

医疗废物焚烧装置中锅炉管爆裂分析

张亚明¹,董爱华¹,夏邦杰¹,李雄勇²

1. 中国科学院金属研究所 分析测试部,沈阳 110016; 2. 沈阳环境科学研究院,沈阳 110016

摘要:对医疗废物焚烧装置中使用不到1年而爆裂的304锅炉管进行了宏观形貌、金相组织、断口形貌及腐蚀产物的分析.结果表明,炉管爆裂属应力腐蚀开裂.造成炉管应力腐蚀的内因为304不锈钢是对氯化物、硫化物等相当敏感的材料;外因为医疗废物焚烧时产生的高温烟气中所含氯化物、硫化物腐蚀和来自炉管的工作应力与加工应力;并提出了相应的改进建议.

关键词:医疗废物;焚烧;304 不锈钢;炉管;应力腐蚀开裂

中图分类号:TG172.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6495(2007)05-0387-04

ANALYSIS OF BURST DAMAGE OF BOILER TUBE FOR A MEDICAL WASTE INCINERATOR

ZHANG Ya-ming¹, DONG Ai-hua¹, XIA Bang-jie¹, LI Xiong-yong²

1. Analyses and Testing Division, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016;

2. Shenyang Institute of Environmental Science, Shenyang 110016

Abstract: The failure analysis of a 304 stainless steel boiler tube used in a medical waste incinerator for less than one year was conducted by using optical microscope and scanning electron microscope (SEM). The results showed that the cracking of the boiler tube was caused by stress corrosion cracking (SCC). The cracking was induced by hot gas containing chlorides and sulfide when burning medical waste. The working stress and residual stress may play a dominant role whilst 304 stainless steel is susceptible to chlorides and sulfide. In the paper several prevention methods were also proposed.

Keywords: medical waste; incineration; 304 stainless steel; boiler tube; SCC

某环保部门的医疗废物处理装置中的余热蒸汽锅炉,在使用不到一年的时间内发生了炉管多处爆裂事故,炉管爆裂位置分布在锅炉的底部,即炉管与医疗废物焚烧后产生的灰渣相接触的部位.该锅炉的作用是将经一、二段炉焚烧医疗废物后所产生的高温烟气,在进入烟气净化系统前进行冷却降温.该锅炉的炉体由耐火材料构成,换热管为304不锈钢管(直径52mm、壁厚3.5mm).焚烧使用的助燃剂为轻质柴油;焚烧产生的高温烟气进入余热蒸汽锅炉时的温度为850℃~900℃,出去时的温度为400℃~450℃;烟气中含有HCl、CO、CO₂、H₂O、SO_x少、NO_x少、CmHn(不完全)等,与炉中换热管的外壁直接接触;炉管的入口通入温度20℃的水,换热后变为169℃的蒸汽排出;管内的压力为0.4MPa.

为分析炉管爆裂的原因,对炉管进行宏观形貌、化学成分、金相组织、腐蚀状况及裂纹、断口进行检验分析,找出其爆裂失效的原因,采取有效措施防止此类事故的再次发生.

收稿日期:2007-02-03 初稿;2007-04-16 修改稿

作者简介:张亚明(1957-),男,学士,高级实验师,从事金相及失效分析.

Tel:024-23915913 E-mail:zhangym@imr.an.cn

1 检验与分析

1.1 宏观与低倍分析

爆裂炉管实物为两个,其宏观形貌如图1、2所示.炉管爆裂处有粗大裂纹,裂纹扩展的前端呈树枝状;爆口处没有明显的塑性变形;在爆裂炉管外壁表面有大量的腐蚀坑和网状裂纹(纵向裂纹为主).在炉管的断裂处,断口呈粗糙状,管

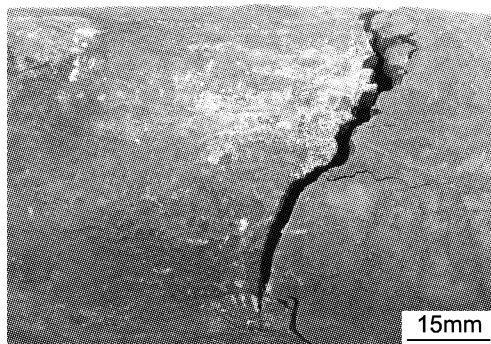


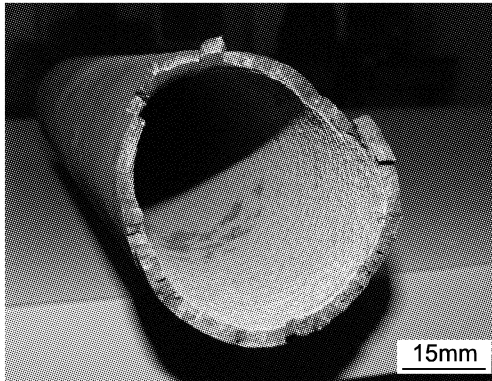
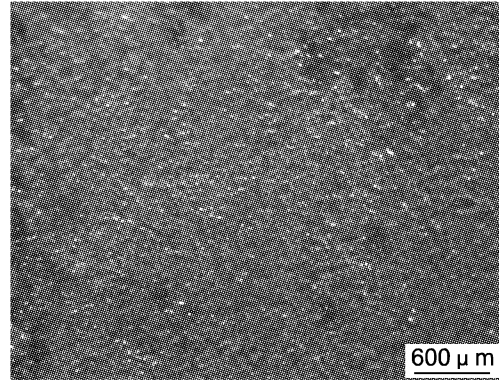
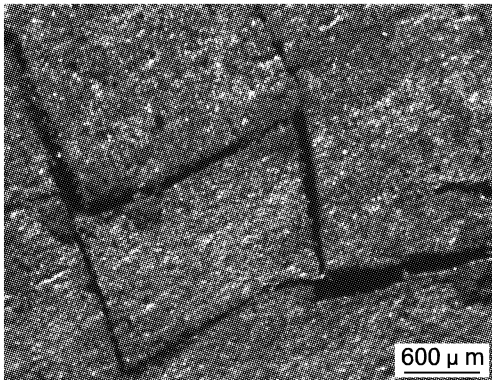
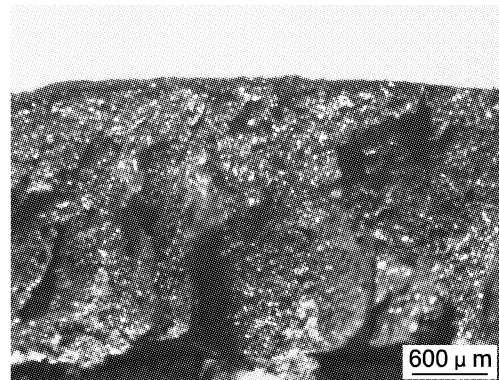
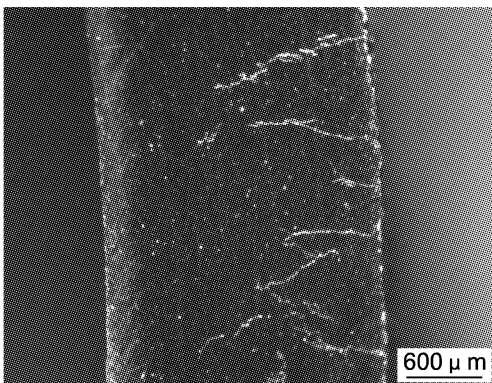
Fig. 1 Cracked tube in steam boiler(A)

Table 1 Chemical composition of boiler tube(mass%)

elements	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
content	0.04	0.50	1.62	0.037	0.016	7.61	16.50

Table 2 Noninal composition of 304 stainless steel(mass%)^[1]

elements	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
content	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00

**Fig. 2** Cracked tube in steam boiler(B)**Fig. 3** Inter surface of cracked steam boiler tube**Fig. 4** Flaws on surface of cracked steam boiler tube**Fig. 5** Fracture of cracked steam boiler tube**Fig. 6** Cross section of cracked steam boiler tube

壁没有减薄,炉管的外壁有大量网状裂纹(纵向裂纹为主)和棕红色产物;炉管内壁布满棕黄色的产物。

在放大 40 倍的体视显微镜下观察,管子的内壁未见明

显的裂纹(去掉沉积物后)(图 3),管子的外壁则有着大量裂纹(图 4)。断口为脆性断口,见图 5。裂纹产生于管子的外壁,并向内扩展,见图 6。

1.2 炉管材质分析

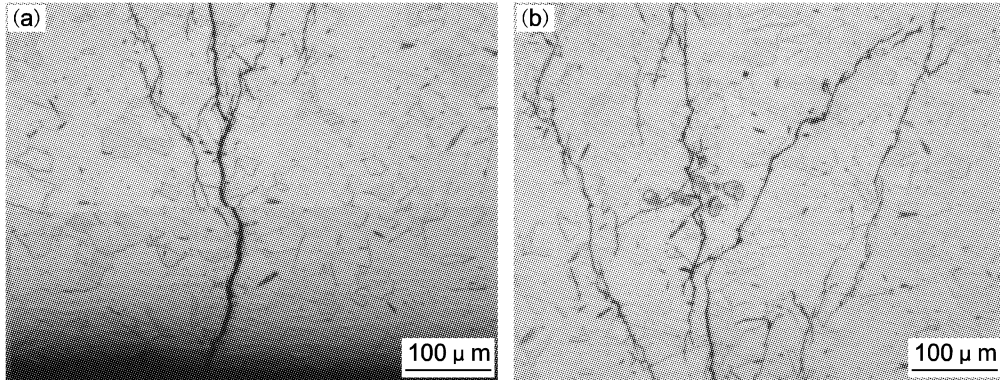
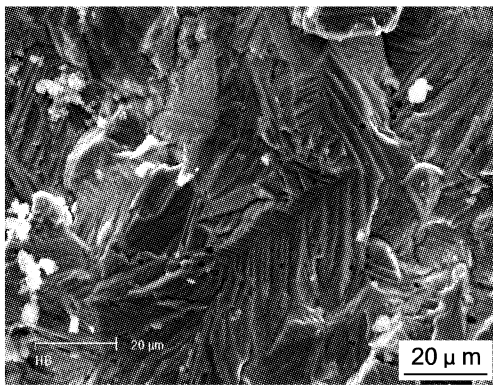
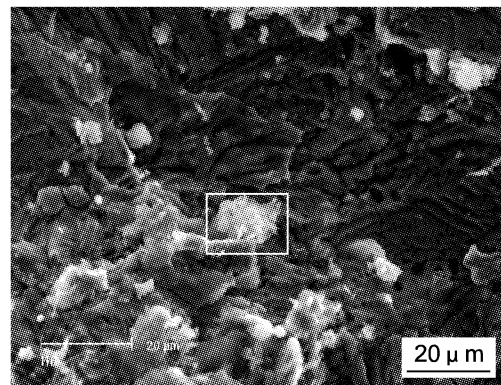
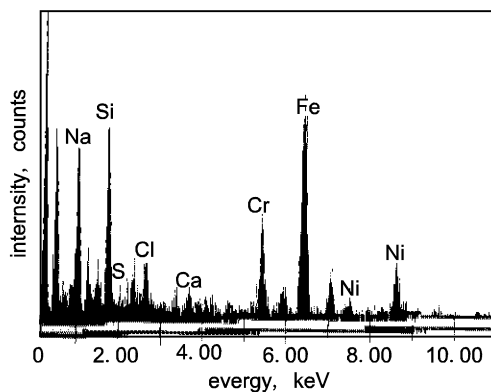
在炉管上切取块状样品,依据 GB/T 16597 - 1996 等标准,使用荧光光谱仪等,对其材质进行化学成分分析,分析结果如表 1 所示;表 2 是 304 不锈钢的标准化学成分。比较两表可见,该锅炉管材质中的 Ni、Cr 合金元素的含量明显低于 304 不锈钢的标准化学成分所要求的 Ni、Cr 合金元素含量下限的值,其作为 304 不锈钢是不合格的。会在一定程度上影响该炉管的耐蚀性能。

1.3 炉管金相分析

在炉管上取金相样品,经预磨抛光后,用 10% 草酸水溶液电解腐蚀,观察其组织,结果如图 7 所示。图 7a 为裂纹源,即靠炉管外壁侧,图 7b 是图 7a 裂纹进一步扩展的形貌,即靠近炉管内壁侧。从图 7 中可见,裂纹从炉管外壁产生并向

Table 3 Element analysis result of fractured surface as shown in fig. 9 by EDAX(mass%)

elements	Na	Si	S	Cl	Ca	Cr	Fe	Ni
content	27.51	16.52	2.30	4.17	1.54	9.70	35.45	2.81

**Fig. 7** Metallograph of failed boiler tube (a) at the head of crack on the tube surface; (b) at the tail of crack on the tube surface**Fig. 8** Morphology of fractured surface of cracked steam boiler tube by SEM (a feather-like pattern)**Fig. 9** Morphology of fractured surface of cracked steam boiler tube by SEM**Fig. 10** EDAX pattern of the site showed in Fig. 9

内穿晶扩展,呈树枝状;裂纹的形貌具有 Cr-Ni 奥氏体不锈钢应力腐蚀的典型特征。

1.4 断口扫描电镜分析

扫描电镜断口观察发现,断口为 Cr-Ni 奥氏体不锈钢应力腐蚀常见的微观断口形貌:羽毛状花样,见图 8。通过对断

口上一些区域的元素成分能谱分析(图 9 中白框区域),确认在炉管的断口上,检测到很高含量的 Cl、S 等腐蚀性元素,其结果如图 9、10 所示。表 3 是元素成分能谱分析的结果,Cl、S 的含量高达 41700 和 23000 $\mu\text{L/L}$ 。

1.6 炉管爆裂原因分析

众所周知,不锈钢产生应力腐蚀的基本条件有三:即特定成分组织的金属、特定的环境和足够大的拉应力^[2]。304 不锈钢相当于我国的 0Cr18Ni9 不锈钢。在固溶态,钢的塑性、韧性、冷加工性均良好,在氧化性酸和大气、水、蒸汽等介质中耐蚀性亦佳。但应避免在应力腐蚀、孔蚀和缝隙腐蚀的条件下使用^[3]。文献^[2]中对 Cr-Ni 奥氏体不锈钢管制换热设备中的交货态不锈钢管材的应力进行了详细地分析,认为这类管材受到的拉应力来自制造加工后的残余应力和工作应力。而能够引起 Cr-Ni 奥氏体不锈钢产生应力腐蚀的介质是很多的,主要有氯化物、氢氧化物、连多硫酸等。

爆裂炉管所用的 304 不锈钢管属于应力腐蚀的敏感材料;并且又具有产生应力腐蚀的应力条件;腐蚀介质则来自医疗废物焚烧后产生的烟气中所存在着的大量氯化物、硫化

物等^[4].

通常 Cr-Ni 奥氏体不锈钢发生应力腐蚀的温度范围是 50℃ ~ 300℃ 之间^[5]. 而且在有液 - 汽相的影响时, 同一温度下, 将 Cr-Ni 奥氏体不锈钢置于汽相中, 一般较液相中容易产生应力腐蚀断裂^[2]. 研究表明, 医疗废物焚烧烟气中所含的水分大约占 20% 左右^[6].

因此可见, 当医疗废物焚烧装置工作时, 由一段和二段炉焚烧所产生的含有大量氯化物、硫化物、水分等的烟气进入余热锅炉, 该锅炉底部温度较低, 会有一些烟气中的灰渣在此沉积, 灰渣中也含有烟气中的氯化物、硫化物、水分等. 当烟气及灰渣与炉内的 304 不锈钢炉管(该 304 钢管的成分未达标, 更降低其耐腐蚀性)接触时, 会在炉管外壁结露. 这样, 就会造成这些 304 不锈钢炉管发生应力腐蚀. 随着炉管外壁表面应力腐蚀裂纹的产生和逐渐向内扩展, 使炉管的强度大幅度地降低并脆化, 当炉管内介质的压力超过管壁强度时, 就导致炉管发生爆裂.

2 结论与建议

1. 爆裂锅炉管材质的化学分析结果表明, 该炉管材质中 Ni、Cr 两元素含量偏低, 未达到 304 不锈钢标准化学成分的下限含量; 因此作为 304 不锈钢是不合格的.

2. 扫描电镜断口观察和元素成分能谱分析结果表明, 断口为 Cr-Ni 奥氏体不锈钢应力腐蚀常见的微观断口形貌: 羽毛状花样; 在断口上, 检测到有很高含量的 Cl、S 等腐蚀性元素存在.

3. 锅炉管的腐蚀及破裂是从管的外壁开始, 向内扩展; 开裂属于 Cr-Ni 奥氏体不锈钢应力腐蚀断裂.

4. 造成锅炉管应力腐蚀的介质来自医疗废物焚烧后产生的烟气中存在着的大量氯化物、硫化物、水汽等; 应力来自锅炉管的制造加工后的残余应力和工作应力.

5. 为了防止类似事故的再次发生, 在经济条件许可的情况下, 建议使用哈氏合金^[7,8]; 也可以考虑使用 Cr-Mo 钢等合金钢.

参考文献:

- [1] 林慧园, 周人俊. 世界钢号手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985. 706.
- [2] 陆世英, 王欣增, 李丕钟, 等. 不锈钢应力腐蚀事故分析与耐应力腐蚀不锈钢[M]. 北京: 原子能出版社, 1985. 56.
- [3] 陆世英, 张廷凯, 杨长强, 等. 不锈钢[M]. 北京: 原子能出版社, 1995. 234.
- [4] 龙燕, 李勇. 医疗废物焚烧烟气污染物极其处理技术述评[J]. 有色金属设计与研究, 2006, 27(1): 28.
- [5] 冈毅民. 中国不锈钢腐蚀手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992. 204.
- [6] 赵鹏, 王华, 卿山, 等. 医疗废物焚烧试验[J]. 发电设备, 2006, 3: 214.
- [7] 陈恭珉. 哈氏合金: 解决有害垃圾处理设备腐蚀问题的最佳选择(低温腐蚀部分)[J]. 上海化工, 2005, 30(8): 51.
- [8] 陈恭珉. 哈氏合金: 解决有害垃圾处理设备腐蚀问题的最佳选择(高温腐蚀部分)[J]. 上海化工, 2005, 30(9): 51.

电镀与精饰

是电镀与精饰工作者必读刊物

——欢迎订阅

《电镀与精饰》是天津市电镀工程学会主办的电镀专业技术刊物, 创刊于 1973 年. 本刊主要介绍电镀及其它表面处理技术领域的动态、水平、发展趋势、科研成果及专题资料; 贯彻科学技术为国民经济服务、理论与实践结合、普及与提高并重的方针, 强调应用技术与探讨, 并以适当的篇幅对青年技工和初级技术人员进行辅导, 适于从事电镀与精饰工作的工程技术人员、科学工作者、高等院校师生及广大技术工人、生产管理者阅读参考.

本刊连续多年被评为天津市一级科技期刊, 是中国科技论文统计源刊(中国科技核心期刊), 《中国学术期刊综合评价数据库》统计源刊, 《中国学术期刊文摘》收录期刊, 《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊, 《万方数据—数字化期刊群》收录期刊, 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊, 《CA》(美)、俄罗斯《文摘杂志》收录用刊.

《电镀与精饰》为月刊, 每月 15 日出版, 国内外公开发行, 全国各地邮局均可订阅. 邮发代号: 18 - 145, 2008 年全年定价: 72.00 元. 如与编辑部联系补订, 加邮寄挂号费 36.00 元/年.

编辑部地址: 天津市河东区新开路美福园 2 号楼 1 门 102 室(300011)

电话、传真: 022 - 24410599 24322003 24410281

E-mail: DDYJS@126.com TJDDXH@126.com http://www.pfoc.cn