

低温压力容器焊后热处理的方法

康鸿雁

(北京燕化建安公司,北京 102549)

摘要 低温压力容器在制造过程中,由于焊接作用使其材料和结构内部产生较大的残余应力。本文重点论述了低温压力容器焊后热处理的确定依据、方法及工艺

关键词 低温 压力容器 焊后热处理

燕化 30 万 t/a 乙烯改扩建的工程的大量工程实践证明:焊后整体热处理是防止低温压力容器的低温应力脆性破坏的有效措施之一,因此低温压力容器的焊后整体热处理是完全必要的。GB150-98 中规定:焊接接头厚度大于 16mm 的碳钢、低合金钢均应进行焊后热处理。低温压力容器的焊后热处理不能仅以低温压力容器的壁厚来确定,还应对下列这些结构,均应进行焊后整体热处理,它们是:储存易燃、易爆、有毒及能引起应力腐蚀等介质的低温压力容器;工作温度或环境温度低于 -20°C 的大型或结构复杂的设备,如球罐及易造成应力集中的结构;局部过分集中可能导致裂纹产生的设备。下面详细论述一下低温压力容器整体热处理的方法和工艺。

1 低温压力容器整体热处理的方法

低温压力容器焊后消除应力,整体热处理主要有以下三种方法:

1.1 在固定炉内整体退火,适用于需热处理容器小于退火炉,优点为加热温度均匀、温差小、易控制、保温好。

1.2 在固定炉内分段退火,适用于需热处理容器长度大于退火炉。如燕化 30 万 t/a 乙烯改扩建工程 DA-402B 低温塔,分两段加热,先处理一段,调方向后再处理另一段,注意重复加热段长度不小于 1.5m,其缺点是能耗大,温度难控制。

1.3 在固定炉外退火,适用于大型设备,不能在厂内整体制造和运输,只能在现场焊制和整体热处理,该方法加热温度、升降速度及温差都很难控制。

以上三种整体热处理的加热方法,我公司采用燃油加热,主要有燃料加热和电加热两种。

2 低温压力容器整体热处理工艺

2.1 焊后热处理的决定因素

焊后热处理的条件必须根据以下各种因素进行适当的选择、规定及实施。

2.1.1 保温温度上限需考虑的因素

- (1)相变点以下;
- (2)热处理钢的回火温度之下;
- (3)在不降低其他母材及焊接区使用上,必备的性能范围内。

2.1.2 保温温度下限需考虑的因素

- (1)应力松弛效果;
- (2)淬硬区的软化;
- (3)氢等气体的排除。

2.1.3 保温时间上限需考虑的因素

- (1)在不降低其它母材及焊接区使用上,必备的性能范围内;
- (2)制造时间的缩短。

2.1.4 保温时间下限需考虑的因素

- (1)应力松弛效果;
- (2)淬硬区的软化;
- (3)氢等气体的排除;
- (4)组织的稳定。

2.1.5 加热速度上限需考虑的因素

- (1)防止厚壁件温度的不均匀;
- (2)防止因形状和尺寸的变化引起温度不均匀;
- (3)防止变形及裂纹。

2.1.6 加热速度下限需考虑的因素

- (1)炉温控制;
- (2)制造时间的缩短。

2.1.7 冷却速度上限需考虑的因素

- (1)防止厚壁件温度的不均匀;
- (2)防止因形状和尺寸的变化引起温度不均匀;
- (3)防止残余应力的再发生,变形和裂纹。

2.1.8 冷却速度下限需考虑的因素

- (1)炉温控制;
- (2)母材及焊接区的性能;
- (3)防止再热裂纹。

2.1.9 入炉温度上限需考虑的因素

- (1)防止变形及裂纹;

(2)防止因形状和尺寸的变化引起温度不均匀。

2.1.10 出炉温度上限需考虑的因素

- (1)防止因形状和尺寸的变化引起温度不均匀;
- (2)防止残余应力的再发生,变形和裂纹。

2.2 加热温度

现在使用的调质低温用碳素钢的最低回火温度一般为600℃左右,如PWHT的温度太高,就会影响钢材强度,因此规定温度上限要低于回火温度。设计时规定的条件与实施条件之间(考虑了热处理炉或方法的能力及管理)的关系基本如下:

设计规定的条件 实施(施工条件)

T_{min} $T_m \pm Tr$ (但 $T_m - Tr \geq T_{min}$)

$To \pm Td$ ($To \pm Td1/Td2$) $To \pm Tr$ (但 $Tt \leq Td$)

T_{min}, T_{max} $T_m \pm Tr$ ($T_m - Tr \geq T_{min}$,
 $T_m + Tr \leq T_{max}$)

- 式中
- T_{min} ——PWHT温度的下限,℃;
 - T_{max} ——PWHT温度的上限,℃;
 - To ——PWHT温度的最佳值,℃;
 - Td ——设计上允许的PWHT温度最佳值相对应的温度范围,℃;
 - Tm ——PWHT实施时的指标温度,℃;
 - Tr ——由热处理炉或方法造成的PWHT对象的温度误差,℃或K。

2.3 保温时间

当所采用的加热温度比正规的加热温度低时,在现行的各种规定中,都采取大幅度地延长保温时间的办法以弥补温度的不足。但保温时间过长,反而会使焊缝金属结晶粗大化,碳化物聚集或脱碳层厚度增加,从而造成机械性能、蠕变强度及缺口韧性的下降,国外有研究表明,低于某一温度时就不能得到PWHT应有的效果。

2.4 保温温度

保温温度规定为550℃,保温温度对残余应力的降低程度有很大影响,温度过低时,即使延长保温时间,也不太可能取得与规定温度同样的效果。

2.5 加热速度

加热速度的上限随着板厚的增加而降低,但一般不必低于50℃/h。对于超厚板结构,为了避免加热不均匀,应采用更小一些的加热速度。加热过程中,因被加热件的形状和尺寸变化或因温差引起的应力,在某些情况下会产生严重变形和破损,作为防止措施,除了控制加热速度外,还可以采取补强的办法。

2.6 冷却速度

冷却速度如果过大,往往因热应力的作用而产生变形或裂纹,并且成为残余应力再次产生的原因。对

于复杂结构、厚度等尺寸变化大的结构、具有不连续部分的结构等,要慎重地限制冷却速度;厚度很大时,不宜采用50℃/h的下限冷却速度,最好采用 $200 \times 25/t$ (℃/h)的冷却速度(t为板厚)

2.7 入炉出炉温度

被加热件入炉或出炉时的温度,一般规定在400℃以下。如果不根据结构件的形状和尺寸特点予以充分降低出炉温度,在取出后的冷却过程中,就可能再次产生较大的残余应力,或者是在热应力的作用下发生裂纹或变形。在特殊场合,有时要采用100℃以下的出炉温度。400℃这一规定表示作为PWHT的一部分,需要严格采用规定的冷却速度的温度下限,但并不是说在400℃以下,无论采用什么样的冷却条件都可以。

3 工程实例

以乙烯分馏塔第二中间再沸器E-EA410B的壳体为例,分析说明热处理效果。壳体材料为SA516GR70,规格为 $\phi 1400 \times 16 \times 5990$ mm,设备类型为II类,型式为H-BKM,设计温度为-25℃,要求对壳体做焊后消除应力热处理。

3.1 确定热处理工艺参数

加热温度:600±25℃,加热速度150±20℃/h,保温时间1h,装炉温度:常温,冷却方式:400℃以下在炉中自然冷却至常温,热处理后硬度HB<197,热处理方法:油炉加热。

3.2 热处理结果

依据上面所设定的工艺参数对壳体进行热处理,实际热处理曲线见图1,由图中可知:加热温度620℃,加热速度为150℃/h,保温时间为1.5h,冷却速度为140℃/h。热处理后硬度值HB通过硬度试验测得,焊缝:110±10,热影响区:110±10,母材:105±5。

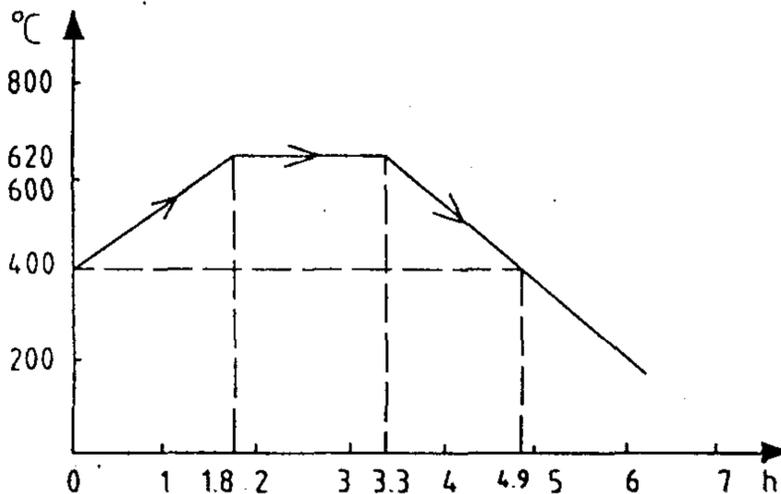


图1 热处理曲线图

4 结论

为了保证焊后整体热处理效果,避免产生新的缺陷,在全面试验研究基础上,世界各国对低温压力容器 (下转40页)

滑车组,使盘管组件就位。为保证抱杆在倾斜时两根主缆风绳受力一致,制作两根平衡梁来平衡两根主缆风绳的力。

4 吊装计算及机具设置

4.1 辐射室拖运受力计算

$$S = Q_{\text{吊}} K(F_1 + F_2)/D$$

式中 S——牵引力,kg;

$Q_{\text{吊}}$ ——辐射室运输时的计算重量,kg;

K——起动系数, $K = 5$;

$F_1 + F_2$ ——钢与木、钢与钢之间的摩擦系数之和, $(F_1 + F_2) = 0.1 + 0.05$;

D——滚杠直径,cm。

$$S = 600000 \times 5 \times (0.1 + 0.05) / 10.8 = 41667 \text{kg}$$

4.2 牵引机具的选择

根据以上计算,选择两套 H32 × 4D 的滑车组。

$$S_{\text{跑}} = S \times K_0^n \times (K_0 - 1) / 2 \times (K_0^n - 1)$$

式中 $S_{\text{跑}}$ ——卷场机跑绳拉力,kg;

K_0 ——单个滑车的阻力系数, $K_0 = 1.04$;

n——滑车组的轮数, $n = 8$ 。

$$\text{即: } S_{\text{跑}} = 2973 \text{kg}$$

故选用两台 5t 慢速卷扬机和 6 × 37 - 170 ϕ 19.5 的钢丝绳 1000m 即可,两套滑车组之间用一个 10t 的平衡滑车连接成一个整体。

4.3 顶升位置的强度校核

梁的强度校核

$$\sigma = M/W$$

式中 M——顶升处弯矩, $M = 60000 \times 80 = 4800000 \text{kg} \cdot \text{cm}$;

W——梁的抗弯模量, $W = 3810 \text{cm}^3$ 。

$$\sigma = 1259.84 \text{kg/cm}^2 < 1400 \text{kg/cm}^2$$

焊缝强度

$$\tau = Q/LS$$

式中 Q——顶升力, $Q = 60000 \text{kg}$;

L——焊缝长度, $L = 80 \text{cm}$;

S——焊缝高度, $S = 25 \text{mm}$ 。

$$\tau = 300 \text{kg/cm}^2 < 1000 \text{kg/cm}^2$$

因此梁的强度足够。

5 其它

集合烟道及对流室的 A、B 轴钢结构利用 150t 吊车吊装。

6 结束语

本次加热炉改造工程要求在 34 天内完成,工期短,任务重。采用辐射室的整体运输及顶升就位和对流室的分部吊装的目的是加大预制深度,在现场作业面狭小的条件下变流水作业为平行作业,并减少高空作业,形成了较好的施工环境,有效地保证了施工工期,为公司创造了很好的社会效益和经济效益。

辐射室的整体运输的重量为 600t,运输距离为 100m。先横向运输,然后再纵向运输。充分利用了卷扬机、滑车组及千斤顶系统,是我公司目前运输重量最大,技术含量最高的一次钢结构整体运输,在国内石油化工吊装作业中,也是不多见的。这给公司的施工作业,积累了丰富的经验。

(收稿日期:2000-09-26)

(上接 35 页) 整体热处理工艺提出了严格要求,见表 1。但关于 PWHT 的标准及规程等还有待于在采纳新成就的基础上得到进一步完善及更合理化,并取得国际统一。

表 1 各国推荐的焊后热处理工艺要求

项目			日本		国际标准		美国	英国
			HPIS	JISZ3700	ISO/DIS2694	ASME	BS5500	
保温时间 (min)	与板厚 t 关系	碳素钢	2.4t	2.4t	2t	30t	2.4t	2.5t
	最短时间	合金钢	60	15	2.4t	60	15	60
加热速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	与板厚 t 关系	220 × 25/t						
	$V_{\text{升 min}}$	50		55				
	$V_{\text{升 max}}$	220						
冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	与板厚 t 关系	275 × 25/t					280 × 25/t	275 × 25/t
	$V_{\text{降 min}}$	50		55		—	55	
	$V_{\text{降 max}}$	275					280	275
设备出炉温($^{\circ}\text{C}$)			400		425		400	
加热冷却最大温差($^{\circ}\text{C}/4.5\text{m}$)			130		150			
低温阶段最大温差 T($^{\circ}\text{C}$)			80		—		85	—
分段处理最小重叠长度(m)			1.5					1

在燕化 30 万 t/a 乙烯改扩建工程中,所有低温压力容器焊后热处理均依据上述内容选定热处理工艺参数。考虑用于腐蚀场合,担心最高硬度,故材质检验是选定对本体(包括母材、焊缝、热影响区)热处理前后进行硬度检验(每区测 3 处,每处测 3 点),从而得出热处理效果。

参考文献

- 1 stout R. D. Post Weld Heat Treat Treatment of Pressure Vessels W. R. C. Bulletin, 1985(302)
- 2 应道寡. 低温压力容器 GB150 - 98, 1998
- 3 压力容器焊后热处理. 日本高压技术协会应力退火(SR)委员会编, 1987
- 4 建筑安装技术. 化学工业部第十三化工建设公司编, 1988
- 5 金属安装技术. 上海科技文献出版社, 1980
- 6 大型球形容器消除焊接残余应力热处理技术调研报告, 1990

(收稿日期:2000-12-10)