

锅炉屏式过热器夹持管开裂原因分析及其优化措施探索

李红川

国家能源集团科学技术研究院有限公司成都分公司, 四川 成都 610000

[摘要]文中主要对锅炉屏式过热器夹持管开裂原因进行了分析研究。通过宏观、力学试验、金相显微组织观察、光谱分析、硬度检测对材质为 TP347 的夹持管进行宏观、微观分析, 用显微镜对金相组织形貌进行了分析。试验结果发现, 夹持管母材内壁的硬度值高于外壁, 金相组织中存在脆性相的形变马氏体, 且奥氏体组织内存在滑移线, 脆性的马氏体相在应力作用下产生裂纹, 在锅炉运行中的热应力和振动产生的交变应力共同作用下, 裂纹不断发展最终发生断裂。同时提出了对夹持管结构形式进行优化改造的措施。

[关键词]屏式过热器; 夹持管; 裂纹

DOI: 10.33142/ec.v4i11.4777

中图分类号: TK2;TM6

文献标识码: A

Cause Analysis and Optimization Measures for Cracking of Clamping Tube of Boiler Platen Superheater

LI Hongchuan

Chengdu Branch of China Energy Technology Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: This paper mainly analyzes and studies the cracking causes of the clamping tube of boiler platen superheater. The clamping tube made of TP347 was analyzed macroscopically and microscopically by macro, mechanical test, metallographic microstructure observation, spectral analysis and hardness test, and the metallographic microstructure was analyzed by microscope. The test results show that the hardness value of the inner wall of the base metal of the clamping tube is higher than that of the outer wall, there is deformation martensite of brittle phase in the metallographic structure, and there is slip line in the austenitic structure. The brittle martensite phase produces cracks under the action of stress. Under the combined action of thermal stress and alternating stress generated by vibration during boiler operation, the cracks continue to develop and finally fracture. At the same time, the measures to optimize the structural form of clamping pipe are put forward.

Keywords: platen superheater; clamping tube; crackle

1 概述

某电厂 2*600MW 机组锅炉为东方锅炉(集团)有限公司 DG2028-/17.45-II5 型。锅炉为亚临界参数、自然循环、前后墙对冲燃烧方式、一次中间再热、单炉膛平衡通风、固态排渣、尾部双烟道、全钢构架的Π型汽包炉。

屏式过热器位于炉膛的上方, 为全辐射式受热面。沿炉膛宽度方向布置有 12 片, 横向节距 $S_1=1610$, 纵向节距 $S_2=53.4$ 。为减少同片管屏间的热偏差, 沿炉膛深度方向每片管屏由 4 小屏组成。每小屏由 16 根 $\Phi 44.5 \times 7$ 管子组成, 绕制成 U 形, 中间夹持管材质为 TP347H, 如图 1 所示。为保证管屏的平整度, 减少结渣, 屏式过热器管屏装有滑动块; 同时, 为了保证屏间距, 设置了汽冷定位管, 8 根汽冷定位管由屏过进口母管引出, 分别从顶棚两侧进入炉膛, 穿过每小屏的前面一根管子, 最后引入到屏过出口母管。



图 1 U 型夹持管示意图



图 2 夹持管焊接接头漏点示意图

2020年11月,该电厂2号炉屏式过热器发生泄漏,根据现场实地检查,发现A侧往B侧数第6大屏,炉前往炉后数第2小屏(以下称6-2屏)的屏式过热器夹持管B侧焊接接头开裂,B侧焊接接头(裂纹处)为原始泄漏点,如图2所示,其对应位置B侧管子被吹穿,同时屏过管屏从下向上第6~12根管子也存在吹损减薄或吹穿,如图3、4所示。



图3 管屏次生漏点示意图



图4 管屏第6~12根泄漏示意图

2 试验方法与结果

2.1 宏观检查

对屏式过热器管屏泄漏点进行宏观检查,发现第6~12根管屏均存在明显的冲刷痕迹,壁厚明显减薄,而夹持管虽然也存在局部吹损痕迹,但焊口漏点处的裂纹位于焊缝边缘与母材平齐的融合线区域,附近未见明显减薄,焊缝断截面处未见焊接缺陷。

2.2 光谱分析

使用尼通XL2800S直读式光谱仪,对屏式过热器夹持管开裂焊缝的管材及焊缝进行光谱合金元素分析,测试结果见表1。其合金元素含量均符合《火力发电厂焊接技术规程》DL/T869-2012要求,材质正常。

表1 合金元素含量对照表

项目	Cr	Ni	Mn	Nb+Ta
标准值	17.0-20.0	9.0-13.0	≤2.0	≤0.32-0.8
管材	19.02	10.34	-	0.791
焊缝	16.36	9.83	-	0.601

2.3 材料硬度试验

采用台式数显布氏硬度计,型号为HBS-3000,对夹持管开裂部位的母材、焊缝及热影响区进行硬度检测试验,其中对母材进行内外壁硬度检测,如图5所示,结果见表2,其管材硬度符合《火力发电厂金属技术监督规程》(DL/T438-2016)中钢管140~192HB要求,硬度正常,母材内壁硬度值高于外壁硬度值。焊缝及热影响区硬度符合《火力发电厂焊接技术规程》DL/T869-2012第7.3条的要求,硬度正常。

表2 测点硬度值(HB)

项目	1	2	3	4	5	平均值
母材内壁	174	176	180	173	175	175
母材外壁	142	153	142	154	148	148
焊缝	190	194	195	193	189	194
热影响区	188	192	186	190	191	189

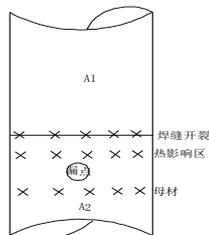


图5 硬度检测部位示意图

2.4 金相组织观察

将夹持管泄漏点附近的母材、热影响区、焊缝三个区域，通过线切割的方式取样进行金相组织分析，试样经打磨抛光后用王水溶液进行侵蚀，制成金相试样，在蔡司光学显微镜下观察其组织形貌。母材内外壁、焊缝、热影响区均为奥氏体组织形貌，老化2级，其中母材内壁组织呈粗晶状，外壁组织呈细晶状，晶粒内部存在较多的滑移线。金相图片见图6-图10所示。

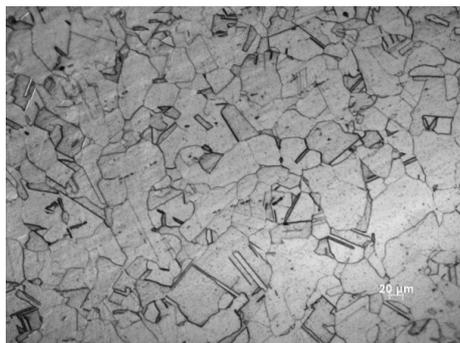


图6 母材内壁金相组织



图7 母材外壁金相组织

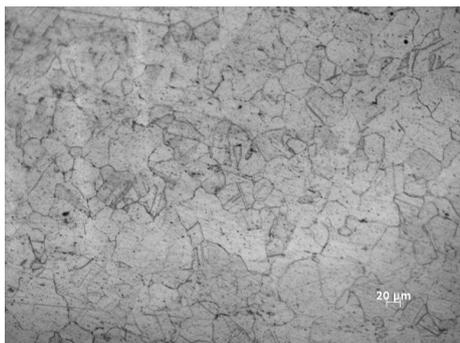


图8 母材内壁金相组织

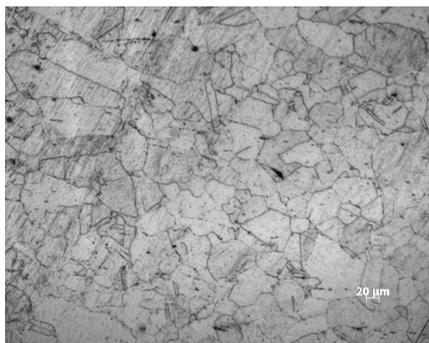


图9 母材外壁金相组织

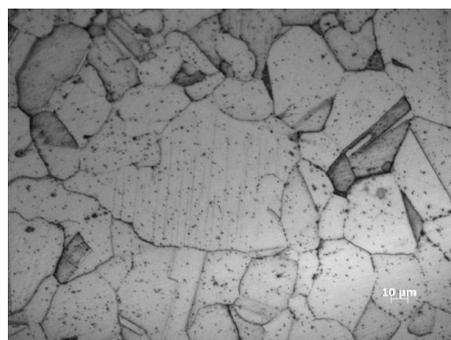


图10 微观组织中的滑移线

2.5 常温力学试验分析

取屏式过热器夹持管泄漏部位往下300mm的母材段，进行常温拉力试验分析，抗拉强度为620MPa，符合标准要求

3 夹持管断裂原因分析

- (1) 断裂夹持管化学成分分析符合《火力发电厂焊接技术规程》DL/T869-2012要求，排除管材错用的情况。
- (2) 焊缝断截面处未见焊接缺陷，可排除焊接质量原因。

(3) 所有爆口中只有夹持管焊缝上的裂纹漏点处无冲刷和无壁厚减薄，其它爆口皆有明显冲刷痕迹和壁厚减薄。因此，夹持管焊缝上的裂纹漏点处为原始泄漏点，其它爆口皆是由于原始泄漏点冲刷对面管子使其壁厚急剧减薄后不

能承受其内部介质压力而产生泄漏，同理，其它泄漏点也是这样原因发生泄漏。

(4) TP347 为亚稳奥氏体不锈钢，应是经热处理的状态下供货，组织为单一的奥氏体组织，微观组织中的滑移线以及弯头内弧表面硬度值偏高，说明失效弯头组织中存在形变马氏体，形变马氏体为脆性相，在应力作用下容易形成裂纹。而从硬度指标显示，焊缝的硬度值高于母材，当母材的内壁存在马氏体脆性相的条件下，从焊缝与母材的融合线附近开裂。

(5) 由于在锅炉运行中，夹持管会发生振动，导致夹持管收到交变应力，当交变次数超过该材料的疲劳强度的门槛值时，该管道首先就从其薄弱处开裂，而夹持管上最薄弱处为焊接接头，因此首先开裂处为焊缝。在热应力和振动产生的交变应力共同作用下，裂纹不断发展，当裂纹发展到一定深度后（裂纹降低管子的有效承载厚度），管子剩余厚度不足以承受其介质给予的压力时，裂纹处就急剧扩展，致使裂纹处最终泄漏。

4 优化及防治措施

(1) 将屏式过热器夹持管的结构形式进行优化改造，将屏过管屏“U”形夹持管形式，改为“灯泡”管结构形式，见附图 11，可有效减少屏式过热器管屏的冲击，避免不间断的振动而产生交变应力，促使裂纹的加剧扩展。

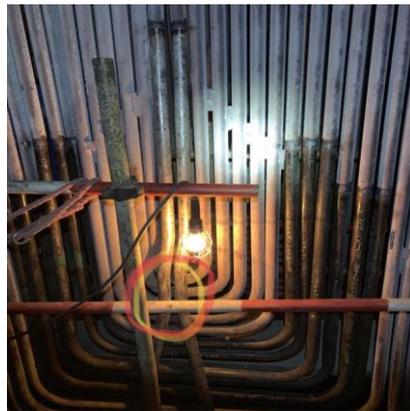


图 11 改造后夹持管“灯泡”管结构形式

(2) 由于裂纹形成是从被冲击侧内表面开始，因而利用停炉期间对未改造的“U”形中间夹持管焊接接头进行射线检测。

(3) 加强锅炉测漏设备的监视，检查是否处于正常状态运行。一发现有泄漏应及时停炉，防止受热面损伤进一步扩大。

(4) 在机组停机大修期间，对夹持管焊缝及母材取样进行金相分析和力学试验，对存在问题的管段及时更换处理。

[参考文献]

[1] 蔡文河, 严苏星. 电站重要金属部件的失效及其监督[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[2] 孙旭, 宁玉恒. 末级再热器用 TP347H 不锈钢管爆管原因分析[J]. Hot Working Technology, 2017, 12(8): 46-47.

[3] 王海琦, 车鹏程, 刘焱. 某电站锅炉后屏过 TP347H 爆管问题分析[J]. 锅炉制造, 2019, 14(4): 7-8.

[4] 张捷, 杨行炳等. 高温再热器 SA-213TP347H 钢管裂纹原因分析[J]. 失效分析与预防, 2018, 11(8): 13-14.

作者简介: 李红川(1983.11-)男, 华北电力大学, 硕士研究生, 金属材料专业, 国家能源集团科学技术研究院有限公司成都分公司, 金属专责, 工程师, 从事电站金属材料检验及失效分析。