

# 厚壁容器局部焊后热处理工艺改进

张静

陕西化建工程有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i4.15455

**[摘要]** 厚壁压力容器作为工业生产的核心装备,在石油化工、电力能源等领域广泛应用。由于设备壁厚较厚,制造过程中容易产生焊接残余应力,而焊后热处理就是消除焊接残余应力的重要方法。焊后热处理的质量直接影响着厚壁容器的质量、安全性及可靠性。随着化工装置向大型化发展,超限尺寸厚壁容器的热处理难度显著增加,其中保温环节作为局部热处理的核心步骤,其工艺参数合理性需通过验证性试验确认。当前标准对厚壁容器局部热处理的保温要求仅给出原则性规定,缺乏具体量化指标。本文针对这一技术空白,以厚壁矩形焊接试件为研究对象,通过实时监测热处理过程中的温度场分布,结合热处理后试件的力学性能测试,系统评估局部热处理工艺的有效性。

**[关键词]** 厚壁压力容器; 热处理工艺; 工艺改进; 技术经济分析

**中图分类号:** TD406 **文献标识码:** A

## Improvement of local post weld heat treatment process for thick walled containers

Jing Zhang

Shaanxi Chemical-Engineering Construction Co

**[Abstract]** Thick walled pressure vessels, as the core equipment of industrial production, are widely used in fields such as petrochemicals and power energy. Due to the thick wall thickness of the equipment, welding residual stresses are easily generated during the manufacturing process, and post weld heat treatment is an important method to eliminate welding residual stresses. The quality of post weld heat treatment directly affects the quality, safety, and reliability of thick walled containers. With the development of large-scale chemical plants, the difficulty of heat treatment for oversized thick walled containers has significantly increased. The insulation process, as the core step of local heat treatment, requires verification experiments to confirm the rationality of its process parameters. The current standard only provides principled regulations on the insulation requirements for local heat treatment of thick walled containers, lacking specific quantitative indicators. This article focuses on this technological gap and takes thick walled rectangular welded specimens as the research object. By monitoring the temperature field distribution during the heat treatment process in real time and combining it with the mechanical performance testing of the specimens after heat treatment, the effectiveness of the local heat treatment process is systematically evaluated.

**[Key words]** Thick walled pressure vessel; Heat treatment process; Process improvement; Technical and economic analysis

### 引言

在现代工业体系中,厚壁压力容器承担着储存、反应、换热等关键功能,是石油炼化、化工合成、核电装备等领域的“工业心脏”。其质量优劣直接关系到生产安全与经济效益,一旦发生故障,可能引发泄漏、爆炸等灾难性后果。而热处理作为决定容器性能的关键工序,通过热处理消除焊接残余应力,改变材料组织结构,能有效提升容器的强度、韧性和耐腐蚀性。但受限于传统工艺技术,当前热处理过程存在温度不均、能耗过高、

操作复杂等问题,严重制约了厚壁压力容器的性能提升与成本控制<sup>[1]</sup>。因此,探索更为先进、高效的热处理工艺改进方案,对保障工业生产安全、推动行业技术升级具有重要意义。

### 1 厚壁压力容器热处理工艺概述

#### 1.1 热处理工艺的定义与作用

热处理是一种通过对金属材料进行加热、保温、冷却等操作,实现组织结构重塑与性能优化的加工技术。在厚壁压力容器制造环节中,焊接过程中产生的残余应力,为了避免使用过程中

因应力集中导致的开裂失效焊接应力过大,需要对设备进行焊后热处理,来消除焊接残余应力,改善材料力学性能,增强韧性防止脆性断裂,优化硬度满足不同工况需求<sup>[2]</sup>。此外,通过热处理还能提高容器的耐腐蚀性能,延长设备使用寿命,为工业生产的连续性提供保障。

### 1.2 常见厚壁压力容器热处理方式

常见的厚壁压力容器焊后热处理的方式有整体热处理、局部热处理和分段热处理。整体热处理又包括容器内燃热处理法和炉内热处理。一般压力容器采用整体炉内热处理法,而随着设备的超限和大型化,超限设备一般采用分段热处理加局部热处理的方法。即先对超限设备采取厂内预热分段热处理,现场合拢后,再对合拢部分进行局部热处理的方法。

整体炉内热处理的设备一般采用的是天热气台车炉。热处理时通过将容器整体置于加热设备中,在均匀升温 and 降温过程中,有效消除容器整体残余应力、改善组织结构。局部热处理则聚焦于容器特定区域,如焊缝、接管部位等应力集中处<sup>[3]</sup>。采用电加热带及隔热保温带确保热处理过程中的控温和保温过程。两种热处理方式相互补充,为厚壁压力容器性能提升提供有效保障。

### 1.3 局部热处理的工艺问题

现在的压力容器热处理工艺执行的标准是GB/T30583-2014《承压设备焊后热处理规程》。该规程中对于筒体局部热处理加热带和隔热带的推荐宽度给出热处理厚度小于等于50mm局部热处理时需要的加热带推荐宽度及隔热带宽度的计算方法,但是针对热处理厚度大于50mm的情况未给出明确的热处理宽度和隔热带宽度的方法,只表明需要进行焊后热处理验证性试验。

## 2 局部热处理验证性试验

### 2.1 制备焊接试板

根据GB/T30583-2014《承压设备焊后热处理规程》要求制备焊接热处理验证性试验的试板。局部热处理验证性试验的试板需要跟被热处理的设备同材料材质、同壁厚、同坡口形式、同焊材及相同的焊接工艺<sup>[4]</sup>。验证性试板采用平板对接的结构。针对需要热处理的设备试板选用Q345R正火材质,试板厚度选用94mm,坡口采用U型坡口,对接焊接,试板规格1000mm×500mm(两块)。焊接工艺与被热处理设备焊接工艺一致。对试板进行焊接。

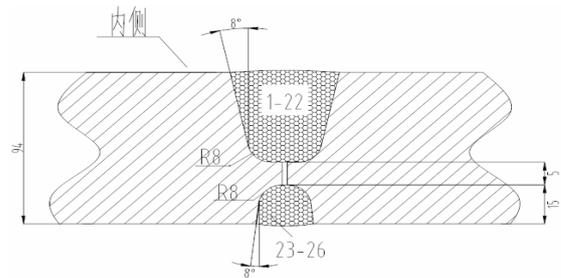
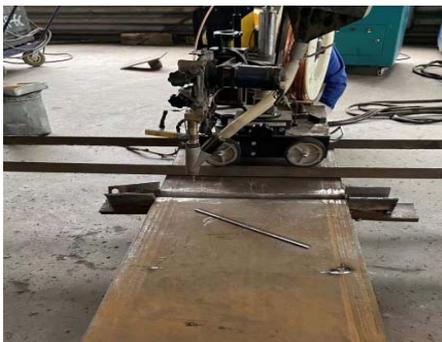


图1 验证性试板焊接图

### 2.2 验证性试验加热片和热电偶的布置

验证性试验试板焊接合格对试板进行无损检测,检测合格后对焊接的试板按图定为热电偶的位置,并在标记的位置钻 $\Phi 8$ mm的孔。孔沿着试板的厚度方向,为了装测温热电偶孔的深度设置为250mm。为了保证测温热电偶的测温效果,测温热电偶装入孔后,孔边缘的空隙用锡水填充,这样保证了热电偶的导热性能。

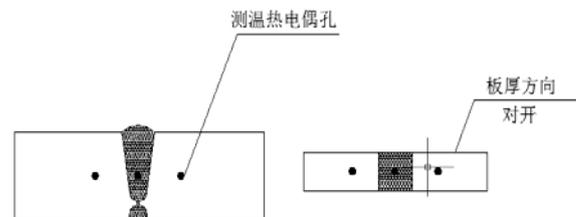


图2 热电偶的加热位置布置图

### 2.3 验证性试板的加热和保温

对已经制造好的验证性试板进行加热和保温布置。加热片布置在试板两侧,保温片覆盖在加热片上,保温的宽度要比加热的宽度宽。根据以往的经验值,该试板取加热宽度范围在300mm以内,保温宽度范围在800mm以内。加热片要与焊缝密切接触,保温层包裹加热片是为了减少加热和保温过程中的热量损失<sup>[5]</sup>。

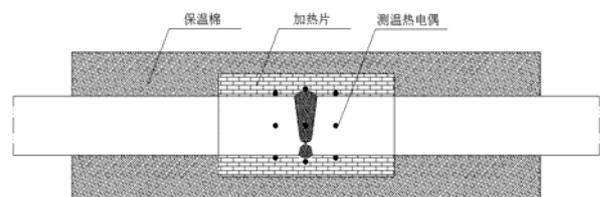


图3 加热和保温布置图

### 2.4 工艺操作

根据NB/T47014-2023《承压设备焊接工艺评定》中的焊制承压设备用母材分类分组知,Q345R类别属于Fe-1材料。GB/T30583-2014《承压设备焊后热处理规程》给出了焊后热处理规范参数对于大于50mm小于125mm范围的Fe-1材料保温时间为 $2+(\delta_{\text{PHHT}}-50)/100$ h。按验证性试验的试板计算保温时间应不少于2.44h,保温温度推荐最低为600℃。

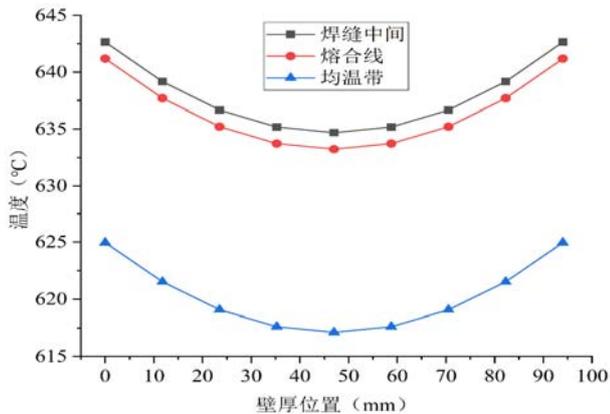


图4 验证性试板保温结束后试板不同位置壁厚方向温度变化图

从图4中可以看出,对验证性试板局部热处理后温度的最低点初选在试板均温带靠边缘的位置。对于验证性试板的94mm厚度,其均温带中心层的温度约为620℃。根据GB/T30583-2014的4.4.3条规定,该点的温度范围在 $600 \pm 20^\circ\text{C}$ 范围内。如果该点最低保温温度低于标准中的参考温度,可延长保温时间。当热处理厚度大于25mm时,每增加25mm,最短保温时间应增加15min。因此当最低温度值低于 $30^\circ\text{C}$ 时,保温时间至少应延长45min。因此对于焊接验证性试板的局部热处理保温时间应为 $2 + (\delta_{\text{焊}} - 50) / 100 + 0.75h = 3.19h$ 。

#### 2.5 验证性试验试板的加热和保温

根据理论计算我们对验证性试验试板进行局部热处理,并通过热电偶对相应的部位进行温度监测。通过试验对保温时间做了比对发现在焊缝上表面保温开始和结束的温度分别为 $614^\circ\text{C}$ 和 $624^\circ\text{C}$ ,焊缝下表面保温开始和结束的温度分别为 $618^\circ\text{C}$ 和 $621^\circ\text{C}$ ;焊缝厚度中心表面保温开始和结束的温度分别为 $596^\circ\text{C}$ 和 $601^\circ\text{C}$ 。而均温带方向温度变化为上表面保温开始和结束的温度分别为 $603^\circ\text{C}$ 和 $612^\circ\text{C}$ ;均温带方向下表面保温开始和结束的温度分别为 $614^\circ\text{C}$ 和 $610^\circ\text{C}$ ;均温带方向焊缝中心保温开始和结束的温度分别为 $577^\circ\text{C}$ 和 $581^\circ\text{C}$ ;因此对于均温带低于推荐保温温度的需要通过延长保温时间。因此根据理论及试验验证我们对验证性试验的局部热处理保温时间应该加长,从而保证热处理效果。

#### 2.6 结果验证

对验证性试验热处理的试板进行性能试验。通过跟原材料进行对比。母材拉伸试验后平均值为550MPa,  $-20^\circ\text{C}$ 夏比V型坡口冲击试验,冲击吸收功平均值为213KV2。验证性试板的拉伸试验后平均值为578MPa,  $-20^\circ\text{C}$ 夏比V型坡口冲击试验,冲击吸收功平均值为150KV2,冲击值较低,但在合理的范围内。拉伸值与母材

接近。弯曲试验均合格。验证性试验符合要求。

#### 2.7 结果应用

根据验证性试验的结果,最终能确定材质Q345R,厚度94mm的容器中的工艺为热处理升温到 $620^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 后保温时间延长至不少于200min。热处理工艺曲线图见图5。设备局部热处理时采用双面加热,双面保温的方式。加宽保温及加热宽度。

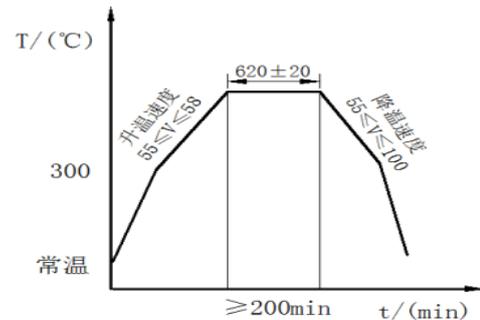


图5 热处理工艺曲线图

### 3 结论与展望

本文通过介绍局部热处理验证性试验的方法,试板的制造过程及局部热处理的过程,了解到厚壁压力容器局部热处理在热处理过程中可以利用验证性试板进行模拟试验。对于壁厚较厚的容器可以用延长保温时间来达到热处理的效果。工艺模拟为参数优化提供科学依据,过程监测确保工艺稳定可控。能源消耗和成本方面降低,具有良好的经济效益和社会效益。在科学技术发展的现在,也可以用现代方法和科技结合的方式及验证性试验和数值模拟相结合的方式来确定厚壁容器局部热处理的保温时长优化热处理工艺。

#### 【参考文献】

- [1]于浩,赵鑫.建筑金属材料与热处理工艺关系的探讨[J].中国建筑金属结构,2013,(20):239.
- [2]杨晓东.热处理技术在石油化工压力容器中的应用[J].山西化工,2018,38(06):162-164.
- [3]邱志强.建筑钢结构热处理技术[J].当代化工研究,2023,(23):112-114.
- [4]鲍继才.感受传统工艺提高化学素养——教学素材开发一例[J].化学教与学,2019,(03):23-24+30.
- [5]章玉成,朱祥睿,李富强,等.SCM420合金冷锻钢拉拔断裂原因分析[J].河南冶金,2018,26(02):8-10.

#### 作者简介:

张静(1985—),女,汉族,陕西渭南人,硕士,工程师,研究方向:压力容器设计制造。