

文章编号: 1671-6833(2004)02-0110-03

燃烧器喷嘴材料热疲劳性能和高温氧化性能研究

马刘宝, 黄志荣

(华东理工大学化工机械研究所, 上海 200237)

摘要: 采用对比试验方法, 通过热疲劳裂纹扩展速率和氧化增重试验, 研究了燃煤锅炉燃烧器喷嘴常用的两种材料的热疲劳性能和高温氧化性能。结果表明, 铬、锰、硅等元素含量高的新材料 ZG40Cr 26Ni 4Mn 3Re 的热疲劳性能和抗高温氧化性能均明显优于原燃烧器喷嘴材料 ZG40Cr 20Ni 5。材料的抗热疲劳性能在很大程度上取决于材料的抗高温氧化性能, 热疲劳裂纹在表面缺陷处最易出现, 热循环过程中氧化膜的形成和破裂加剧了热疲劳裂纹的萌生和扩展。

关键词: 燃烧器喷嘴; 热疲劳; 裂纹; 高温氧化

中图分类号: TG 172.8 **文献标识码:** A

0 引言

WR(Wide Range Tip)型煤粉燃烧器是由美国 CE 公司设计的, 其喷嘴材料为 ZG40Cr 20Ni 5, 应用在 1 000 t/h 大型锅炉上效果良好, 喷嘴附近热负荷小, 不易结焦, 燃烧稳定性好。但是当应用于小于 1 000 t/h 的锅炉上时, 有时会出现喷嘴处结焦及燃烧稳定性差的问题。

燃烧器喷嘴长期在高温下工作, 当煤粉燃烧不稳定时, 引起炉膛内温度分布不均匀或喷嘴处结焦, 使喷嘴因温差产生热应力, 致使喷嘴局部产生严重变形, 在构件中产生局部附加应力。当温度波动较大时, 热应力变化幅度较大, 造成喷嘴表面形成热疲劳裂纹。

为改善燃烧器喷嘴材料的高温性能, 考虑选用 ZG40Cr 26Ni 4Mn 3Re 耐热铸钢作为喷嘴材料。此钢种为新研制的钢种, 在实际生产中应用数据较少, 为此本文选用新旧两种喷嘴材料进行热疲劳和氧化增重试验, 研究喷嘴材料的热疲劳性能和高温氧化性能, 为燃烧器喷嘴的选材提供依据。

1 实验方法

研究用的材料分别为 ZG40Cr 26Ni 4Mn 3Re 耐热铸钢和 ZG40Cr 20Ni 5 耐热铸钢。热疲劳试样加工成外圆直径为 35 mm, 内圆直径为 15 mm, 偏心距为 5 mm, 厚度为 6 mm, 并且在偏心圆与外圆

厚度最厚的地方用线切割割出 1 mm 深的裂缝, 如图 1 所示。

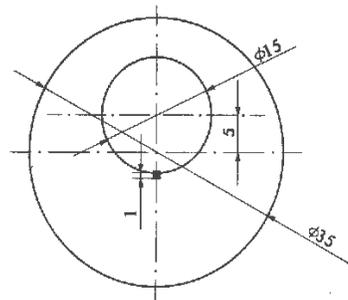


图 1 热疲劳试样形貌

Fig. 1 Thermal fatigue experimental sample

热疲劳试验在普通箱式电炉中进行。将试件加热到 1 000 °C, 保温 10 min, 迅速取出后置于 25 °C 的水中冷却至室温, 然后继续加热、冷却, 如此循环进行。每隔 10 次循环后取出放在工具显微镜下面观察裂纹的萌生和扩展量。

氧化试验试件用线切割方法加工成 10 mm × 10 mm × 3 mm 的矩形块, 然后用水磨砂纸由粗至细逐级磨至 1 000 #, 并于丙酮中清洗, 吹干后测定试样的原始尺寸, 用分辨率为万分之一的 FA 1004 型电子天平称出试样初始质量。氧化试验于空气中加热至 1 100 °C, 保持一定时间后将试样取出冷却至室温并进行称重, 记录氧化时间与试样增重的关系, 累计氧化时间 120 h。

收稿日期: 2004-01-06; 修订日期: 2004-02-11

作者简介: 马刘宝 (1980-), 男, 河南省郑州市人, 华东理工大学硕士研究生。

2 实验结果

将热疲劳试验数据用线性回归方法求出 $a = kN + b$ 表达式. 式中: a 为裂纹扩展长度; k 为裂纹扩展速率, $k = da/dN$, 并用其大小来评定热疲劳性能的优劣. 最大裂纹长度 a 随周次 N 的变化如图 2 所示.

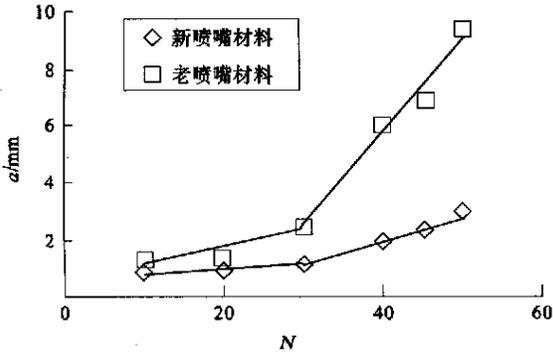


图 2 热疲劳试验结果

Fig. 2 Thermal fatigue experimental results

由图 2 可见, 在最初阶段, 裂纹长度无明显扩展, 循环 10 次后, 热疲劳裂纹逐渐萌生, 循环 30 次后, 裂纹进入稳态扩展阶段, 扩展速率明显加快. 通过线性回归可以得出, 在裂纹萌生阶段和稳态扩展阶段, 老喷嘴材料的裂纹扩展速率 da/dN 分别为 0.0585 mm/周次 和 0.3299 mm/周次 , 新喷嘴材料的裂纹扩展速率 da/dN 分别为 0.0195 mm/周次 和 0.0820 mm/周次 . 可以得出, 新喷嘴材料的裂纹扩展速率与老喷嘴材料相比显著降低, 其抗热疲劳性能明显提高.

新喷嘴材料与老喷嘴材料在 1100°C 空气中氧化时间与试样增重间的关系曲线如图 3 所示.

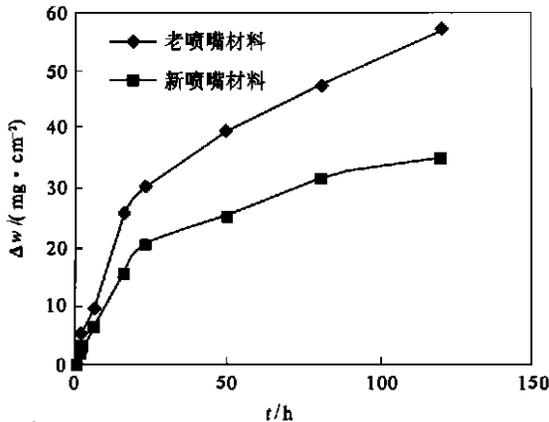


图 3 新老喷嘴材料 1100°C 空气中氧化时间与试样增重的关系

Fig. 3 Relationship between oxidized time and the incremental weight of the specimen in air at 1100°C

将图中数据增重 (Δw) 与时间 (t) 按抛物线规

律拟合可以得出, 两者抛物线速度常数之比为 0.3883 , 经过 1100°C 等温氧化 120h 后, 新喷嘴材料与老喷嘴材料试样的氧化增重之比为 0.62 , 由此可看出新喷嘴材料的抗高温氧化能力比老喷嘴材料的抗高温氧化能力明显提高.

3 实验结果分析

在高温状态下工作的喷嘴, 材料发生表面氧化, 使金属表面和内部的化学成分不同, 导致靠近氧化物处的基体表面附近的金属与基体内部金属产生比容差, 从而促进了疲劳裂纹的形成, 裂纹源形成后, 在热应力的作用下向前扩展, 形成宏观可见的裂纹.

由于喷嘴工作在含氧气氛中, 空气中的氧在裂纹尖端发生吸附和吸收, 氧原子扩散到裂纹尖端的基体中, 通过在裂尖塑性区固溶降低了金属原子间结合能. 当氧的浓度超过其在合金中的固溶度时, 则发生氧化反应, 尤其是沿晶氧化, 从而弱化晶界结合力, 造成合金的严重脆化, 促进裂纹的扩展. 这些裂纹沿柱状晶边界扩展, 它们的主要裂纹源是晶界, 即试样局部应变集中区边缘有晶界露头, 疲劳裂纹在该处形核, 沿着晶界向内部扩展; 内部二次裂纹也萌生在晶界, 且沿晶界扩展和主裂纹连接^[1]. 热疲劳裂纹之所以易在晶界处萌生、扩展, 主要是晶界为合金薄弱环节, 晶间沉淀物析出以及 σ 相的出现使晶界进一步脆化, 从而有利于热疲劳裂纹的萌生、扩展^[3]. 另外, 空气中热循环时, 裂纹开裂面的氧化对疲劳裂纹扩展加速是不可忽视的. 在循环应变下, 裂纹内淤塞的氧化物起着楔子作用, 在裂纹尖端造成附加应力.

材料的抗高温氧化性能优劣取决于保护性氧化膜的热力学稳定性和动力学生长速度等基本属性^[3], 可用等温氧化动力学参数预测非等温氧化动力学数值模型, 等温氧化动力学服从抛物线规律^[4], 因此, 可由图 3 的试验结果来预测喷嘴材料在服役过程中的氧化性能. 材料的化学成分对其高温氧化行为有重要的影响, 由于新材料的化学成分中铬、锰、硅的含量均高于原喷嘴材料, 而铬元素是耐热钢中抗高温氧化和抗高温腐蚀的主要元素, 并能提高耐热钢的热强性. 钢中含铬量足够时, 能在其表面上形成一层致密的 Cr_2O_3 氧化膜, 这种氧化膜能有效地阻挡外界的氧原子往钢中扩散, 显著提高钢在高温时的抗氧化能力. 锰能消除或减弱钢因硫所引起的热脆性, 从而改善钢的热加工性能. 硅也是耐热钢中抗高温腐蚀的有益元

素,同时,在钢中加入硅也能改善它在室温条件下的工作性能.高温下含硅的耐热钢表面上可形成一层保护好、致密的 SiO_2 薄膜,可提高钢的抗氧化性能^[3].因此,铬、锰、硅等化学元素含量高的新喷嘴材料的抗氧化能力比老喷嘴材料的抗氧化能力明显提高.

4 结论

(1) 热疲劳裂纹在表面缺陷处最易出现,热循环过程中氧化膜的形成和破裂加剧热疲劳裂纹的萌生和扩展.

(2) 新喷嘴材料的抗热疲劳性能在很大程度上取决于材料的抗高温氧化性能.

(3) 新喷嘴材料ZG40Cr26Ni4Mn3Re耐热铸钢的抗热疲劳能力及抗高温氧化能力均明显优于

原CE公司的WR型煤粉燃烧器喷嘴材料.

参考文献:

- [1] 董显平, 郁金香, 张源虎, 等. ZG13与1G18Ni9Ti两种材质喷嘴环热疲劳性能对比[J]. 机械工程材料, 1999, 23(5): 27~29.
- [2] 董显平, 郁金香, 周灿栋, 等. 1G18Ni9Ti材质喷嘴环在不同结构形式下的热疲劳行为[J]. 内燃机车, 1998(8): 17~20.
- [3] 李铁藩. 金属高温氧化和热腐蚀[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 黄志荣, 李培宁. 预测金属非等温氧化动力学的数值模型[J]. 郑州大学学报(工学版), 2003, 24(3): 76~78.
- [5] 李美栓. 金属的高温腐蚀[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001. 139~145.

Study on High Temperature Oxidation and Thermal Fatigue Property of Materials Used in the Jet of the Burner

MA Liu-bao, HUANG Zhi-rong

(Research Institute of Process Equipment and Pressure Vessels, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: In this paper, high temperature oxidation property and thermal fatigue property of ZG40Cr26Ni4Mn3Re and ZG40Cr20Ni5 heat-resistant steels usually used in jet of the burner were studied through reference experiment in order to assess applicability of ZG40Cr26Ni4Mn3Re and failure mechanism. The results indicate that thermal fatigue property and high temperature oxidation of ZG40Cr26Ni4Mn3Re are much better than ZG40Cr20Ni5 because content of Cr, Mn, Si in the former steel are higher than that of the latter and thermal fatigue property of the materials depends on high temperature oxidation to a great extent. Thermal fatigue crack initiates most possibly from surface defects and also the engendering and breaking of oxidation film during the process of thermal stress cycle result in fatigue crack initiation and propagation.

Keywords: the jet of the burner; thermal fatigue; crack propagation; high temperature oxidation