的密封处为槽结构,但是在焊接終了回火热处理时,尚没有加工沟槽,为一平面,主要包括法兰、连接管和连接螺栓。

2.2 网格划分

炉口法兰组件在UG软件中建模,导入ANSYS中,定义单元类型为Thermal solid87,此单元为10节点四面体单元,分别对模型两种材料部分进行单元格划分,网格划分结果见图3。

2.3 温度场求解

根据法兰焊接及热处理工艺要求,法兰及螺栓承受热应力最大的工况为680~700℃的局部回火热处理。由于该温度下保温时间较长,且加热过程中法兰温度场基本稳定,因此设置为稳态热分析模型。加热面为炉口法兰密封面及法兰内孔面上部。定义材料性能参数,并设置辐射与对流系数,在模型相应面上施加温度载荷求解温度场。

定义材料热性能参数:模型法兰部分为SA182GrF11CL2钢,材料的导热系数为48.2 W/(m·K)。模型炉体与螺栓部分材料的导热系数为45.3 W/(m·K),法兰与空气的对流传热系数取经验值5 W/(m²·K)。

2.4 热应力场求解

温度分布不均是产生热应力的最主要原因,当最大应力值达到材料的强度极限时,发生破坏。法兰部分产生应力主要是由其边缘仍固定在炉口连接管的螺栓引起,施加约束应以螺栓和炉体为主。高强度螺栓锻造成型,抗拉能力强,使用过程中施加较大的预紧力。

热应力场求解具体设定步骤如下:①单元格类型由Thermal转换为structural;②定义材料性能参数,包括弹性模量、泊松比、线膨胀系数等;③设置约束为螺栓与法兰接触面和炉体接管底面;④将已求得温度场结果作为求解应力场载荷导入,进行计算。

3 温度场、应力场计算结果说明

温度场、应力场均采用700℃回火温度计算。经过建模、网格划分、仿真计算之后得到温度场及应力场分布。

3.1 炉口法兰温度场分析

炉口法兰、接管及连接螺栓上的表面温度场如图4(a)示。在法兰表面,加热处和法兰密封开槽平台的温度较高,从680~700℃,随着向外延伸,温度逐渐变低。螺纹孔处的温度为555℃左右,连接螺栓处的温度为400℃左右。图4(b)为法兰、接管和连接螺栓的截面温度分布图,与图4(a)温度分布基本一致。螺栓孔位置的温度为480~650℃,螺栓处为375~411℃,所以分析螺栓附近的热应力和变形分布是有必要的。

3.2 炉口法兰应力场分析

转换单元后设置边界条件,并施加已求得温度场作为求解应力场载荷,计算法兰、接管和连接螺栓变形及应力分布。法兰组件应力场分布如图5所示。

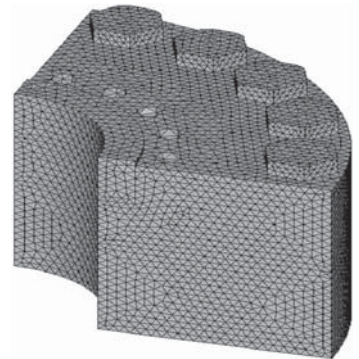
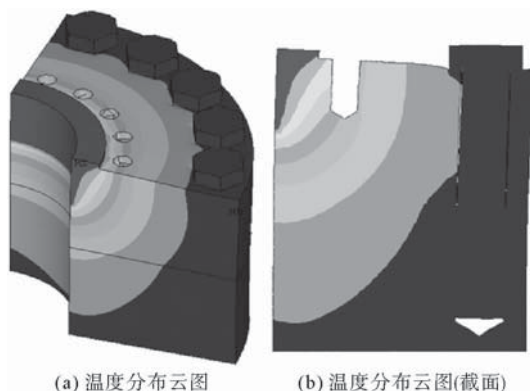


图3 炉口法兰网格划分图

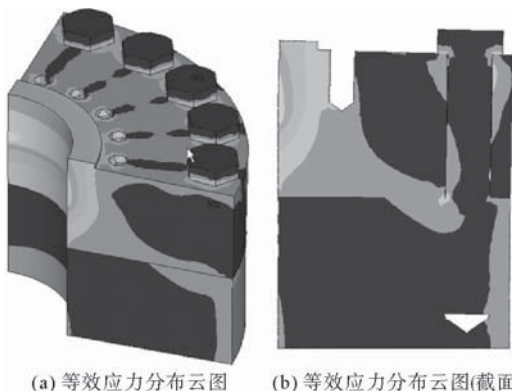
Fig. 3 Flange Meshing



(a) 温度分布云图 (b) 温度分布云图(截面)

图 4 法兰、接管和连接螺栓温度分布图

Fig. 4 Temperature distribution in the flange, connected pipes and bolts



(a) 等效应力分布云图 (b) 等效应力分布云图(截面)

图 5 法兰、接管和连接螺栓热应力分布图

Fig. 5 Thermal stress distribution in the flange, connected pipes and bolts

图 5(a)为法兰、接管和连接螺栓的表面应力分布图。在加热带及密封开槽平台等温度较高处的等效应力值为 313~390 MPa,而等效应力值最大处在加热带的下方,达到 390~476 MPa,其他位置的热应力基本上小于 236 MPa。可以看出,在法兰、接管和连接螺栓表面,最有可能发生塑性变形的位在加热带的下方。图 5(b)为法兰、接管和连接螺栓及螺纹孔截面的热应力分布图。热应力比较大的区域除了加热带及其附近,螺栓和接管连接处的法兰应力较大,最大应力不超过 300 MPa。

3.3 炉口法兰变形分析

在热处理保温过程中,法兰、接管和连接螺栓的表面热变形如图 6(a)所示。对于法兰,从内侧到外侧变形量逐渐增大,最大处位于法兰外上侧,接近 0.004 mm。由于法兰、接管有连接螺栓紧固在一起,所以三者的变形基本上是连续的。

法兰、接管和连接螺栓处的截面变形如图 6(b)所示。变形幅度、方式和外表面图形基本相同,但是在法兰、螺栓之间的变形不连续,这是因为两者本身就不是连续的共同体。

4 结论

根据温度场与应力-应变场的求解结果分析,得出如下结论:

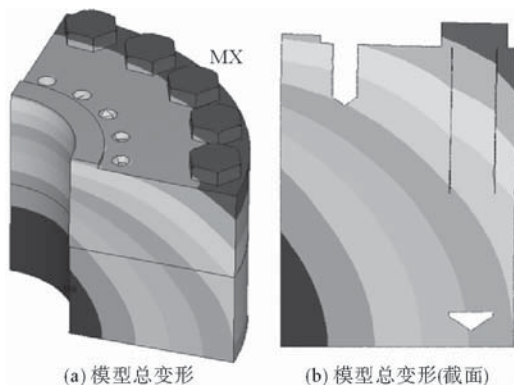
1) 从温度分布云图可以看出,焊后热处理温度 700 °C 时,焊接热影响区都处于 500 °C 以上,符合预定工艺中热处理要求,完全能避免因回火温度低造成焊缝及热影响区的回火脆性。该结果是建立在理想通风条件下,但实际施工过程中采取保温措施,实际法兰温度会比分析结果略高。法兰周边螺栓受热温度在 300 °C 以下,不会因为受热而造成应力松弛。

2) 焊后热处理过程中,法兰最大变形出现在法兰边缘,最大变形量为 0.004 mm,变形量在允许范围内,不会给法兰紧固螺栓和炉体造成不可回复的变形。

3) 焊后热处理保温过程中,法兰最大等效应力出现在螺栓紧固处,理论等效应力最大值为 440 MPa,实际上略小于该数值。

参考文献:

[1]孙漾,张凌波,顾幸生. Texaco 水煤浆气化装置配煤模型及其优化[J]. 化工学报,2010,61(8):1966-1971.



(a) 模型总变形 (b) 模型总变形(截面)

图 6 法兰、接管和连接螺栓热变形分布图

Fig. 6 Thermal deformation distribution in the flange, pipes and bolts

- Sun Yang, Zhang Lingbo, Gu Xingsheng. Texaco coal gasification process coal blending model and optimization[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2010, 61(8): 1966-1971.
- [2] 任军平, 张希海, 张奇. 四喷嘴对置式气化炉烧嘴损坏原因分析[J]. 大氮肥, 2012, 35(5): 301-302.
Ren Junping, Zhang Xihai, Zhang Qi. Analysis of causes for damage of burners in opposite four-nozzle gasifier[J]. Large Scale Nitrogenous Fertilizer Industry, 2012, 35(5): 301-302.
- [3] 刘琦, 张尧, 陈增有, 等. 焊接修复对铁素体不锈钢焊接接头组织和性能的影响[J]. 大连交通大学学报, 2012, 33(2): 68-72.
Liu Qi, Zhang Yao, Chen Zengyou, et al. Effect of repair welding on the microstructure and properties of ferritic stainless steel T4003 welded joints[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2012, 33(2): 68-72.
- [4] ASME 锅炉及压力容器委员会材料分会编著. ASME 锅炉及压力容器规范 II [M]. 北京: 中国石化出版社, 2001: 100-117.
- [5] 崔淑芬, 周俊鹏, 胡白英. 大直径锻件凸缘与不锈钢复合板筒体的焊接工艺[J]. 中国化工装备, 2012(6): 30-34.
Cui Shufen, Zhou Junpeng, Hu Baiying. Welding technology of big diameter forgings flange combined with stainless steel clad plate cylinder[J]. China Chemical Industry Equipment, 2012(6): 30-34.
- [6] 李亚江, 王娟, 刘鹏. 低合金钢焊接及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 127-142.

(责任编辑: 吕海亮)

(上接第 58 页)

- [6] 丁纯梅, 宋庆平, 王崇侠, 等. 壳聚糖对印染废水吸附性能的研究[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(8): 688-690.
Ding Chunmei, Song Qingping, Wang Chongxia, et al. Adsorption performance of chitosan in printing and dyeing wastewater treatment[J]. Journal of Environment and Health, 2008, 25(8): 688-690.
- [7] 刘军奇, 王本红, 吕海亮, 等. 粉煤灰沸石对甲基橙的吸附研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2010, 29(6): 89-93.
Liu Junqi, Wang Benhong, Lü Hailiang, et al. Study on the adsorption of methyl orange with coal fly ash zeolite[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2010, 29(6): 89-93.
- [8] 黄剑明, 叶挺进, 陈忻, 等. 壳聚糖包裹活性炭/稀土对印染废水的处理研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(6): 362-366.
Huang Jianming, Ye Tingjin, Chen Xin, et al. Study on the treatment of waste water of printing and dyeing with chitosan wrapping activated carbon and rare earth[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(6): 362-366.

(责任编辑: 吕海亮)