

失效分析

1Cr18Ni9Ti 钢应力腐蚀裂纹产生原因

刘喜明^{1,2}, 连建设²

(1. 吉林工业大学材料学院, 长春 130025; 2. 吉林工学院材料工程系, 长春 130012)

摘要: 对 1Cr18Ni9Ti 钢制生理盐水的消毒锅炉在使用过程中产生的裂纹与扩展的特征, 裂纹源区及裂纹尖端断裂面及母材的化学成分等进行分析, 断定此裂纹是点蚀造成应力集中后形成裂纹源并扩展产生的应力腐蚀裂纹。

关键词: 消毒锅炉; 裂纹; 应力腐蚀

中图分类号: TG172.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-6051(2000)02-0044-02

Cause of Corrosion Cracking of Steel 1Cr18Ni9Ti

LIU Xi-ming^{1,2}, LIAN Jian-she²

(1. Jilin University of Technology, Changchun 130025, China; 2. Jilin Inst. tute of Technology, changchun 130012, China)

Abstract: Experiments have been done to find out the causes of cracking of the steel 1Cr18Ni9Ti. Through study on microstructure, the emerging of cracks and its propagation, and analysis on chemical content of the original area, the peak area, cracking area, and the base material of the cracking, it can be drawn that the cracking was caused by the propagation of a cracking source, which was resulted from pitting.

Key words: disinfecting boiler; cracking; stress corrosion.

某医院 1998 年 5 月购进两台生理盐水用消毒锅炉, 运行 8 个月, 发生多处泄露事故。盐水消毒过程中有时发生盛装生理盐水的玻璃瓶破裂, 导致在锅炉内的介质中含有高浓度的 Cl^- 离子存在。对两台锅炉进行彻底检查发现, 工作表面有较严重的锈蚀, 并多处出现穿透裂纹, 裂纹形状较复杂, 呈分叉树枝状。在裂纹产生处, 母材有外凸和碎落现象, 微观检测断定是点腐蚀造成应力集中, 引发应力腐蚀裂纹并扩展, 导致穿透裂纹。由于存在很大的潜在危险, 因此裁定该锅炉停止继续使用。

1 检验结果

裂纹产生于对接焊缝及夹层中的拉撑附近, 取样位置见

图 1: 以裂纹为中心 70mm 的范围内采用空气等离子弧切

割, 将裂纹母材及相近的对接焊缝, 拉撑焊缝全部切下, 分别进行化学成分、显微组织和裂纹断口分析。

化学成分分析结果见表 1, 对制取样品的内表面板面和垂直板面的板厚方向分别进行显微组织观察, 其结果见图 2~4。

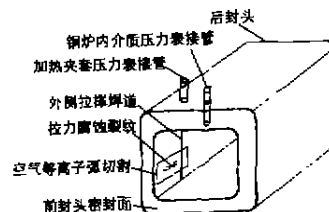


图 1 裂纹产生的位置

表 1 1Cr18Ni9Ti 钢的化学成分(质量分数) w(%)

元素	C	Ni	Cr	Ti	Si	Mn	S	P	Fe
标准	≤0.12	8~11	17~19	0.6~0.8	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.035	余
检测样品	0.193	8.72	16.9	0.38	0.67	—	—	—	余

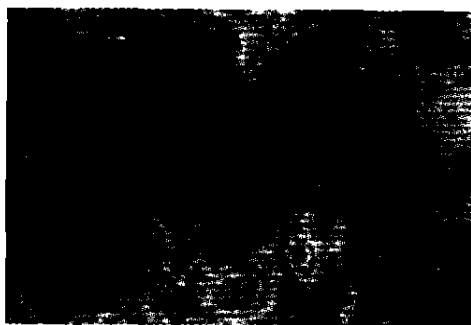


图 2 样品内表面显微组织 ×25

有显著的点腐蚀, 裂纹在点腐蚀处起源, 并以树枝状扩展



图 3 裂纹集中处, 裂纹沿板厚方向扩展检测结果 ×25

裂纹以树枝状向深处扩展

将图 2 示出的点腐蚀集中处制取扫描电子显微分析样品, 对该处进行成分分析和形貌观察, 其结果见表 2、图 5 和图 6。

作者简介: 刘喜明(1963—), 男, 副教授, 工学博士, 博士后。

基金项目: 国家自然科学基金项目(59625102)和吉林省工业发展基金项目(19980101-08), 联系电话: (0431)5955521-421.422(O)

收稿日期: 1999-08-31



图4 图3中焊接裂纹区域的放大像 $\times 400$
在焊接裂纹附近,因造成应力集中使母材的带状流线发生弯曲



图6 裂纹尖端断裂面上腐蚀产物 $\times 500$

2 试验结果分析

表2 裂纹源区和裂纹尖端化学成分分析结果 $w(\%)$

	C	Ni	Cr	Ti	Si	Cl	O	Al	Fe
裂纹源区	0.279	5.65	11.41	0.21	0.61	2.92	8.38	0.33	余
裂纹尖端	0.190	8.35	16.61	0.25	0.81	3.14	0.00	0.14	余

2.1.2 锅炉焊接结构缺陷 在夹层中焊接了不完整拉撑,拉撑与器壁的T形接口焊缝终止于侧壁中间,使拉撑起止点产生应力集中,且有些部位产生焊接裂纹。这些焊接裂纹在使用过程中也发生扩展,但观察所切取的试件,尚未形成穿透裂纹。而这种焊接裂纹的存在与扩展,必将导致其对应的区域的器壁承载面积减小,导致应力集中的产生,为内表面产生应力腐蚀提供了条件。从图2可以证明上述分析的实际性。图中A所指示的裂纹是焊接裂纹,此裂纹已经穿过焊缝熔池进入母材约有1.5mm,因此,此处的实际承载壁厚为2.4mm,但此裂纹并没有穿透整个壁厚。而与此裂纹对应的器壁内侧的同一断面位置上,因焊接裂纹导致了应力集中,在使用过程中产生的 Cl^- 离子更易在此处使母材产生点腐蚀。

2.2 锅炉使用过程中的缺陷

锅炉运行过程中箱内介质为0.14MPa水蒸汽,给盛着生理盐水的玻璃瓶加热,进行灭菌消毒。有时玻璃瓶会发生破裂,使盐水进入锅炉箱内并形成盐水蒸汽,使工作介质中含有的 Cl^- 离子浓度升高,使器壁经常在这种工作介质中蒸煮。

2.3 应力腐蚀裂纹产生的原因分析

2.3.1 点腐蚀聚集造成微区应力集中并产生应力腐蚀裂纹源 Cl^- 离子首先在Cr、Ni、Ti含量较低处和C含量较高的区



图5 裂纹源区,裂纹断裂面表面形貌 $\times 100$
断裂面上有大量的腐蚀产物和将要碎落的母材

2.1 锅炉制造质量分析

2.1.1 材料的化学成分 从表1和表2可以看出,所选用的母材化学成分与1Cr18Ni9Ti钢的标准成分相比有超标项目,选用材料中C含量偏高,Cr、Ti含量偏低,同时各元素的分布具有很大的不均匀性。C含量偏高,一方面提高了材料碳当量降低其可焊性,增加产生焊接裂纹的倾向;另一方面降低了材料的耐腐蚀性。Cr、Ti含量偏低,使材料的耐腐蚀性显著下降,尤其是降低了材料的抗晶间腐蚀和抗点腐蚀的能力。各合金元素分布的不均匀性使得某些区域的Cr、Ni、Ti的相对含量远低于材料的标准成分,使材料的此区域的耐腐蚀性更进一步下降,以至于在使用过程中,当介质中有 Cl^- 离子存在时,很快就在此处产生点腐蚀和晶间腐蚀。表2中裂纹源区的化学成分充分说明了这一点。

域对器壁发生点腐蚀,当有焊接裂纹产生处的应力促进时,点腐蚀速度加快并聚集。成分不均的区域在晶界交汇处最易腐蚀。因此,在三叉结点首先发生腐蚀,当 Cl^- 离子浓度更高时腐蚀将在晶界进行。造成 Cl^- 离子浓度更高的原因有两种情况,一种是介质中所含有的 Cl^- 离子浓度很高;另一种情况是在三叉结点发生点腐蚀后,该处出现曲率较大的凹坑,根据胶态平衡理论,在此处将导致溶质原子聚集,浓度提高。这两种情况都将使腐蚀加快,缩短裂纹产生的时间。通过对腐蚀表面显微组织观察表明(如图2),这两种情况都曾发生。上述腐蚀发生时,器壁始终处在拉应力状态。这样,两者联合作用,使裂纹产生与扩展均加快,即发生了应力腐蚀。

2.3.2 裂纹的扩展路径 从图2、图3、图4可以看出裂纹从生成到扩展,在表面和板厚方向上的扩展路径及扩展方式有所不同。在表面的扩展有两种方式即:一种是点腐蚀沿晶界方向连接产生沿晶断裂,这种情况发生在裂纹源形成过程中;另一种情况是产生的裂纹尖端,因应力场强度因子较大,使裂纹穿过晶体内部而形成穿晶断裂。裂纹沿板厚方向的扩展是应力和腐蚀介质联合作用的结果,裂纹以穿晶断裂的方式进行。

2.3.3 产生应力腐蚀的介质 裂纹源区和裂纹尖端断裂面化学成分分析结果(见表2)及断裂面 (下转第49页)

检测曲轴的变形、磨损及其他失效内容。试验结果证明 49MnVS3 钢曲轴达到 S53C 钢曲轴的技术水平,完全能满足柴油机对曲轴的技术要求。

3 经济效益分析

用 49MnVS3 钢替代 S53C 钢制造我公司柴油机曲轴,不但能满足其性能和各项技术要求,解决切削加工中生产实际问题,使我公司发动机生产逐步走上正常轨道,而且能较大幅度地降低柴油机曲轴的制造成本,产生显著的经济效益。

49MnVS3 钢柴油机曲轴的经济效益主要由两部分组成。一部分是材料国产化后(49MnVS3 钢材由国内供应, S53C 钢材需进口),降低了原材料采购价,取消了锻件调质处理工序,减少了废品率,简化工序,缩短了生产周期,降低了制造成本。另外,由于 49MnVS3 钢中硫含量较高,组织结构稳定,硬度均匀,表面硬度差较小,大大地改善了曲轴切削加工时的切削性能,提高了生产效率和刀具使用寿命,较大幅度地降低了加工制造成本。从表 3 中可以看出 49MnVS3 钢曲轴切削量大的工序,刀具使用寿命提高 80%~150%,切量小的工序也提高了 30%左右。49MnVS3 钢曲轴投产后,我们用数理统计的方法分析了一段时间的生产记录,分析结果证明:每件

49MnVS3 钢曲轴的加工制造成本可节省 48 元左右,加上降低曲轴毛坯采购价 95 元/件,实际每件 49MnVS3 钢曲轴可节约制造成本 143 元左右。自投产以来我们已生产 49MnVS3 钢曲轴 4 万余件,经济效益达 600 余万元。

4 结论

(1) 49MnVS3 钢曲轴经各类性能试验证明,能满足我公司柴油机曲轴技术要求,可替代调质钢制造曲轴。

(2) 49MnVS3 钢曲轴可省略调质处理工序,简化生产工序,降低废品率,产品质量稳定,适用于规模大、自动化程度高的曲轴生产线。

(3) 采用 49MnVS3 钢制造柴油机曲轴,可产生显著的经济效益,每件曲轴可望降低制造成本 143 元左右。

(4) 49MnVS3 钢的塑性、韧性比 S53C 钢稍差,可用降低含碳量改进锻造工艺参数的方法,逐步达到调质钢的水平。

参考文献:

- [1] 雍岐龙,马鸣图,吴宝榕.微合金钢——物理和力学冶金[M].北京:机械工业出版社,1989,12:522~660.
- [2] 胡德昌,胡滨.新型材料特性及其应用[M].广州:广东科技出版社,1996,9:28~42.
- [3] 第一汽车制造厂情报研究所.非调质钢译文辑[Z].1985,7.

(上接第 41 页)

4 结论

(1) 对 CrWMn 钢采用 790℃/680℃ 3 次循环球化替代常规退火、等温球化退火,不仅可以改善其组织状态和性能,而且还可以提高热处理生产率,降低能耗。

(2) 1050℃ 固溶加 790℃/680℃ 3 次循环球化退火,可进一步改善 CrWMn 钢的组织状态分布,提高其性能。

(上接第 45 页)

表面腐蚀产物的形态(图 5、图 6)表明,在裂纹源区除含有浓度很高的 Cl 元素外,还有很高浓度的 O 元素存在。而在裂纹尖端却只有浓度较高的 Cl 元素,而没有 O 元素存在。说明产生应力腐蚀的介质是含 Cl 元素的化合物而不是含 O 元素的化合物。介质中有 H₂O、O₂ 和 NaCl 等几种物质。显然,造成本次应力腐蚀裂纹的根本原因是 NaCl 的存在。而在裂纹源区,点腐蚀后在断裂处形成了较疏松的腐蚀产物,使游离态的 O₂ 和 H₂O 蒸汽得以吸附,并和断裂面新鲜金属发生化学反应生成氧化物。而在裂纹尖端,这种作用没有发生或较轻。因此,在裂纹尖端没有检测出 O 元素的存在。

(3) 经 1050℃ 固溶加 790℃/680℃ 3 次循环球化退火处理后,再经 830℃ 油淬 200℃ 回火处理, CrWMn 钢组织均匀而细小,碳化物弥散程度高,其耐磨性和综合性能好。

参考文献:

- [1] 蒋修治译.模具钢热处理[J].模具技术,1994(1).
- [2] 蔡 珣等.低温快速球化处理[J].金属热处理,1992(4):8~11.
- [3] 满 波.高碳钢和轴承钢的周期球化退火工艺[J].金属热处理,1993(6):43~44.

3 结论

(1) 裂纹产生的根本原因是发生了应力腐蚀,产生应力腐蚀的介质是 NaCl。

(2) 焊接裂纹产生并扩展后,降低对应截面的承载能力,产生应力集中,促进了应力腐蚀的发生和加速了应力腐蚀裂纹的扩展。

(3) 应力腐蚀裂纹源的产生是点腐蚀的连接和点腐蚀产生微区应力集中而形成裂纹并扩展。

(4) 1Cr18Ni9Ti 类钢不适合于制造这种含 Cl⁻ 离子的生理盐水消毒锅炉,只有确保没有 Cl⁻ 离子存在的条件下才可以用此类钢。

☆华北五省市金属材料及热处理学术大会于 2000 年在内蒙古首府呼和浩特市召开,大会主题:迈向 21 世纪的华北热处理,主办单位:内蒙古机械学会热处理分会,协办单位:内蒙古河西公司红岗机械厂,会议时间:2000 年 7 月 28~30 日,会议地址:呼和浩特市航天培训中心。

会议将出版论文集或在学报上发表,论文若需要用于评职称的请说明,以便刊于省部级学报上。要求在学报上刊登的论文请在 2000 年 2 月底前寄给:包头钢铁学院材料系刘宗昌或李文学收,邮编:014010。其他论文可在 5 月底前寄给我们,将收入会议论文集。会议收费:会务费 400 元。进入学报的论文需交版面费,每版 80 元。

喜 热烈祝贺国家机械工业局北京机电研究所研究员级高工陈蕴博先生、北京航空航天大学著名教授钟群鹏先生和北京科技大学著名教授陈国良先生光荣当选中国工程院院士。