

压力容器的焊后热处理

李向阳

(迪威尔石油天然气技术开发有限公司,北京市、海淀区上地信息路22号B座3层,100085)

摘要 介绍了化工压力容器焊后需要热处理的原因以及热处理的方法、使用条件及过程特征。

关键词 压力容器 焊接 焊后热处理

1 引言

压力容器是油田及化工生产中应用十分广泛的重要设备之一。随着油田及化工领域的技术进步,压力容器设备朝着大型化方向发展,所使用的材料也更加高强度和壁厚化,焊接后的热处理技术对于制造出高质量、可靠的设备起着重要作用。

2 压力容器进行焊后热处理的原因

所谓焊后热处理,广义地讲就是在工件焊完之后对焊接区域或焊接构件进行的热处理,其内容包括消除应力退火、完全退火、固溶、正火、正火加回火、回火、低温消除应力、析出热处理等。狭义地讲焊后热处理仅指消除应力退火,即为了改善焊接区的性能和消除焊接残余应力,减少脆性破坏和疲劳破坏的等有害影响,从而对焊接区及有关部位在金属相变温度点以下均匀而又充分地加热,并保持一定的时间,然后又均匀冷却的过程。

压力容器焊接时,当母材相邻区域产生温差大于100℃的急剧温度梯度时,在铁素体钢或相当的其他材料中引起不均匀的塑性应变,而在随后的冷却过程中,将产生一个峰值应力达到屈服点的残余应力。当残余应力与焊缝中的氢相结合时,将促使热影响区硬化,由此而导致应力腐蚀裂纹的产生和发展。

焊制的压力容器,焊接区存在着较大的残余应力,而残余应力的不利影响,在一定的条件下才表现出来,主要在以下场合中出现:

a. 容器高、低温使用;

b. 耐压试验时;

c. 由焊接引起的母材淬硬。

残存在焊缝中的应力与介质的腐蚀作用相结合时,将引起裂纹状腐蚀,焊接残余应力即是产生应力腐蚀裂纹的重要因素。

3 焊后热处理的方法

为了提高断裂韧性、降低残余应力水平,以增强抗脆断的能力,软化材料组织和消除应力腐蚀开裂的可能性,对压力容器等焊接结构要进行焊后热处理,其主要目的:

a. 释放焊接过程中参与的应力;

b. 修整焊接处的形状、减少应力集中系数;

c. 改善母材的金属塑性,降低热影响区硬度;

d. 提高断裂韧性;

e. 改善疲劳强度;

f. 恢复或提高机械成型中降低的屈服强度;

g. 提高抗应力腐蚀的能力。

焊后热处理按施工方法可分为炉内热处理和炉外热处理,炉外热处理又可分为炉外整体热处理和局部热处理。

3.1 炉内焊后热处理

炉内焊后热处理,原则上被加热工件一次整体入炉,当容器长度大于退火炉不能一次入炉时,也可在一定附加条件下分两次或两次以上入炉。

为消除压力容器等焊接结构件的残余应力,将工件封闭在炉内进行加热是最理想的方法。优点为加热温度均匀、温差小、易控制、保温效果好。由于加热方法、工件尺寸和形状对热的流动和吸收有重大

影响,故必须对热处理操作的某些参数加以控制才能达到预期目的。一般情况下需控制的参数有:加热速度、冷却速度、保温时间、温度梯度、装炉和出炉温度等,这些参数在国内外压力容器制造标准中都有比较明确的规定。

3.2 炉外焊后热处理

3.2.1 炉外整体焊后热处理

炉外整体焊后热处理,就是对不能进入加热炉的球形、圆筒形大型压力容器,在安装现场组装焊接后,以容器壳体本身为加热炉,将其整体加热保温而进行的焊后热处理。在实施炉外整体焊后热处理时,必须考虑壳体在加热保温时的自支撑能力,并且被加工壳体的支撑结构和底座应避免因热胀冷缩而受到影响。

炉外整体焊后热处理多数情况下均采用烧嘴加热,也有少量采用电加热方式,主要用于直径和容积较小的压力容器现场返修后的热处理。采用烧嘴加热方式进行的炉外整体热处理,一般是在容器的关键开口处安放一个或多个燃油或燃气烧嘴,利用强制对流来实现容器壳体的均匀加热。容器外表面铺设保温层以防止热扩散,保证壳体升温、加热温度均匀和施工安全。国外一般采用高速燃气烧嘴,以液化石油气或城市煤气为燃料。据了解,炉外整体热处理的^{最大}压力容器焊接结构为直径46 m,高度67 m,壁厚115 mm,总重6 000 t的核安全壳。国内则普遍采用霍克式燃油烧嘴,以轻柴油为燃料。热处理过的大型压力容器有:直径12 300 mm,厚度38 mm,容积1 500 m³的球形储罐;直径为7 800 mm,厚度为38 mm,总长为24 m,容积为1 000 m³的LPG卧式储罐。

3.2.2 炉外局部焊后热处理

炉外局部焊后热处理主要适用于大型压力容器等不能整体炉内加热,或由于运输上的限制必须在基地现场组装的筒体、接管或管道焊接环缝,以及局部修补焊接区。局部加热往往产生较大的热应力,为了减少这种热应力造成的不良影响,一般将压力容器筒体或接管的整体焊接区所处的圆周环形带进行焊后热处理,这在国内外压力容器制造标准中均有相关的规定。

局部焊后热处理的加热方法很多,国内外普遍采用电加热方式,加热容易控制,施工也简单方便。近年来,采用燃油或燃气烧嘴加热的组件装配式加热炉在加热控制技术和安装的灵活性等方面不断地

改进,其在局部焊后热处理方面的应用也不断增加,而且这种加热方式不受压力容器内、外表面结构的影响,更适用于结构复杂、大型厚壁压力容器的局部焊后热处理。国外如欧美、日本等大量使用高速燃气烧嘴加热的组件装配式加热炉进行原子反应堆、大型煤气液化反应器等大直径、厚壁压力容器的局部焊后热处理。国内如第一重型机械集团公司等厂家研制出采用燃油烧嘴加热的可拆装式环形加热炉,用于厚壁加氢反应器等压力容器的局部焊后热处理。

4 焊后热处理的使用条件

焊接的压力容器是否需要做焊后热处理,应从容器的用途、尺寸(特别是壁板厚度)、所用材料的性能以及工作条件等方面综合考虑决定。有下列情况之一的,应考虑焊后热处理:

- a. 使用条件苛刻,如在低温下工作有发生脆性断裂危险的厚壁容器,承受较大载荷和交变载荷的容器;
- b. 厚度超过一定限度的焊制压力容器,包括锅炉、石油化工压力容器等有专门规程、规范的;
- c. 对尺寸稳定性要求较高的压力容器;
- d. 由淬硬倾向大的钢材制造的容器;
- e. 有应力腐蚀开裂危险的压力容器;
- f. 其他有专门规程、规范以及图样予以规定的压力容器。

5 焊后热处理过程特征

许多研究者指出,为了消除靠近焊缝的区域内形成达到屈服点的残余应力,焊接工件被加热到500~650℃后再缓慢冷却对压力容器性能能产生良好的效果。应力的降低起因于高温下的蠕变,在碳钢中从450℃开始出现,温度越高,应力越易于消除。但是一旦超过钢材的原始回火温度,钢的强度便要降低。所以消除应力的热处理一定要掌握好温度和时间两个要素,缺一不可。

在焊件内应力中,总是伴随着拉伸应力与压缩应力,应力与弹性变形同时存在。当钢材的温度升高,屈服强度下降,原有的弹性形变会变成塑性形变,从而使应力松弛。加热温度越高,内应力消除越充分,但温度过高时将使钢材表面严重氧化。另外,对于调质钢的焊后热处理温度,应以不超过钢材原

回火温度为原则,一般比钢材原回火温度低 30 ℃左右,否则材料就会失去调质效果,强度和断裂韧性就会降低。这一点对于热处理工作者来说,应予以特别关注。

内应力的焊后热处理温度越高,钢材软化程度越大,通常加热到钢材的再结晶温度,内应力就可消除。再结晶温度与熔化温度有密切关系,一般情况下,再结晶温度 $K=0.4 \times$ 熔化温度(K)。热处理温度越接近再结晶温度,消除残余应力越有效。

6 焊后热处理综合效果的考虑

压力容器有无焊后热处理,必须根据材质、结构、焊接工艺、使用目的和环境条件等因素考虑。焊后热处理在改善组织性能、降低残余应力、提高压力容器制造质量上有良好的效果,但应用不当会出现如母材或焊缝再热裂纹或新的残余应力等。试件的冲击韧性试验表明,焊后热处理对熔敷金属和焊接热影响区的韧性提高不利,有时在焊接热影响区的晶粒粗化范围内还可能发生晶间开裂。再则,焊后热处理是依靠在高温下材料强度的降低来实现消除应力的,因此,在焊后热处理时,结构有可能失去刚性,对于采取整体或局部焊后热处理的,热处理前,必须考虑焊件在高温下的支承能力。所以,在考虑是

否进行焊后热处理时,应将热处理的有利和不利两个方面综合比较。

7 结束语

焊后热处理须针对具体情况做具体分析并慎重对待。对不允许进行施焊后热处理的压力容器,要认真、仔细地分析材料特点,严格掌握施焊施工条件和管理;对需要进行热处理的压力容器,要选择最佳的加热温度、加热速度、冷却速度、入炉及出炉温度等参数,并在施工中采取具体措施使之得以切实地实施;对于可以不进行热处理的压力容器,要在认真分析,经实验取得充分依据的基础上,并在采取配套措施的情况下取消之。

8 参考文献

- [1] 过程装备 HT 制造与检测. 北京:化学工业出版社, 1981
- [2] 化工机械工程手册. 北京:化学工业出版社,2003
- [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

(收稿日期:2005.06.10)

