

蓄热器焊接修复

李转运 郭杰

河北省迁安市滨河村首钢迁钢公司设备部 064404

摘要 针对首钢迁钢炼钢分厂蓄热器焊缝产生纵向裂纹的情况,实施了用国产 J506R 焊条的手工电弧焊补焊接修复工艺。焊接工艺实践表明,选择正确的焊前预热温度,严格按工艺参数和技术规范进行施工是修复获得成功的关键;选取合适的挖补长度和合理的挖补形状是安全施工的必要保障。焊后采用现场电加热片消除焊缝应力。

主题词 蓄热器 裂纹 焊接 修复

中图分类号: P755.1 文献标识码: A

首钢迁钢炼钢分厂蓄热器自 2004 年 10 月投产使用,经过 4 年的生产运行,于 2007 年 6 月经宏观检查发现,内表面焊缝出现大量的纵向裂纹,裂纹走向平直,绝大部分产生在纵缝上,经磁粉检测发现蓄热器内表面焊缝产生裂纹 56 处,经打磨消除,最深达 8mm,经强度计算,满足使用要求,未作进一步的处理,运行 1 年后开罐再次检验,又发现焊缝产生许多新生裂纹,大部分裂纹均产生在纵缝上,筒体 7 条纵缝上均有七八处裂纹,环缝上有 1 处发散性裂纹为机械损伤所致,裂纹条数达 60 多处,长度 5—20mm,经打磨消除,最深处同样达 8mm。此罐仅仅在运行 1 年后又产生大量裂纹,这不是仅仅使用而造成的,这和罐的本身制造有直接原因,从原始出厂资料审查发现,此罐的焊后消除应力热处理温度未达到标准要求,焊后残余应力未能消除,再加上正常的拉应力,筒体纵缝的拉应力是环缝的两倍,这样在运行状态下,焊缝上的应力水平将超过焊缝的屈服强度,由于纵缝的受力远远大于环缝,所以绝大部分裂纹产生在纵缝上。为了进一步的确认裂纹产生的原因,对蓄热器进行了进一步的检验检测。

金相检测和化学成份

对焊缝、热影响区、母材进行了现场金相检测,经检测金相组织基本正常,焊缝上的组织为铁素体+贝氏体+索氏体,晶粒有点粗大,基本正常,热影响区和母材为铁素体+带状珠光体,金相组织正常;

在蓄热器焊缝上取样,经专业部门进行化验检测焊缝的化学成分见表 1,出厂资料上焊材的化学成分见表二。从表中发现出入比较大的是磷的含量增的很多,国家有关标准要求焊材和母材的硫磷的含量均小于 0.03 ,比照标准焊缝磷的含量超标,磷的超标加大了焊缝产生裂纹的倾向。

表一 焊缝取样化学成分

试样名称	取样位置	检验项目					
		C	Si	Mn	P	S	Cu
环缝	B3	0.082	0.64	1.21	0.046	0.019	0.10
纵缝	A4	0.052	0.31	1.17	0.049	0.020	0.16

表二 出厂焊材化学成分见表 2

名称	材 料 牌 号	材料厂 家	检验项目					
			C	Si	Mn	P	S	
焊材	H10MnSi φ 4	高余焊 材	0.07	0.75	0.95	0.010	0.013	
	纵缝	A4	0.052	0.31	1.17	0.049	0.020	

制造厂家在征得检验部门和使用单位的意见下，经多次讨论决定在 2008 年开罐检修期间对蓄热器产生的裂纹进行彻底修复，修复方案如下：

- (1)对蓄热器裂纹采用局部挖补焊接予以修复；对单个裂纹则采取修磨补焊；
(2)。

从控制应力腐蚀产生要素的角度来看，挖补焊接消除裂纹，焊后消除残余应力是实施蓄热器裂纹修复的重点。

材质可焊性分析与挖补长度的确定

1.化学成分和力学性能

蓄热器壳体 SPV36 与补板 16MnR 的化学成分及力学性能见表 1。

表 1 材料化学成分及力学性能

钢号	化 学 成 分(%)					力 学 性 能			
	C	Si	Mn	S	P	σ _b (MPa)	σ _s (MPa)	δ(%)	Akv(J/cm2)
SPV36	0.165	0.33	1.41	0.011	0.011	≥540	≥334	≥14	≥47
16MnR	≤0.20	0.20 ~ 0.60	1.20 ~ 1.60	≤0.045	≤0.045	≥510	343	≥21	≥58

2.材质可焊性分析

理化检测蓄热器壳体金相组织及显微硬度结果如下：

(1)金相组织 母材为铁素体+带状珠光体；焊缝为铁素体+贝氏体+索氏体；
过热区为魏氏组织铁素体+珠光体。

(2)显微硬度测定(载荷 1.96N) 母材：171~175Hm；焊缝：192~195Hm；过热区：210~216Hm。

由此表明，蓄热器壳体母材 SPV36 组织及力学性能无明显变化，与 16MnR 焊接性较好，但延伸率和冲击值均比 16MnR 低。另外，因塔壁较厚(24mm)，塔体高大，焊接中散热很快，所以焊接过程必须采取预热和控制层间温度的工艺措施，以防止裂纹。

3.预热温度的确定 [1]

按照低合金钢预热温度的计算公式可初步确定焊前预热温度 T_d(℃)：

$$T_d = -214 + 324P_{cm} + 17.7 [H] + 0.14\sigma_b + 4.73h$$

式 中 P_{cm} —— 化 学 成 分 冷 裂 敏 感 指 数 ， 对 于 SPV36 钢 ，
 $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B = 0.247$ ；

[H]——熔敷金属扩散氢含量，[H] = 4mL/100g；

h——材料厚度，mm。

将数据代入公式得：SPV36 钢 T_d=125.9℃。考虑现场施工环境温度(20~25℃)及施工条件等因素影响，取预热温度为 150℃，相应的层间温度也控制在 150℃左右。

4.挖补区域的确定

蓄热器过渡段下部筒体衬里用爆破法拆除，器壁喷砂打磨后 100%着色检查。根据理化检测结果及裂纹修复原则，确定挖补部位如图 1 所示(图中黑粗短线即为挖补焊接修复部位)。对其它部位的单个裂纹进行修磨补焊。

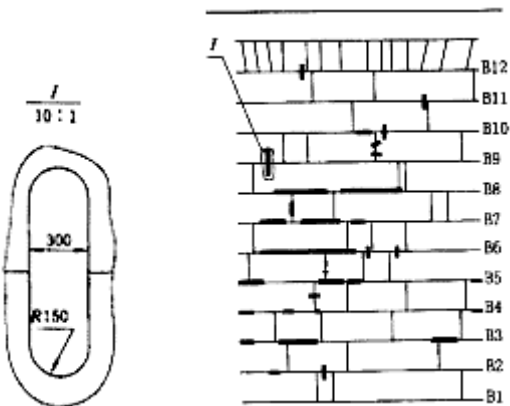


图 1 裂纹挖补部位示意图

根据蓄热器设计参数，利用压力容器计算软件，求得在风力、地震对塔作用下，蓄热器器壁最大挖补长度不得超过 3500mm。为了在现场实际挖补时防止蓄热器垂直度产生偏差及组对方便，控制挖补长度不得超过 3000mm [2]。补板为宽 300mm、两端半径为 150mm 的长条状，以利于焊接时应力均匀分布，减小应力集中。

焊接

1.接头及坡口形式的选择

在焊接 SPV36 与 16MnR 接头时，为能充分焊透，使母材的稀释作用最小，同时有利于气渣联合保护，使焊道不夹渣，减少热量输入，必须严格控制坡口组对间隙，以减少焊缝的根部裂纹。图 2 为两种接头及坡口形式。坡口在现场采用气割加工，并用砂轮修磨成图中所示形状。

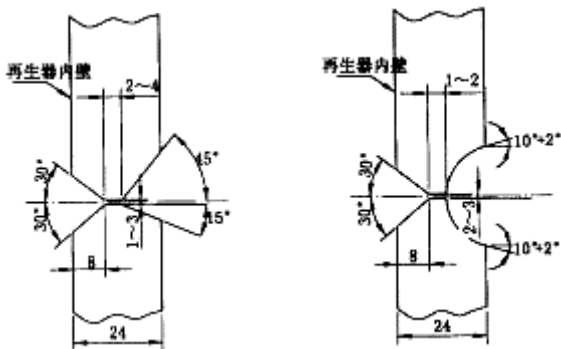


图 2 焊接接头及坡口形式

2.焊前准备

焊接表面的污垢、漆皮、水锈等都必须清除干净，用砂轮打磨，直至露出金属光泽，以防焊接过程中产生缺陷。对于 SPV36、16MnR 的焊接，选用国产 J507(E5015)焊条，根据工艺评定，其结果完全符合要求。焊前焊条以 350℃恒温 2 小时进行烘干，放于保温筒内随用随取。现场按蓄热器过渡段下部筒体卷制两段筒节，用样板对挖补部位的弧和长度进行测量，接口处错边量控制小于 3mm，且禁止强行组焊，以减小焊接应力。

3.焊接工艺参数的选择

SPV36、16MnR 属于高强度低合金钢，由于塔壁较厚 [3]，应当注意其线能量不宜过大，太大的线能量将会造成焊缝金属冷却速度过慢，接头的过热区增宽，使晶粒粗化，影响塑性；但也不能过小，太小的线能量将使接头从 800℃降至 500℃时的冷却速度加快，可能形成淬硬组织而产生冷裂现象。根据以往的试验和工艺评定，低合金钢的线能量控制在 10~35kJ/cm，能获

得满意的综合性能。所选用的焊接参数见表 2。

表 2 焊接工艺参数

焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	线能量 (kJ/cm)
3.2	120~140	22~24	6~10	20.2~26.4
4.0	140~180	26~28	8~12	25.2~27.3

4.手工电弧焊焊接工艺及要求

手工电弧焊采用直流反接。

组对点焊时，严格控制坡口间隙为 1.5~2mm。若个别部位间隙超标，可采取坡口表面堆焊方法减小组对间隙，从而防止由于焊接应力作用使根部产生裂纹的倾向。

焊接时，根据现场条件，在器壁外侧打底焊后，从内侧清根，焊满内侧后再焊外侧至母材表面平齐。焊接过程中，层间必须用砂轮修磨，以防夹渣。若挖补板条较长，焊接时应由两名焊工对称施焊，以减小焊接变形。

另外，采取窄直焊道不作横向摆动，焊条与工件的夹角最好保持在 70°左右。同时，应用退火焊道法，以降低焊后残余应力。

5.焊后检验

焊缝无损探伤执行 JB4730—94 标准。本次蓄热器裂纹修复共挖补 22 块板条，焊缝总长 84.6m。经检查所有焊缝外观成形和焊缝两侧均熔合良好；焊缝外的引弧伤疤、飞溅物均用砂轮修磨除掉；焊缝表面、根部进行着色检查无裂纹；焊缝进行 100%超声波探伤，符合 JB4730—94 标准的要求，I 级合格。

振动时效消除焊后残余应力

从控制应力腐蚀开裂的要求出发，焊后焊缝必须进行消除应力处理。但由于蓄热器设备重，体积大，修复处直径为 5200mm，壁厚为 24mm，焊缝热处理量大，焊后如果进行常规热处理，即采取缠绕电热带方法消除残余应力，很难在有限工期内完成任务。为此，采用振动时效工艺消除焊后残余应力，这种方法工序安排灵活，操作简单。

根据蓄热器实际情况，现场采取多点振动，即主振加大激振力、附振减小激振力、延长振动时间的方法，进行振动处理。

振动后，采用直接测应力的方法，在塔壁测试焊缝振前、振后的残余应力。结果平均降低 50%，收到了比较理想的消除残余应力的效果，而且大大缩短了检修工期，取得了显著经济效益。

结 论

(1)控制组对间隙，选择正确的焊前预热温度，焊接过程中严格按工艺参数及技术规范施工，是蓄热器裂纹修复获得成功的关键。

(2)选取合适的挖补长度和合理的挖补形状是蓄热器裂纹修复安全施工的保障。

(3)对于大型设备采用振动时效新工艺消除焊后残余应力，不仅可以获得满意效果，而且大大缩短检修工期。

(4)采用上述合理的修复工艺及技术，使装置提前开工运行 6 天，创造了可观的经济效益。

作者简介：张勇,助理工程师,生于 1972 年 1996 年毕业于沈阳工业大学金属材料工程系焊接专业,现从事炼油装置改造和制造方面的焊接方案及工艺的编制工作.

参考文献

[1] 沈学明.丙烯分馏塔管口改造的焊接及热处理.焊接, 1998(5): 19~21

- [2] 田锡唐.焊接结构.北京：机械工业出版社，1991：页码不详
- [3] 周振丰，张文钺.焊接冶金与金属焊接性.北京：机械工业出版社，