

锅炉钢材表面处理后耐磨损性能试验研究

赵宪萍, 尹祥德, 刘 帅

(上海电力学院 能源与环境工程学院, 上海 200090)

摘 要: 试验研究了锅炉受热面常用合金钢 12Cr1MoV 经表面离子硼钛共渗处理后, 在 300~450 °C 温度范围内的抗热态飞灰冲蚀磨损性能。结果表明: 经处理后的 12Cr1MoV 在试验温度范围内, 其质量相对磨损量比未处理前小, 即其耐磨性提高; 其质量相对磨损量随温度的升高先减小后增大。试验后试件使用电镜扫描 (SEM) 和辉光放电光谱分析仪进行分析, 发现试件表面渗层越厚、渗层中硼、钛元素含量越高、分布越均匀, 则其耐磨损性能越好。

关 键 词: 锅炉受热面; 热态飞灰磨损; 离子硼钛共渗; 质量相对磨损量

中图分类号: TK229.6 文献标识码: A

引 言

电厂燃煤锅炉的飞灰冲蚀磨损的影响因素很多, 包括烟气流速、烟气中灰粒的浓度及平均粒径、灰粒的物理化学性质、金属材料的性能等^[1~3]。其中提高金属材料的耐磨损性能, 是延长锅炉管道使用寿命的有效方法之一, 所采取的主要措施是对金属材料进行表面强化处理, 如热处理、表面喷涂和表面渗镀等^[3~5]。离子渗是渗镀工艺中的一种, 它有很多优点: 如渗层质量高, 工件变形小, 渗速快, 生产周期短等。在对工件进行渗硼过程中, 硼与基体中的铁可形成单相型硼化物 Fe_2B 或双相型硼化物 $FeB+Fe_2B$ 它们都有较小的摩擦系数和较高的硬度, 可以提高试件耐磨损性^[5], 但是这两种硼化物的脆性比较大, 耐冲击性差, 容易剥落。而钛与碳、铁之间形成的 TiC 和 $TiC+Fe_2Ti$ 化合物以及钛与硼之间可能形成的陶瓷相, 都有较高的硬度和耐磨性能, 它们分布在硼铁渗层中, 对其脆性会有一定的影响。本研究选用 12Cr1MoV 合金钢 (珠光体热强钢, 是电厂低温过热器和再热器的常用钢) 为试验材料, 对其进行离子硼钛共渗处理后进行热态飞灰冲蚀磨损试验, 以研究其耐磨损性能是否因此处理而

得到提高。

1 试件处理及热态飞灰冲蚀磨损试验

1.1 试件离子硼钛共渗处理

试件材料 12Cr1MoV 合金钢, 试件尺寸 $\phi 50 \times 4$ mm 圆片, 委托某大学材料研究所对其进行离子硼钛共渗处理。

1.2 热态飞灰冲蚀磨损试验

试验在专门建立的热态飞灰磨损试验台上进行, 如图 1 所示。

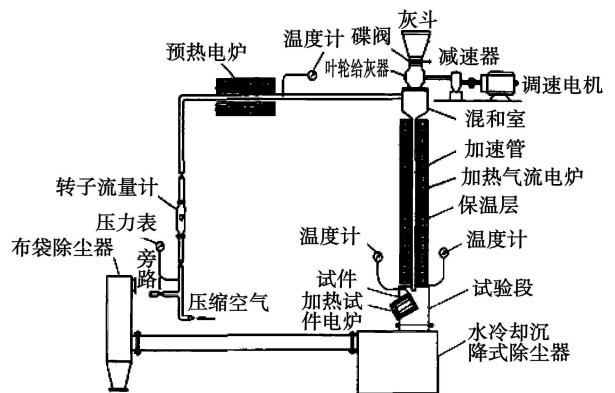


图 1 热态飞灰冲蚀磨损试验系统图

试验用压缩空气流经压力表和流量计进入试验系统, 然后进入到预热段加热后进入混合室。称量过的试验用灰经灰斗下面的蝶阀控制进入混合室。给灰器采用叶轮式给料, 通过电动机控制叶轮的转速。下落的灰和预热后的空气在混合室混合后进入试验气流的加速段, 在经过加速段过程中, 混合气体在电炉加热条件下被加热到试验需要的温度, 进入试验段以 30° 冲角冲击试件。之后, 混合气体进入水冷沉降式除尘器, 再经布袋除尘器后排向大气。试件由专门的加热炉加热到所需工况温度。

收稿日期: 2009-07-13 修订日期: 2009-09-21

基金项目: 上海市地方院校能力建设基金资助项目 (071605124); 上海市教委重点学科基金资助项目 (51304)

作者简介: 赵宪萍 (1956—), 女, 山西襄垣人, 上海电力学院教授。

1.3 试验工况

气流速度 80 m/s; 试件编号: N37, N38, N39, N40; 试验温度 300, 350, 400 和 450 °C; 冲刷角度 30°; 试验用灰取自某电厂其平均粒径 70.38 μm, 每个工况用灰 2 kg。

2 试验结果及试验数据处理

试验结果如图 2 中的曲线 1 所示, 明显可见, 经离子硼钛共渗处理后的 12C1M0V 其质量相对磨损量降低, 磨损规律仍呈现热态规律, 即其质量相对磨损量随温度的升高先减小而后增大。试验数据采用多项式非线性曲线拟合方法进行处理。

2.1 多项式非线性曲线拟合

试验数据多项式非线性曲线拟合处理的基本数学模型为^[7]:

$$\Delta I = a_0 + a_1 W_s + a_2 t + a_3 W_s^2 + a_4 t^2 + a_5 W_s t \quad (1)$$

式中: ΔI —试件质量相对磨损量, mg/g; W_s —粒子速度, m/s; t —试件温度, °C; $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ —所求回归系数。

根据最小二乘法原理, 利用 MATLAB 软件编写程序对拟合方程中的系数 $a_0 \sim a_5$ 进行求解, 得:

$$\begin{aligned} a_0 &= a_1 = 0 & a_2 &= -7.5834 \times 10^{-5} \\ a_3 &= 1.5418 \times 10^{-5} \\ a_4 &= 3.7454 \times 10^{-7} & a_5 &= -3.5677 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

因此得到硼钛共渗处理后的 12C1M0V 合金钢在 300~450 °C 温度范围内, 热态飞灰冲蚀磨损的拟合表达为:

$$\Delta I = -7.5834 \times 10^{-5} t + 1.5418 \times 10^{-5} W_s^2 + 3.7454 \times 10^{-7} t^2 - 3.5677 \times 10^{-6} W_s t + \epsilon_k \quad (2)$$

式中: ϵ_k —残差。

多项式非线性曲线拟合回归如图 2 曲线 1 所示。

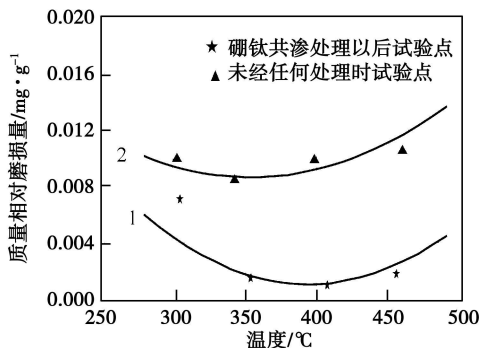


图 2 12C1M0V 硼钛共渗处理前后冲蚀磨损性能比较

2.2 实际粒子速度 W_s 的确定

试验在气固两相流中进行, 对试件冲蚀磨损起主要作用的是实际粒子速度, 根据两相流理论推导其粒子速度的计算为^[7]:

$$W_s = (W_a + W_g) [1 - e^{-(W_s'^2 + gL/W_g) / (W_a + W_g)}] \quad (3)$$

式中: W_s —粒子实际速度, m/s; W_a —气流速度, m/s; L —加速管的长度, m; g —重力加速度, m/s²; W_s' —第一次叠代时所用第 $(i-1)$ 个 W_s 值; W_g —粒子沉降速度, m/s。

3 试验结果分析与讨论

为验证离子硼钛共渗处理后试件的耐磨性能是否提高, 试验结果与未经任何处理的 12C1M0V 试验结果相比较^[1], 如图 2 中的曲线 2 所示。结果表明: 在试验温度范围内, 处理后试件的质量相对磨损量 (图 2 中曲线 1) 明显减小, 即其耐磨损性能有所提高; 并且可以看出, 曲线 1 与曲线 2 的变化趋势基本相同, 即质量相对磨损量随温度升高先减小后增大。在 300 °C 时, 硼钛共渗处理后试件的相对磨损量比较大, 由试验后试件表面照片发现, 该试件表面有局部少量渗层脱落现象, 这是该试件相对磨损量大的原因之一。



图 3 300 °C 试件试验后的表面照片

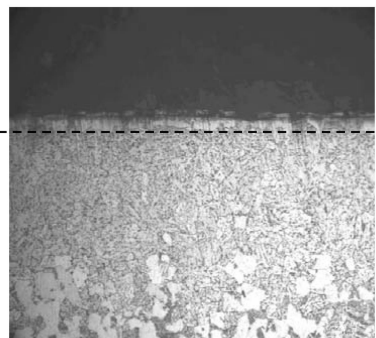


图 4 450 °C 试件试验后晶相照片 ×200

试验后试件使用电镜扫描 (SEM) 和辉光放电光谱分析仪进行渗层分析发现, 硼钛共渗的渗层中成分非常复杂, 渗层为致密的、与基体的界面呈直线状的白亮层 (图 4 虚线以上为试验后余留的渗层), 该渗层有较高的硬度和较小的摩擦系数, 因此其耐磨性能较好。

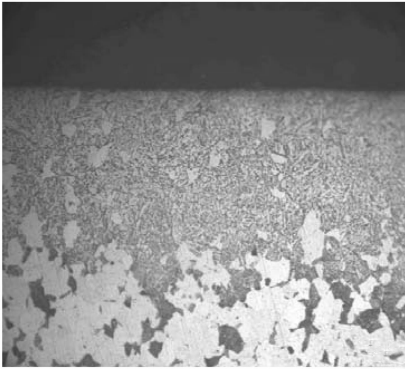


图 5 300 °C 试件试验后晶相照片 ×200

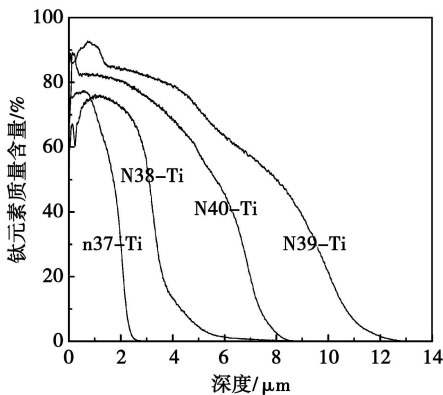


图 6 钛元素质量含量随深度变化

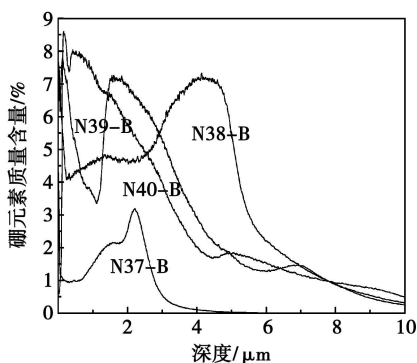


图 7 硼元素质量含量随深度变化

温度在 350 ~ 450 °C 范围内时, 由于试件表面的渗层比较厚, 渗层中硼钛元素含量比较高, 如图 6 和图 7 所示, 在冲蚀试验结束后仍有部分渗层余留在基体表面, 因此试件的相对磨损量比较小, 表现为抗磨损性能比较好。300 °C 试件, 由于表面渗层比较薄, 硼钛元素含量比较低, 试验后不但渗层被冲蚀掉, 并且部分过渡层也有相应的磨损 (由图 5 可看出), 这是该试件的相对磨损量大的另一原因。

4 结 论

(1) 12Cr1MoV 合金钢经离子硼钛共渗处理后, 在 300 ~ 450 °C 范围内, 其耐热态飞灰冲蚀磨损性能大大提高。

(2) 在试验温度范围内, 硼钛共渗处理后的试件, 其质量相对磨损量随温度的升高先减小后增大。

(3) 离子硼钛共渗层厚度及渗层中硼钛元素的含量对试件耐冲蚀磨损性能影响很大, 渗层越厚、渗层内部硼、钛元素含量越高分布越均匀则试件的耐冲蚀磨损性能越好。

(4) 300 °C 试验点, 其离子硼钛共渗层较薄且试验过程中渗层出现局部脱落现象, 是致使其相对磨损量大的两个主要原因。

(5) 离子硼钛共渗方法可以提高一定的耐飞灰冲蚀磨损性能, 但在实际中应用, 则尚需做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 赵宪萍, 孙坚荣. 12Cr1MoV 合金钢热态飞灰冲刷磨损性能的试验研究 [J]. 热能与动力工程, 2000, 15(89): 502-505.
- [2] 吕萍, 郭雷, 赵宪萍, 等. 碳-氮共渗对 20 碳钢飞灰磨损性能影响的试验研究 [J]. 热力发电, 2007(4): 97-99.
- [3] HIGUERA HIDALGO V, BELZUNCE VARELA J, CARRILES MENENDEZ A, et al. High temperature erosion wear of flame and plasma sprayed nickel-chromium coatings under simulated coal-fired boiler atmosphere [J]. Wear, 2001, 247: 214-222.
- [4] HIGUERA HIDALGO V, BELZUNCE VARELA J, CARRILES MENENDEZ A, et al. A comparative study of high temperature erosion wear of plasma sprayed NiCrBSiFe and WC-NiCrBSiFe coatings under simulated coal-fired boiler conditions [J]. Tribology International, 2001, 34: 161-169.
- [5] 赵文珍. 材料表面工程导论 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [6] 潘邻. 表面改性热处理技术与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] 赵宪萍, 徐开义, 孙家庆. 电站锅炉中受热面温度对灰磨损影响规律的试验研究 [J]. 上海电力学院学报, 1995(11): 18-25.

(编辑 陈 滨)

炉膛压力对增压锅炉热力参数的影响 = Influence of the Furnace Pressure of a Turbocharged Boiler on Its Thermal Parameters [刊, 汉] / DU Xào jiā, CHEN Míng, LIU Lì huà et al (CSIC No. 703 Research Institute Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(6). — 635~638

Under the condition of the furnace pressure undergoing a change, systematically analyzed was the variation regularity governing the relevant thermal calculation parameters of a turbocharged boiler. A case calculation was performed of a certain type of turbocharged boiler and the curves of its flue gas flow velocities and furnace blackness changing with its furnace pressure were obtained. When its furnace pressure increases, its volumetric thermal load and furnace blackness will also increase. The flue gas temperature and linear flow speed at the outlet of the furnace etc. will decrease and the convection heat exchange coefficient and other parameters of the flue gas, however, will maintain unchanged. Key words: turbocharged boiler, furnace pressure, thermal calculation, thermal parameter

锅炉钢材表面处理后耐磨损性能试验研究 = Experimental Study of the Wear-resistant Performance of the Steel Heating Surfaces of a Boiler After a Surface Treatment [刊, 汉] / ZHAO Xián píng, Yǐn Xiàng dē, Lǚ Shuài (College of Energy Source and Environment Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai, China, Post Code: 200090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(6). — 639~641

Experimentally studied was the performance of the commonly used alloy steel 12Cr1MoV to resist hot state flying ash erosion and wear at a temperature ranging from 300 to 450 °C on the heating surfaces of a boiler after a surface boronizing treatment. The research results show that the alloy steel 12Cr1MoV following the treatment has a relative surface mass wear and tear wastage less than that prior to the treatment, i.e. the wear resisting property is improved. The relative surface mass wear and tear wastage will first decrease and then increase with an increase of the temperature. After the test, the test pieces were analyzed by using a SEM (scanning electron microscope) and a glow discharge spectrometric analyzer. It has been found that the thicker the test piece surface permeation layer, the higher the boron and titanium element content in the permeation layer and the more uniform the boron and titanium element distribution, then the better the wear resisting property. Key words: utility boiler heating surface, hot state flying ash wear, boronizing

FSSS的故障树建模及可靠性分析 = Modeling of a FSSS (Furnace Safety Supervisory System) Fault Tree and Its Reliability Analysis [刊, 汉] / SHEN Jì chēn, Lǐ Xào guāng, Lǐ Yǎng (College of Automation Engineering, Northeast Electric Power University, Jilin, China, Post Code: 132012), LIU Xu guāng (Rizhao Iron and Steel Co. Ltd., Rizhao, China, Post Code: 276806) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(6). — 642~647

Described were a furnace safety supervisory system and its difference from a basic process control system when serving as a safety instrumentation system. A modeling of the fault tree of the system under discussion was performed and the relationship between various parts of the system was set up. Through the modeling of a fault tree, the above-