

分隔屏过热器异种钢焊缝失效的分析

周瑞兴, 陈永波

(江苏阚山发电有限公司, 徐州, 221011)

摘要: 某 600MW 超超临界火力发电机组, 额定蒸发量 1792t/h, 额定蒸汽压力为 26.15MPa, 额定主汽温为 605℃, 过热器采用四级布置, 即低温过热器 (一级)、分隔屏过热器 (二级)、屏式过热器 (三级)、末级过热器 (四级)。分隔屏过热器共有 8 片大屏, 每片大屏又由 4 个小屏组成, 每大屏各有 60 根 $\Phi 54$ 的管子。机组在水压过程中发现分隔屏过热器异种钢接头发生开裂, 材质为 TP347HFG/12Cr1MoV。本文将通过宏观分析、金相检查、硬度检测等技术方法分析异种钢焊缝开裂失效原因及处理方法。

关键词: 分隔屏过热器, 异种钢, 焊缝, 裂纹

The analysis of the Lose Efficacy Dissimilar steel Weld Of Divisions-wall Superheater

Ruixing zhou,Jian zhu

(Jiang su Kan shan Power Generation Co., Ltd, Xuzhou 221011)

Abstract: A 600MW ultra-supercritical thermal power unit has a rated evaporation capacity of 1792t/h, a rated steam pressure of 26.15MPa, and a rated main steam temperature of 605 °C. The superheater adopts a four-stage arrangement, namely, a low-temperature superheater (stage I), a divisions-wall Superheater (stage II), a platen superheater (stage III), and a final superheater (stage IV). There are 8 large screens in total for the divisions-wall Superheater, and each large screen is composed of 4 small screens, with 60 pieces for each large screen $\Phi 54$. During the water pressure process of the unit, it was found that the dissimilar steel joint of the partition panel superheater was cracked, and the material was TP347HFG/12Cr1MoV. This paper will analyze the reasons and treatment methods of cracking failure of dissimilar steel welds through macroscopic analysis, metallographic examination, hardness testing and other technical methods.

Key words: divisions-wall Superheater, dissimilar steel, weld, crack

引言

某 600MW 超超临界火力发电机组已运行 14 年, 额定蒸发量 1792t/h, 额定蒸汽压力为 26.15MPa, 额定主汽温为 605℃, 过热器采用四级布置, 即低温过热器 (一级)、分隔屏过热器 (二级)、屏式过热器 (三级)、末级过热器 (四级)。其中分隔屏过热器共有 8 片大屏, 每片大屏又由 4 个小屏组成, 每大屏各有 60 根 $\Phi 54$ 的管子。分别采用 12Cr1MoVG (壁

厚 11mm) 和 SA213-TP347H (壁厚为 8、8.5、9mm) 材料, 而每小片屏外圈管采用 $\Phi 60$ 的管径。机组大修后, 通过水压试验发现分隔屏过热器管屏异种钢焊缝开裂, 异种钢焊缝为 TP347HFG/12Cr1MoV, 该焊口已累计运行 13 万小时, 如图 1。本文将通过宏观分析、金相检查、硬度检测等技术方法分析异种钢焊缝失效原因, 在之后运行周期内规避异种钢焊缝失效风险。



图1 异种钢开裂焊缝

1. 失效分析

1.1 宏观分析

异种钢接头开裂处内外壁形貌见图 2，开裂位于 12Cr1MoV 侧熔合线位置，由外壁向内壁扩展，开裂附近外壁存在焊宽突增情况，内壁存在成型不良、存在咬边等缺陷特征。



图2 接头内外壁形貌

1.2 金相检测

在开裂附近取管段轴向样，使用 ZEISS Observer A1m 金相显微镜对样本放大 25 倍，观察其组织形貌，开裂处放大形貌见图 3，开裂处焊缝内壁存在未熔合缺陷，未熔合深度为 1.7mm。对 12Cr1MoV 侧组织及内壁分别放大 25 倍及 100 倍，放大形貌见图 4，开裂完全沿着熔合线方向扩展，断面上存在氧化膜，靠近内外壁氧化膜厚度分别为 $72\ \mu\text{m}$ 和 $70\ \mu\text{m}$ ，热影响区及焊缝未见明显淬硬组织与微裂纹。12Cr1MoV 侧母材组织形貌见图 5，组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体，球化 2.5 级。

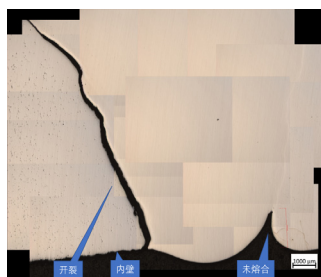


图3 开裂处放大形貌

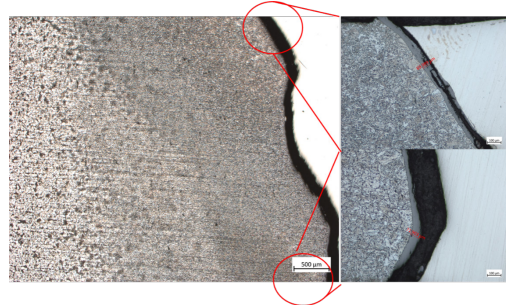


图4 12Cr1MoV侧熔合线附近（左）及内外壁（右）组织放大形貌（左：25倍 右：100倍）

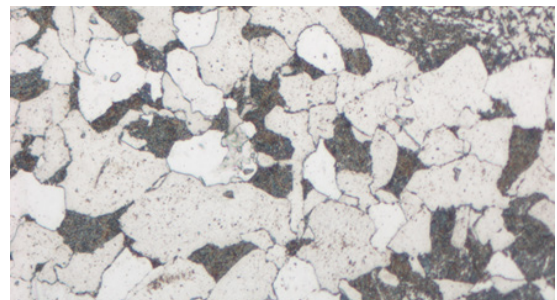


图5 12Cr1MoV侧母材组织放大形貌（500倍）

1.3 硬度检测

在图 3 所示管材使用 NEMESIS9104 万能硬度计进行小负荷维氏硬度检测，测试位置与结果见图 6。其中 1-7 为焊缝硬度，8-28 为 12Cr1MoV 侧热影响区及母材硬度，两点间间距为 0.3mm。焊缝及热影响区最高硬度为 279HV0.2，母材硬度为 200HV0.2，焊缝硬度不超过母材硬度 100HV，未见明显异常。对焊接热影响区及母材进行布氏硬度检测，母材硬度为 145HBW，焊缝热影响区硬度为 221HBW，焊缝硬度为 219HBW，焊缝硬度不超过母材 100HB，符合标准要求。

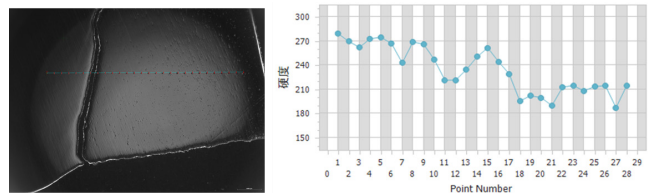


图7 焊缝硬度测试位置与结果图（左：测试位置 右：硬度结果）

2. 总结分析

2.1 焊接质量

异种钢接头存在外壁焊宽差较大、内壁焊接成形质量不佳、内壁未熔合等缺陷。根据以上分析结果，焊瘤、咬边等焊接缺陷极大的影响焊缝疲劳寿命，见图 8。

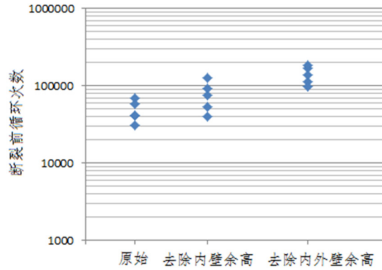


图8 焊接缺陷与疲劳寿命关系图

2.2 应力分析

电站锅炉异种钢管焊接接头应力由以下几部分组成，如图 9，工作介质内压引起的内压应力；管子自重、烟气冲刷、管屏摆动、管卡约束等轴力和弯矩产生的轴向应力；由于线胀系数差异、管子内外壁温差、轴向胀缩受限等引起的热应力；热处理不到位、强制对口等原因导致的初始安装应力。

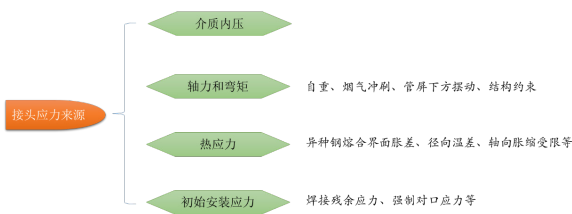


图9 接头应力

1) 内压应力由介质内压决定，长期运行时以蠕变机制对接头产生影响。

2) 轴力和弯矩产生的轴向应力计算比较复杂，但在管卡完好（管屏不散乱）时，该轴向应力水平不会超过内压引起的环向应力，叠加至内压应力后，成为应力来源之一。

3) 异种钢焊接接头中的热应力主要是因异质界面两侧线胀系数差异而引起的。不锈钢焊缝的线胀系数要高于 12Cr1MoV 钢，由于膨胀量的差异导致异质界面上产生超过 200MPa 的热应力。热应力具有自限性，即微量的塑性变形可以使得膨胀受限程度减弱，应力

不可能持续上升至使材料产生大变形或断裂的地步，因此在静载荷工况下，这种局部的热应力不会导致失效破坏。

4) 初始安装应力包括热处理不充分产生的焊接残余应力和强制对口产生的附加弯矩。此异种钢接头存在内壁未熔合与焊缝宽窄差大的情况，说明焊接质量不佳且焊接线能量较大，推断焊接残余应力较大。

3. 结论

综合分析，此异种钢焊缝失效模式为断裂，失效机制为交变应力导致的疲劳失效。此异种钢接头本身的热应力、焊接残余应力与管系应力提供了应力来源，但不是造成此次失效的主要原因。异种钢接头的焊缝存在焊缝宽窄差大、内壁成形质量不佳、未熔合等缺陷，焊接质量不佳是造成本次失效的主要原因。

4. 参考文献

[1] 余正刚，姜勇，巩建鸣，等. 不同异种钢管道焊接接头残余应力的数值模拟[J]. 焊接学报，2009，30(8):5.

[2] 李新梅，张忠文，邹勇，等. T92/Super304H 异种钢焊接接头的性能研究[J]. 材料导报，2011，25(18):3.

[3] 潘春旭. 异种钢及异种金属焊接[M]. 人民交通出版社，2000.

[4] 张心保. 电站锅炉过热管异种钢焊接性研究[D]. 太原理工大学，2002.

[5] 施雨湘，张有为. 异种钢熔合区及其氢分布的研究[J]. 焊接学报，1985(04):25-34，59-60.