

锅炉有缝电阻焊管制造工艺

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司) 刘淑珍 朱 洪 程万波 樊险峰

摘 要: 介绍了国产有缝电阻焊锅炉管的组织性能、制造工艺以及运行实践。

关 键 词: 电阻焊; 锅炉管; 制造工艺

中图分类号: TK226⁺.2

文献标识码: B

1 前言

锅炉的主要部件(锅筒、集箱、受热面蛇形管、水冷壁等)工作时承受着水或蒸汽的高温、高压,因此要求锅炉用钢管必须具有良好的热强性、组织稳定性、抗腐蚀性和抗氧化性,同时还应具有较好的加工性能,所以国内的锅炉尤其是电站锅炉,锅炉用钢管一直采用无缝钢管。但是由于无缝钢管制造工艺复杂,生产成本较高,因此从本世纪 70 年代开始,日本新日铁公司和富士钢铁公司开始开发研制锅炉用电阻焊接(ERW)管,而且从 1968 年开始,电阻焊锅炉管已开始用于蒸汽动力锅炉,钢的等级从低碳钢、中碳钢、碳锰钢直到 1Cr-1/2Mo 合金钢,管子的品种、系列也种类繁多,利用先进的设备和丰富的制造经验,日本钢厂已开发出高质量的电阻焊管取代无缝钢管,用于大容量蒸汽电站锅炉。

从 1990 年开始,哈尔滨钢管厂,钢铁研究总院和哈尔滨锅炉厂有限责任公司开展了对锅炉用电阻焊管的联合研制,成功地研制出 $\Phi 51 \times 3$ 的电阻焊管,并应用于工业锅炉中。

2 锅炉用电阻焊管

2.1 电阻焊管的制造工艺流程

原材料检验→开卷、矫平→刨边→成型→焊接→清除内外毛刺→定径→涡流探伤→初检→热处理→校直→水压试验→涡流探伤→性能检验→尺寸和目视检查→标记→包装。

2.2 化学成分

表 1 国产电阻焊管化学成分

| 材料 | 化 学 成 分 | | | | | 国家标准 |
|-----|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | C | Si | Mn | P | S | |
| 20 | 0.17 | 0.28 | 0.56 | 0.013 | 0.030 | GB3087-82 |
| 标准值 | 0.17~0.24 | 0.17~0.37 | 0.35~0.65 | ≤0.035 | ≤0.035 | |

2.3 机械性能

表 2 国产电阻焊管机械性能

| 项目 | 抗拉强度 σ_b /MPa | 屈服点 σ_s /MPa | 延伸率 $\sigma/\%$ |
|--------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| 母材 | 440~458 | 301~322 | 30~33.5 |
| 焊缝 | 436~467 | 304~326 | 29~32 |
| GB3087-82 标准 | 392~588 | ≥245 | ≥20 |

2.4 爆破试验

表 3 爆破试验结果

| 试验温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 抗拉强度/MPa | 爆破压力/MPa | 破口位置 | 破口形貌 |
|--------------------------|----------|----------|------|------|
| 常温 | 430 | 438 | 母材 | 塑性纵裂 |
| 250 | 445 | 488 | 母材 | 塑性纵裂 |
| 350 | 443 | 488 | 母材 | 塑性纵裂 |

3 国产电阻焊管综合工艺性能

3.1 弯管试验

试验过程中,根据焊缝在不同角度位置分别进行试验,试验包括冷弯和热弯两种方法,试验结果均符合技术条件要求。

表 4 20 号钢 $\Phi 51 \times 3$ 管子试验结果

| 弯管条件 | 弯管半径 | 焊缝位置 | 椭圆度 | 减薄量 | MT 检查 |
|------|------------------|------|-------|--------|---------------|
| 冷弯 | 180 弯头 $R=130$ | | 7.55% | 13.33% | 焊缝外表面磁粉检查全部合格 |
| 冷弯 | 180 弯头 $R=130$ | | 5.1% | | |
| 冷弯 | 180 弯头 $R=100$ | | 8.92% | | |
| 冷弯 | 180 弯头 $R=100$ | | 6.98% | | |
| 冷弯 | 180 弯头 $R=100$ | | 6.67% | | |
| 热弯 | 180 弯头 $R=76.5$ | | 2.16% | | |
| 热弯 | 180 弯头 $R=76.5$ | | 1.0% | 10% | |
| 热弯 | 180 弯头 $R=76.5$ | | 2.5% | | |
| 热弯 | 180 弯头 $R=90.75$ | | 1.57% | 6.67% | |

试验过程中,抽取 9 个冷弯弯头和 10 个热弯弯头进行水压试验,其中冷弯弯头水压试验压力为 15 MPa,热弯弯头水压试验压力为 18 MPa,水压试验结

收稿日期: 1998-12-22; 修订日期: 1999-03-09

作者简介: 刘淑珍(1960-),女,山东宁津人,哈尔滨锅炉厂有限责任公司工艺处工程师,现从事锅炉受热面蛇形管制造工艺工作。通讯处:

果,无一泄漏,全部合格。

3.2 缩口试验

表 5 缩口工艺数据

| 序号 | 缩口前 外径 | 缩口后 外径 | 缩口段 长度 | 缩口前 壁厚 | 缩口后 壁厚 | 同心度 | 备 注 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|---------|
| 1 | Φ51 | Φ37.66 | 46 | 3.0 | 3.3 | 0.5 | 由 Φ51×3 |
| 2 | Φ51 | Φ37.66 | 74.5 | 3.0 | 3.2 | 0.5 | 3 缩口至 |
| 3 | Φ51 | Φ37.60 | 50 | 3.0 | 3.5 | 0.5 | Φ38×3 |
| 4 | Φ51 | Φ41.5 | 72.5 | 3.0 | 3.5 | 0 | 由 Φ51×3 |
| 5 | Φ51 | Φ41.68 | 71 | 3.0 | 3.78 | 0 | 3 缩口至 |
| 6 | Φ51 | Φ41.7 | 50 | 3.0 | 3.8 | 0 | Φ42×3 |

管子由 Φ51×3 缩口至 Φ38×3

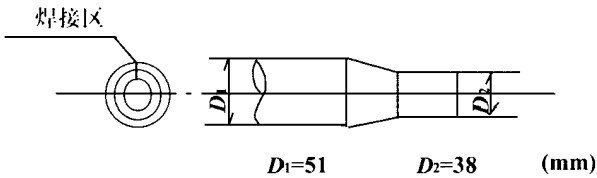


图 1 缩口 试验样品

3.3 管子对接摩擦焊

电阻焊锅炉管采用哈锅经济器自动线上的摩擦焊机进行试验,焊接试验结果见表 6,其中 1 号试样含管子纵缝,2 号试样不含管子纵缝。

表 6 管子对接摩擦焊试验结果

| 试样 | 1 号试样 | | 2 号试样 | |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 抗拉强度 σ_b /MPa | 475 | 510 | 断于焊口外 | 471 484 断于焊口外 |
| 弯曲 ($d = 3a$) | 面弯 90° | 背弯 90° | 面弯 90° | 背弯 90° |
| 微观组织 | 焊缝 热影响区 | | 母材 | |
| 接头硬度 (Hv10) | 180 181 | 154 154.2 | 134 136 | |

3.4 管子自动 MIG 焊

MIG 焊即熔化极气体保护焊,其焊机是由日本引进的,对于 Φ51×3 的管子只焊一层,焊丝用 Φ0.8 mm、H08 Mn2Si。1 号试样含十字接头,2 号试样不含管子纵缝。

表 7 自动 MIG 焊接头检验结果

| 试样 | 1 号试样 | | 2 号试样 | |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 抗拉强度 σ_b /MPa | 458 | 482 | 断于焊口外 | 422 460 断于焊口外 |
| 弯曲 ($d = 3a$) | 面弯 90° | 背弯 90° | 面弯 90° | 背弯 90° |
| 微观组织 | 焊缝 热影响区 | | 母材 | |
| 各区硬度 (Hv10) | 99.4 | 101.3 | 130.2 131.1 | 135.4 |

3.5 管子与扁钢自动混合气体保护焊

设备采用我公司自制的 MAG 焊机。

表 8 混合气体保护焊角焊缝检验结果

| 试样 | 1 号试样 | | | 2 号试样 | | |
|----------------------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|-----------|
| 抗拉强度 σ_b /MPa | 323 | 268 | 断于焊趾处 | 339 | 269 | 断于焊趾处 |
| 背弯 | 90° 90° | | | 90° 90° | | |
| 宏观检查 | 5 个均未发现缺陷 | | | 5 个均未发现缺陷 | | |
| 微观组织 | 焊缝 | 热影响区 | 母材 | 焊缝 | 热影响区 | 母材 |
| 各区硬度 (Hv10) | 贝氏体 + 铁素体 | 魏氏组织 + 铁素体 + 珠光体 | 铁素体 + 珠光体 | 贝氏体 + 铁素体 | 魏氏组织 + 铁素体 + 珠光体 | 铁素体 + 珠光体 |
| | 233 | 151 | 107 | 156 | 253 | 162 |

3.6 小结

3.6.1 从冷作工艺试验结果看,电阻焊接锅炉管对冷、热弯管试验,不论焊缝位于何种位置,均弯制成型良好,且无裂纹产生,各项工艺性能指标均可达到《锅规》要求。对冷缩口试验,不论是一次缩口,还是二次缩口,各项工艺性能指标均可达到美国 CE 公司的公差要求,焊缝处无裂纹产生。电阻焊锅炉管完全能够满足锅炉制造工艺的要求。

3.6.2 有缝管对接焊接头拉力试验,不论是包括

管子纵缝的接头试样,还是不包含管子纵缝的接头试样,抗拉强度 σ_b 均大于 20G 钢管 σ_b 标准最小值 412 MPa。接头弯曲角度,不论是否包含管子纵缝,均能弯至 90° ,完全符合蒸汽锅炉安全技术监察规程。从接头各区硬度值也可以得到证明。

3.6.3 接头微观组织均为正常组织。更重要的是管子纵缝经过管子对接或角接重熔后,已经看不出有管子纵缝的痕迹,其部位的微观组织已经与无纵缝处的接头组织完全一致。

3.6.4 管子与扁钢角焊缝横向拉伸试验由于加工问题未达到预期结果,但有一点可以肯定,不论管子纵缝处于什么位置,都是一样的。

经过 5 种冷作工艺试验,8 种焊接方法及 3 种接头型式的焊接工艺试验,结果证明:国产电阻焊管经过冷作和焊接后,各项性能指标均能满足锅炉制造工艺要求,焊缝能够经受住考验,在使用上可与无缝钢管等同。

4 电阻焊锅炉管的运行实践

4.1 根据日本新日铁公司的一份关于电阻焊锅炉管跟踪调查报告显示,用于 375 MW 控制循环锅炉墙式蒸发器的电阻焊管,管子材质相当于 ASME AS178 GradeC,该锅炉于 1977 年 11 月投入运行。这些试验调查是在运行大约一年(8856 小时)和大约三年(26 376 小时)的时间进行的。从这份报告的调查结果来看,经过一年和三年运行的管子材料未使用的材料相比没有改变。锅炉运行效果很好,因为从运行初期就已经证明电阻焊锅炉管完全能够满足工作需要。

4.2 采用电阻焊管的锅炉的主要特性类型:控制循环锅炉

容量:375 MW

蒸发量:1180 t/h

过热器出口压力:

$$P_{\max} = 19.7 \text{ MPa} \quad P_{\text{工作}} = 17.6 \text{ MPa}$$

再热器出口压力:

$$P_{\max} = 4.4 \text{ MPa} \quad P_{\text{工作}} = 3.49 \text{ MPa}$$

过热器出口温度: $T = 569 \text{ }^{\circ}\text{C}$

再热器出口温度: $T = 541 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.3 试样性能

取样位置:燃烧器上方左侧管屏的中部

设计材质:

JISG3461 STB42E-G(相当于 SA178C)

管子规格: $\Phi 45 \times 5.0$

化学成分:

| C | Si | Mn | P | S | Cu |
|-------------|-------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
| ≤ 0.32 | ≤ 0.35 | $0.30 \sim 0.80$ | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | ≤ 0.20 |

机械性能:抗拉强度 $\sigma_b \geq 411.9 \text{ MPa}$

屈服强度 $\sigma_s \geq 254.9 \text{ MPa}$

延伸率 $\delta \geq 25\%$

从上述结果可以肯定,采用三菱重工特殊技术制造和检验的电阻焊锅炉管,在质量上和可靠性方面相当于或优于无缝冷拔锅炉管。

4.4 国产电阻焊锅炉管运行实践

哈尔滨钢管厂生产的 $\Phi 51 \times 3$ 20 号钢低、中压锅炉用电阻焊钢管,在哈尔滨木器厂 SZD10-13 双锅筒纵置式蒸汽锅炉水冷壁上装上两根长 1.5 m 的有缝管试验,一年后进行试验分析,结论如下:

(1)运行一年后电阻焊有缝管内外表面无明显氧化、腐蚀。

(2)运行后,焊缝组织和母材性能无异常。

(3)国产电阻焊有缝管完全可以用于低、中压锅炉。

5 经济效益分析

由于焊接锅炉管具有壁厚偏差小、尺寸精度高、内外表面质量好,生产效率高,价格比无缝管低 10%~15% 等许多优点,具有很大的经济效益和社会效益。

锅炉制造厂家在生产中如采用电阻焊有缝钢管来替代无缝管可节约费用 10%,如按每吨节约 500 元计算,每年 2 万吨用料可节约 1000 万元,经济效益非常可观。因此在大容量锅炉和工业锅炉上逐步采用有缝管代替无缝管,随着电阻焊锅炉管制造和检验水平的不断提高,必将成为今后锅炉制造中的一个发展趋势。

(何静芳 编辑)

(上接 32 页)

5 结论

掌握凝结水的含氧量对于考核现有冷凝器的热力性能和设计建造新型冷凝器,改善除氧结构等都是最基本和最重要的,通过本次试验,进一步证实水中氧分析系统是监测冷凝器凝结水含氧量的一种行之有效的方法,它不仅测量方法先进、合理;测试过程简便、易行;测试结构准确、可靠,而且还能真实地反映机组在整个运行过程中的动态变化情况,便于及时发现问题,及时采取措施予以解决。它的应用

范围不仅仅局限在舰船蒸汽动力装置上,在许多大、中、小型电站凝水系统上,水中氧分析系统也同样具备较乐观的应用前景。如能将其与以微机为主体的数据采集系统结合起来,那么系统的处理速度、精度将会进一步提高,整个测试系统将更趋完善,而这一点也是我们今后工作的目标之一。

参考文献

[1] 张卓澄. 大型电站凝汽器. 机械工业出版社, 1993 年.

(何静芳 编辑)