

高参数大型电站锅炉集箱裂纹检验及分析

刘长禄, 钟春雷

(大连市锅炉压力容器检验研究院, 辽宁 大连 100051)

摘要: 某大型电站锅炉安装过程中, 通过磁粉探伤检测发现后烟井下集箱连接管座角焊缝发生严重裂纹。首先对集箱、管接头、焊接材料及加工工艺进行复验, 确认符合标准要求; 然后对裂纹产生处切取制样, 通过金相试验、硬度试验和电镜扫描试验对试样的微观组织形貌进行分析研究。试验结果表明: 裂纹的性质为再热裂纹。为防止此类裂纹的产生, 应对集箱焊接及焊后热处理工艺进行优化, 适当提高了焊接预热温度采用对称施焊从而提高集箱制造的合格率。

关键词: 电站锅炉; 集箱; 裂纹; 检验分析

中图分类号: TK38 文献标识码: B

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.033

引言

集箱作为电站锅炉的重要承压部件对于整个电厂的安全、稳定运行至关重要。集箱裂纹是电站锅炉中受压元件制造、安装中不允许存在的重大缺陷。本检验首先从材料和工艺方面进行复验, 主要检测手段为化学成分分析、力学性能实验、工艺资料审查及现场监督, 在确认材料和工艺符合国家相关标准的前提下, 从裂纹本身出发, 利用金相组织分析、扫描电镜及能谱分析对裂纹的微观组织形貌分析研究, 分析裂纹发生机理, 为防止此类裂纹的产生及优化改进加工工艺提供理论依据。

1 问题简介

某电厂一期工程为 $2 \times 1\,000$ MW 超临界燃煤水冷汽轮发电机组, 在 2 号机组锅炉本体安装监督检验过程中, 经磁粉探伤发现 2 号锅炉后烟井 3 个

下集箱上有 8 处接管管座发生严重裂纹, 材质均为 12Cr1MoVG。大量裂纹出现在管接头与集箱本体的角焊缝, 其裂纹均处于 $\Phi 457 \times 96.9$ mm 集箱本体侧焊缝熔合线处, 其走向沿焊缝呈周向延伸。裂纹以 $\Phi 168 \times 27$ mm 管接头占绝大多数, 个别出现在 $\Phi 100 \times 20$ mm 管接头。其中右侧下集箱 6 个 $\Phi 168$ mm 管接头均有裂纹, 且存在整周开裂; 左侧下集箱 2 个 $\Phi 168$ mm 管接头存在整圈焊缝或断续开裂。

集箱检验发现的裂纹情况如图 1 所示。

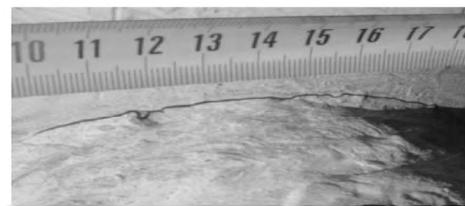


图 1 管座角焊缝裂纹照片

Fig. 1 Photo of the crack in the fillet weld seams on the tube seat

2 材料检验及裂纹取样

2.1 材料检验

集箱及管接头材质为 12Cr1MoVG 无缝钢管, 焊接材料为: SMAW 焊接方法, 选用焊条 R317; GTAW 焊接方法, 选用焊丝 H08Cr1MoVTiRe, 母材和焊接材料的化学成分如表 1 所示, 母材的力学性能如表 2 所示。

表 1 母材和焊接材料的化学成分 (wt%)

Tab. 1 Chemical constituents of the parent material and the material to be welded

材 料	C	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn	Cu
12Cr1MoVG	0.12	0.011	0.006	0.27	0.13	1.07	0.27	0.17	0.58	0.17
H08Cr1MoVTiRe	0.077	0.014	0.009	0.54	-	1.14	0.50	0.26	0.80	0.17
R317	0.080	0.018	0.012	0.361	-	1.12	0.530	0.214	0.5~2.0	-

收稿日期: 2014-05-09; 修订日期: 2014-06-09

作者简介: 刘长禄(1963-), 男, 山东宁阳人, 大连市锅炉压力容器检验研究院高级工程师。

表 2 12Cr1MoVG 钢的力学性能典型值

Tab. 2 Typical values of the mechanical performance of 12Cr1MoVG steel

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{el} /MPa	延伸率 A /%	冲击吸收功 A_{kv} (常温) /J	硬度 HV
540	385	27.5	197	159

以上材料的检验方法采用列出牌号、规格、技术条件、质量证明书号、复验编号的程序和审查质量证明书,并按国家有关标准要求核对复验。集箱本体、短管以及吊耳 12Cr1MoV 钢入厂后,经锅炉制造厂检验,其成分、组织和性能等符合 GB5310 及锅炉制造厂标准。焊接材料入厂后,经锅炉制造厂检验,其成分、组织和性能等符合 GB/T5118 及锅炉制造厂

标准。

2.2 焊接工艺及热处理工艺检验

集箱与管接头焊接工艺采用 GTAW + SMAW (GTAW 打底, SMAW 盖面) 焊接时采用平焊,焊条(丝)不摆动,控制预热温度不小于 80 °C,层间温度不大于 150 °C,GTAW 焊接时使用 99.99% Ar 作为保护气体。检验方式为资料审查及现场监督。

表 3 焊接工艺参数

Tab. 3 Welding technological parameters

气体流量 / $L \cdot \min^{-1}$	焊接 方法	焊材 牌号	焊材规格 /mm	电流 种类	电流 /A	电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	热输入量 /kJ·cm ⁻¹	钨极直径 /mm	喷嘴直径 /mm	
	GTAW(打底)	H08CR1MoVTiRe	Φ2.5	DC/SP	100	14	9	9.30	Φ2.4	Φ12.5	8~12
	SMAW(盖面)	R317	Φ4.0	DC/RP	135	22	22	8.10	-	-	-

表 4 热处理工艺参数

Tab. 4 Heat treatment process parameters

升温速度 / $^{\circ}C \cdot h^{-1}$	保温		降温速度 / $^{\circ}C \cdot h^{-1}$
	温度 / $^{\circ}C$	时间 /h	
≤300	720 - 750	5	空冷缓慢降温

观察 裂纹的截面形貌如图 3 - 图 5 所示。

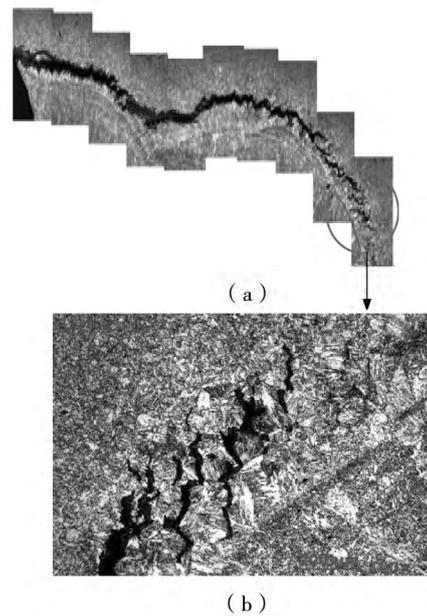


图 3 裂纹微观形貌照片

Fig. 3 Photo of the microscopic morphology of the cracks

2.3 裂纹处试样的制取

在集箱裂纹处切取一船形试块。裂纹试样采用机械方法切取,控制切取速度,防止温度过高造成原始组织状态的破坏。将切取所得含裂纹试样分别制取纵向截面金相试样,外表面金相试样和扫描电镜断口分析样。



图 2 取样照片

Fig. 2 Photo of the samples

3 取样处检验及分析

3.1 金相组织观察与分析

将所制备的裂纹金相试样在金相显微镜下进行

图 3(a) 为裂纹试样熔合区的金相组织照片,其中裂纹下部为晶粒生长方向不一致的焊缝区,中间为晶粒粗大的热影响区(HAZ)。将焊缝区和 HAZ 组织放大见图 3(b), 可以看到 HAZ 部分的晶粒粗

大且明显可以分辨出粗晶区和细晶区。裂纹由外壁向内壁延伸, 裂纹均位于热影响区的粗晶区, 裂纹尖端有众多相互平行但不贯通的沿晶裂纹, 裂纹尖端延伸至细晶区, 从金相照片观察裂纹尖端止于细晶区。

将主裂纹尖端进一步放大, 得到如图 4 所示的金相照片, 可以看出裂纹所位于的区域晶粒较粗大。

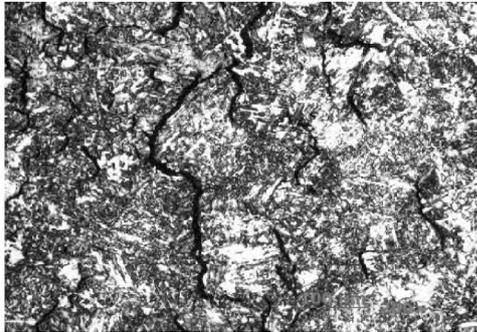


图 4 主裂纹尖端沿晶断裂形貌照片
Fig. 4 Photo of the rupture at the sharpened end of the main crack along the crystalline grains

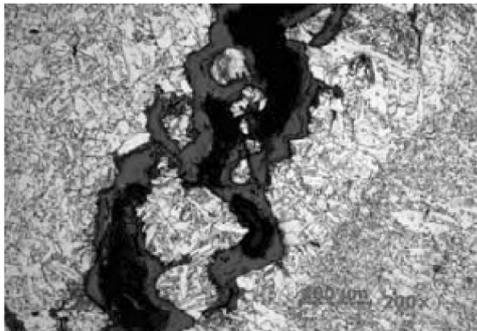


图 5 裂纹处氧化层微观形貌
Fig. 5 Microscopic morphology of the oxidization layer at the location of the crack

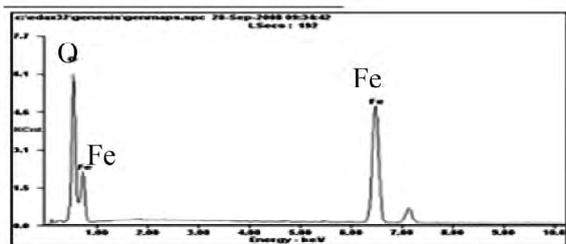


图 6 裂纹处母材成分分析图
Fig. 6 Chart for analyzing the composition of the parent material at the location of the crack

从图 5 可以看出, 裂纹内有明显的氧化物, 可以推测出该裂纹产生于高温下, 由于集箱尚未高温应用, 该裂纹所经历的高温, 只可能来自于焊接热过程或焊后热处理过程, 裂纹断面上并没有观察到晶粒凝固再结晶的特征形貌, 且该裂纹位于 HAZ 粗晶区, 因此可以判断不存在冷裂纹和热裂纹致裂现象。

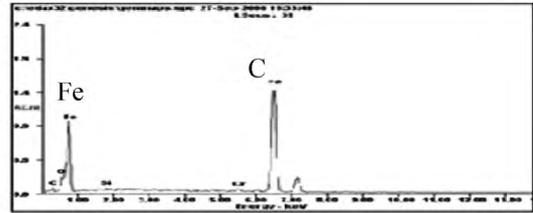


图 7 焊接处材质成分分析图
Fig. 7 Chart for analyzing the composition of the material at the location to be welded

对母材及焊接材质成分的能谱分析表明: (1) 断口及裂纹内存在氧化层; (2) 焊接处材质成分无异常。

3.2 硬度检测结果

利用 HVA-10A 显微维氏硬度仪测量试样接头断面的硬度, 从接头的熔合线开始打点, 测试区域包括焊缝、粗晶区、细晶区及母材。每个点间隔 0.5 mm, 测试时所加载荷 1 kg。为保证测试数据的准确, 试样在不同区域测 3 点, 取其平均值, 如图 8 所示。检验所得显微硬度结果如表 5 所示。

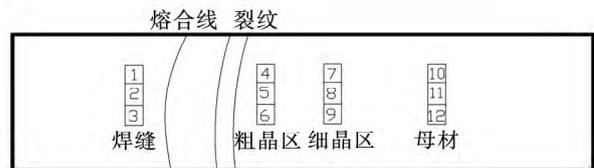


图 8 硬度试验打点示意图
Fig. 8 Schematic diagram of the dots formed during the hardness test

表 5 显微硬度测试结果

Tab. 5 Testing results of the hardness by using a microscope

部 位	维氏硬度值 HV			平均值
焊 缝	217	218	216	217
粗晶区	166	170	169	168
细晶区	179	172	181	177
母 材	172	174	170	172

(1) 角焊缝区域硬度值满足 DL/T869 - 2004 《火力发电厂焊接技术规程》相关规定,其焊缝热影响区无明显高硬度情况存在,表明裂纹的出现与焊缝中产生高脆性淬硬组织关系不大。

(2) 整个焊缝区域中粗晶区硬度最低,维氏硬度值 HV 为 168,相对于细晶区硬度值低 9,成为焊接热影响区的最薄弱环节。在应力作用下,裂纹也容易在粗晶区产生扩展。

3.3 扫描电镜微观断口分析

在扫描电子显微镜下对金相表面及断口进行形貌观察。

如图 9、图 10 所示,外层裂纹处有较厚的氧化层,金相面裂纹启裂区有氧化特征,粗晶区有串状空洞特征。

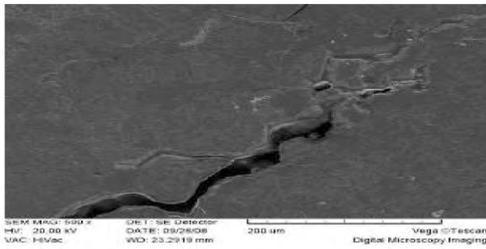


图 9 裂纹尖端 SEM 照片

Fig. 9 SEM photo of the sharpened end of the crack



图 10 靠近外壁裂纹 SEM 照片

Fig. 10 SEM photo of the crack closing to the external wall

选取裂纹样在液氮下打断,图 11、图 12 为原断口表面呈黑灰色,无断口的金属光泽,断口表面有氧化特征。

图 11 为裂纹断口成沿晶特征中部典型的冰糖块沿晶特征,伴随二次裂纹,断口后部呈沿晶断裂特征。

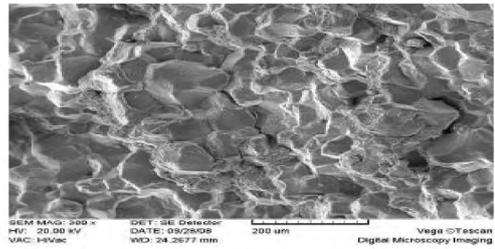


图 11 断口中部特征 SEM 照片

Fig. 11 SEM photo of the characteristics in the middle of the rupture

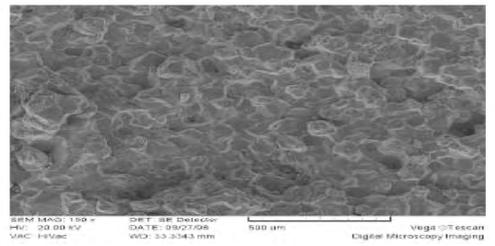


图 12 裂纹尾部特征 SEM 照片

Fig. 12 SEM photo of the characteristics at the tail portion of the crack

4 结 论

(1) 对裂纹形貌的观察发现,裂纹起裂于 HAZ 粗晶区,由粗晶区向细晶区扩展并终止于细晶区,裂纹区域可观察到宏观裂纹和微裂纹不同的缺陷形貌。宏观裂纹沿晶扩展断面上可见明显的氧化皮,微裂纹长数个晶粒尺度,边缘微呈锯齿形,沿晶界分布。根据这些形貌特征,可以判断不存在冷裂纹和热裂纹致裂现象。

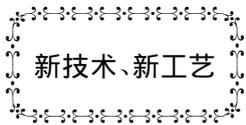
(2) 裂纹的性质为再热裂纹,该再热裂纹产生的原因:①12Cr1MoVG 材料本身具有较强的再热裂纹敏感性;②接头母材混晶组织导致塑性储备较低;③由于三通结构和焊接工艺原因使接头焊后热处理过程存在较大的残余应力。

(3) 为防止再热裂纹的产生,建议对集箱焊接及焊后热处理工艺进行优化。如适当提高预热温度,合理设计集箱管接头等零件的组装顺序,尽可能对称施焊,以降低焊接残余应力,焊接完成后及时进行消应力处理,改善焊后热处理工艺。

参考文献:

- [1] 崔风平. 中厚板生产与质量控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社 2008.
CUI Feng-ping. Medium thickness plate production and quality control [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press 2008.
- [2] 蔡文河, 严苏星. 超(超)临界机组厚壁金属部件脆性断裂敏感性分析 [J]. 发电技术, 中国电力出版社 2009(10): 1-4.
CAI Wen-he, YAN Su-xing. Sensitivity analysis of the brittle rupture in the thick wall metallic components in ultra-supercritical units [J]. Power Generation Technology, China Electric Power Press 2009(10): 1-4.
- [3] 李燕勇, 杨建刚, 董川, 张世东. 某台 600 MW 汽轮机轴承载荷分配测试与分析 [J]. 热能动力工程, 2013, 28(6): 565-566.
LI Yan-yong, YANG Jian-gang, DONG Chuan et al. Testing and analysis of the load distribution among the bearings in a 600 MW steam turbine unit [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2013, 28(6): 565-566.
- [4] Horng-Yih Liou, Yeong-Tsuen Pan, Rong-Luan et al. Effect of Alloying on Mechanical Properties and Corrosion Behaviors of 2205 Duplex Stainless Steels [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 1999, 10: 17-18.
- [5] M. GVassilaros, R. A. Hay, J. P. Gudas. Investigation of the ductile fracture properties of type 304 stainless steel plate, welds, and 4-inch pipe [J].
- [6] 杨富. 新型耐热钢焊接 [M]. 北京: 中国电力出版社 2006.
YANG Fu. Welding of novel type refractory steels [M]. Beijing: China Electric Power Press 2006.

(姜雪梅 编辑)



高温气冷反应堆核电站紧凑型热交换设备的设计和研发

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.034

美国 280 MW 的 Mojave 槽式光热电站于 12 月 1 日正式投运, Abengoa 公司开发的 Mojave 槽式光热电站正式并网实现商业化运行, 该项目位于洛杉矶东北方向 100 英里, 装机 280 MW, 净装机为 250 MW, 年发电量可满足 9 万普通家庭的日常用电需求, 年减排二氧化碳达 35 万吨。该项目采用常规的导热油槽式技术, 且未配置储热系统。此前投运的 Solana 光热电站装机也为 280 MW, 位于亚利桑那州, 储热时长达 6 h。对这两个电站的实际运行效果进行对比可为储热经济性研究提供蓝本。

(李春清 摘译)

一种新的高压加热器泄漏分析方法 = **A New Method for Analyzing Leakages From a High Pressure Heater**

[刊, 汉] CHEN Xiao-dong, MU Xiao-bo, YAO Bin (Shenhua Zhejiang Guohua Zheneng Power Generation Co. Ltd. Ningbo, China, Post Code: 315000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -297 -300

In the light of the condition that the total flow rate of the steam-driven pump of the unit No. 2 in Shenhua Zhejiang Guohua Zheneng Power Plant changes abnormally, through Optipro performance diagnosis system, a diagnosis and analysis were conducted of the performance of the high pressure heater No. 3 in the above-mentioned power plant. The leakage problem of the high pressure heater No. 2 of the unit No. 2 was judged and found out and a technical modification to equipment items with a special purpose was performed. As a result, the heater was timely isolated with the leakage being blocked, a total of eight locations being leaked being sealed and blocked and a total of forty two joints being repaired and welded. After the treatment, the unit No. 2 has been restored to its normal and good operation. To find out timely the hidden troubles in high pressure heaters can effectively guarantee a unit to be in a safe operation, thus having a major significance. **Key Words:** high pressure heater, leakage, economy

高参数大型电站锅炉集箱裂纹检验及分析 = **Inspection and Analysis of Cracks in Headers of a High Pa-**

rameter Large-sized Utility Boiler [刊, 汉] LIU Chang-lu, ZHONG Chun-lei (Dalian City Boiler and Pressure Vessel Inspection Research Institute, Dalian, China, Post Code: 100051) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -301 -305

During the installation of a large-sized utility boiler, through a magnetic powder non-destructive inspection, a serious crack was found in the fillet welding seams between the connection tubes and the tube seats on the lower header in the rear flue gas well. Firstly, a recheck was performed of the header, tube connector, welding material and manufacturing process to make sure that all met the requirements set in relevant standards, then, a sample or specimen was cut and made at the location of the crack. Through a metallurgical test, hardness test and electronic microscope scanning test, the microorganization and morphology of the sample were analyzed and studied. The test results show that the crack pertains to a reheat-caused one. To avoid reoccurrence of this kind of cracks, the welding and after-welding heat treatment process of headers should be optimized, thus enhancing the eligibility rate of headers thus manufactured. **Key Words:** utility boiler, header, crack, inspection and analysis