

发电厂省煤器管镍基合金喷熔层 组织与性能的研究*

刘少光 王平 束德林

(安徽工学院)

[摘要]从发电厂锅炉省煤器管道高温冲蚀磨损的严重现实问题出发,针对性地研究了镍基合金喷熔层的组织结构和性能特点。结果表明,镍基合金喷熔层具有复杂的组织结构,较高的硬度和结合强度,优良的抗氧化性,优越的抗高温冲蚀性能。非常适合于解决省煤器管道的高温冲蚀磨损问题。

关键词 省煤器 高温冲蚀磨损 镍基合金喷熔层 组织与性能

分类号 TK223.33 TK225

1 引言

据统计,燃煤发电厂粉煤锅炉燃烧尾气对省煤器(20钢)等换热器管路的高温冲蚀造成的损坏大致占管路损坏的三分之一,其最低寿命仅为16000小时^[1]。这大大地影响了电厂的正常运行,造成了很大的经济损失。对此,电厂一般采用加防护瓦、鳍片等保护措施,但由于其诸多的不足之处,难以取得良好的效果。因此,寻求一种理想的保护措施势在必行。

热喷熔技术由于其设备简单、操作方便,成本低廉、性能优越,已在零件的防护和修复等表面工程领域获得广泛的应用^[2]。本文通过模拟试验,研究了氧—乙炔火焰喷熔镍基合金涂层的组织结构、硬度、结合强度、抗氧化性和抗高温冲蚀性能。试验和现场试用结果表明,在省煤器管道上喷熔镍基合金

是一种抗高温冲蚀破坏的良好措施。

2 试验方法

2.1 试验材料

基底材料为20钢

自行配制的A1、A2号镍基合金粉末主要成份为Ni、Cr、Fe、B、Si、C。分别加35%镍包碳化钨后成为A1+35%WC、A2+35%WC,将各种镍基合金粉末用氧—乙炔火焰法喷溶于20钢板状试样上。

2.2 抗氧化性试验

将50×50×0.5mm的20钢板两面分别喷溶A1、A2、A1+35%WC、A2+35%WC合金粉末,然后与同样尺寸无喷溶层的20钢试样一起放入箱式炉中做800℃氧化试验。以增重量表示抗氧化能力。

* 机械工业部基金项目和安徽省科委重点科研项目

收稿日期 1995-03-30

2.3 高温冲蚀试验

利用自制的高温冲蚀模拟试验机对各种镍基合金喷熔层进行 45° 攻角下冲蚀试验, 并与 20 钢及其他表面强化层进行对比试验。用感量 0.1 mg 天平称得重量损失, 再换算成体积损失, 以单位时间内的体积损失表示冲蚀率, 用 ASM—SX 扫描电镜观察分析冲蚀表面形貌。试验温度 500℃, 冲蚀时间 5 小时, 冲蚀气体为空气, 冲蚀粒子为取自电厂的粉煤灰, 粒度为 100~250 μm, 气流速度 30.81m/s, 磨粒输送量为 42.6kg/h。

3 试验结果及分析

3.1 组织结构

图 1、图 2、图 3 分别为 A1、A2 和 A1+35%WC 喷熔层的金相组织, 结合 X 射线衍射分析和扫描电镜能谱分析得知, A1、A2 喷

相外, 还出现 WC、W₂B₅ 相, 如图 3 中所示, 为粗大的角块状。一般喷熔温度不超过 2000℃, 而 WC 的熔点为 2867℃, 所以喷熔时 WC 是不熔的。在凝固过程中, WC 难以与周围各相协调互补收缩, 从而导致涂层疏松、孔洞的产生, 加入 WC 量越多, 产生的疏松、孔洞也越多。

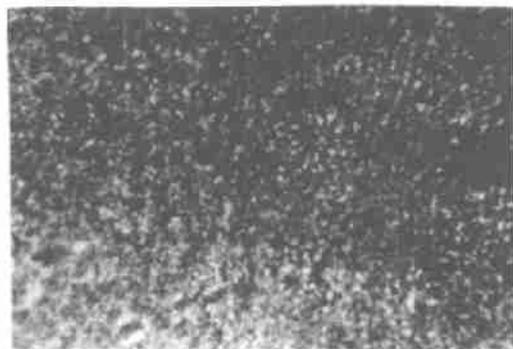


图 1 A1 喷熔层金相组织
王水浸蚀×250

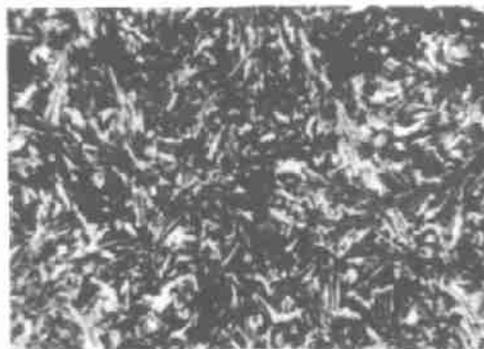


图 2 A2 喷熔层金相组织
王水浸蚀×250



图 3 A1+35%WC 喷熔层金相组织
王水浸蚀×250

熔层的基本相结构是相似的, 均由 Ni—Cr—Fe、CrB、Ni₃B、Cr₂₃C₄、Fe₂B、Cr₇C₃、Cr₇NiB₆ 组成, 其中 Ni—Cr—Fe 固溶体为基体相^[1]。A1、A2 中加入镍包 WC 后, 其组成相除了上述各

3.2 硬度

A1、A2、A1+35%WC、A2+35%WC 喷溶层的显微硬度分别为 708、817、519、533HV_{0.1}，比热轧态 20 钢的硬度 152HV_{0.1}，提高了 2.4~4.4 倍，在 A1、A2 中加入硬度 2680HV_{0.1} 的 WC 反使涂层的硬度下降，这与 WC 引起组织疏松和孔洞有关。

A1、A1+35%WC 喷溶层在 600℃、5kg 载荷下的高温维氏硬度分别为 289、261HV。这说明上述喷溶层，不仅有高的室温硬度，而且具有较高的硬度，具备了抗高温冲蚀磨损的一个基本条件。

3.3 结合强度

将表面喷溶有各种合金的 60×100×2 mm 20 钢板以 Φ20 mm 的钢棒为轴，喷溶层朝外绕轴弯曲。观察随弯曲角度的增加，喷溶层表面的开裂情况以及喷溶层与基底材料的脱开情况，以判断其结合力强弱。

试验表明，A1、A2 试样弯曲到 45°时才出现开裂现象，说明其具有良好的抗弯曲开裂能力，A1+35%WC、A2+35%WC 和 A1+50%WC 分别在 20°、20°、和 10°时出现开裂。各种试样弯曲到 180°时均没有出现与基材脱开的现象，这说明上述各种喷溶层具有较高的结合强度。

3.4 抗氧化性

图 4 为 A1、A2、A1+35%WC、A2+35%WC、A1+50%WC 和 20 钢的 800℃氧化曲线。在图中可以看出，A1、A2 喷溶层的抗高温氧化性能最好，稳定阶段比 20 钢提高约 106 倍和 105 倍。A1 和 A2 中含有丰富的 Ni、Cr、Si 等合金元素，在高温下，它们能形成有效的氧化保护膜，如 Cr₂O₃、NiO、SiO₂、NiCr₂O₄ 等，保护效果很好。

A1+35%WC、A2+35%WC 和 A1+50%WC 的抗高温氧化性分别比 20 钢提高约 56 倍、54 倍和 48 倍，但比 A1、A2 差，这主要是由喷溶层存在疏松、孔洞引起的。

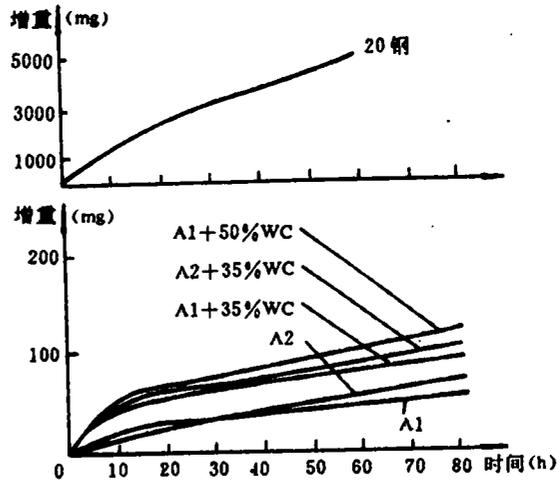


图 4 各喷溶层及 20 钢的 800℃氧化曲线

3.5 各种强化层的冲蚀性能

为扩大对比试验范围，对正火态 20 钢，淬火态 20 钢、A1、A2、A1+35%WC、A2+35%WC 喷溶层，刷镀 Ni-W-D 层，刷镀快速镍层，陶瓷涂层进行高温冲蚀对比试验。试验

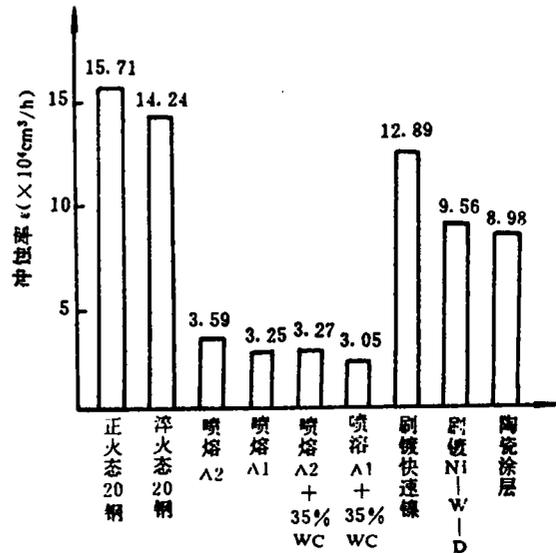


图 5 45°攻角时各种材料 500℃冲蚀性能比较

表明,除了陶瓷涂层表现为脆性材料的冲蚀行为外,其余皆呈现塑性材料的冲蚀行为^[1]。图5为45°攻角时各种强化层的体积冲蚀率对比图。A1、A2中加入35%WC后,其抗冲蚀性能稍有改善,但总的来说,四种镍基喷熔层的冲蚀率相差不大。各种材料按抗冲蚀能力大小排列为,镍基合金喷熔层最好,其余依次为陶瓷涂层、刷镀Ni-W-D层、刷镀快速镍层、淬火态20钢、正火态20钢。20钢经淬火后其冲蚀抗力没有多大改善,而喷熔镍基合金后,其抗500℃高温冲蚀能力可提高4~5倍。

3.6 镍基合金喷熔层的高温冲蚀机理分析

图6、图7分别为A1、A1+35%WC喷熔层的高温冲蚀形貌。镍基合金喷熔层基体相Ni-Cr-Fe固溶体在500℃时表现为软质相,上面分布的化合物Ni₂B、CrB、Cr₂₃C₄、Fe₂B、Cr₇C₃、Cr₇NiB₄、WC等为硬质相。如果把硬质相当成“铁砧”,把冲蚀粒子当作“铁锤”,

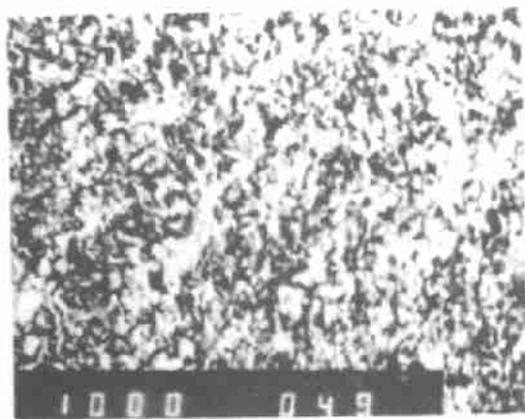


图6 A1喷熔层冲蚀面形貌

攻角45°,温度500℃ 磨粒速度30.18m/s
磨粒输送量42.6kg/h

那么软质相就成了位于它们之间被“锻打”的材料。在粒子的冲击下,软质相不断被“锻打”和挤压,而发生加工硬化和疲劳作用,在

其脆弱部位产生裂纹或使已存在的裂纹扩展,结果导致软质相疲劳剥落,而且随着硬质相的增加,这种作用更加明显(见图7)。当

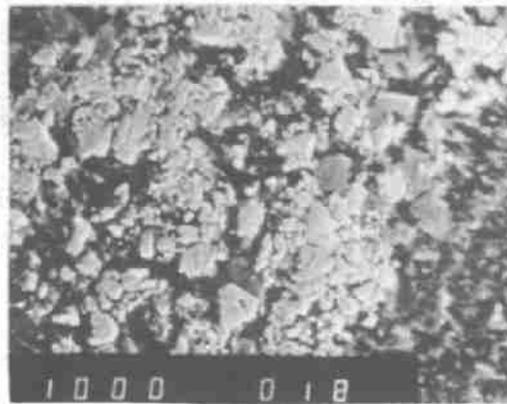


图7 A1+35%WC喷熔层冲蚀面形貌

攻角45°,温度500℃ 磨粒速度30.81m/s
磨粒输送量42.6kg/h

然,如果硬质相较少,则软质相本身易受到冲击粒子的犁切作用而流失。软质相的流失使硬质相凸出于表面,这些硬质相在受到粒子不断冲击下,一方面由于其质脆,产生冲击疲劳而断裂流失,另一方面由于其周围的软质相不断流失,削弱了基体对它们的粘接能力,在受到冲击振动时,与软质相脱离而脱落。所以,对于这类喷熔层,控制好喷熔层的致密性和硬质相的含量、大小及分布是提高其高温冲蚀磨损抗力的关键。

4 结论

(1) A1、A2镍基合金喷熔层的基体相为Ni-Cr-Fe固溶体,第二相为Ni₂B、CrB、Cr₂₃C₄、Fe₂B、Cr₇C₃,加入WC后,增加了WC、W₂B₃相。

(下转400页)

4 结论

(1) 对于膨胀比一定的螺杆膨胀机,以汽水混合物为工质时,其理论功率主要取决于工质进口温度。低干度区螺杆膨胀机的理论功率大于高干度区,且工质进口温度愈高愈明显。

(2) 当螺杆膨胀机排气容积一定时,对于一定的进口工质状态,存在一峰值功率膨胀比 R_{vP} ,当膨胀机膨胀比 $R_v = R_{vP}$ 时,膨胀机理论功率达到最大值。 R_{vP} 对螺杆机结构参数确定有重要指导意义。

作者简介:王维,男,1960年生,1988年获天津大学工程热物理专业硕士学位。从事过工业锅炉、集中供热、空气调节、热工节能和新能源等方面的教学和科研工作。现为中国民航学院讲师。(300300天津市东丽区跃进路福阳东街2条9号301信箱)

(3) 热水在进入螺杆膨胀机前预先微作节流不仅有助于增加系统效率,且有助于增加理论功率。但若节流幅度过大,则会使理论功率减小。

参 考 文 献

- 1 王维. HSE-TUR 复合地热发电系统研究. 天津大学研究生论文, 1988
- 2 House P A. Helical screw expander. UCRL-52043, 1976
- 3 斯米特 E. 格里古尔 U. 国际单位制水和水蒸汽性质. 水力电力出版社, 1983

(李乡复 编辑)

(上接 384 页)

(2) 镍基合金喷溶层不仅具有较高室温和高温硬度,而且具备良好的抗弯曲开裂能力和结合性能。

(3) A1、A2、A1+35%WC、A2+35%WC 和 A1+50%WC 的抗氧化能力分别约比 20 钢提高了 106、105、56、54 和 48 倍。

(4) 喷溶层中软质基体相被冲击粒子“锻打”产生疲劳剥落,削弱了基体相对硬质相的粘接力,造成硬质相粒子脱落,是导致冲蚀磨损的主要原因。

(5) 45°攻角时,镍基合金喷溶层比 20 钢抗高温冲蚀能力提高 4~5 倍。

作者简介:刘少光,男,1964年生。讲师,1984年毕业于浙江大学,1988年安徽工学院硕士毕业,现在安徽工学院从事电厂锅炉防腐措施研究及教学工作。(230069 安徽省安徽工学院 131 信箱)

参 考 文 献

- 1 李诗卓等. 材料的冲蚀磨损与微动磨损. 北京,机械工业出版社, 1987
- 2 邓世均. 国外热喷涂技术发展的特点及趋势. 材料保护, 1985, 1(5), 27~29
- 3 刘少光, 郭新成. 镍基和铁基合金喷溶层组织与性能的研究. 安徽工学院学报, 1993, 12(3), 1~5
- 4 Alan V. levy. The solid particle erosion behaviour of steel as a function of microstructure. Wear, 1981, 68(3), 269~287

(李乡复 编辑)

An abrupt converging and abrupt diverging piping should not be viewed as a simple superimposition of an abrupt converging connection to an abrupt diverging one. It has been found through tests that under the condition of a given distance of the abrupt convergent and abrupt divergent connection the pressure drop in a piping is related to the dual-phase flow dryness and gas flow rate for which the authors have derived the corresponding calculation formulas. Key words: abrupt convergence, abrupt divergence, gas/liquid dual-phase flow, pressure drop

磁化水在冷却循环和供暖系统中的应用研究—An Applied Study of Magnetized Water in a Cooling Circulation and Heat Supply System [刊,中]/ Guo Ping (Kunming Non-ferrous Metallurgy Design Institute), Zhao Danya (Yunnan Industrial University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -371~374

On the basis of the experimental research conducted by scientists of the former Soviet Union a series of theoretical analyses have been carried out regarding the mechanism of fouling prevention and elimination of magnetized water when used in a cooling circulation and heat supply system with the aim that such a technology may eventually find widespread uses in China. Key words: solubility product, salt hardness, hydration, magnetic field force, complex compound

循环流化床煤燃烧过程中 N_2O/NO_x 的排放研究—An Investigation on the Emissions of N_2O/NO_x During the Process of Circulating Fluidized Bed Coal Combustion [刊,中]/ Lu Jianxin, Liu Hao, Feng Bo, Lin Zhijie, Liu Dechang (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -375~380

On a circulating fluidized bed hot state test rig an investigation has been conducted of the generation during coal combustion of nitrogen oxides (including N_2O and NO_x) with the variation of their concentration along the bed height being measured. It has been found through tests that there emerged a continuous increase in N_2O and a drastic decrease in NO_x with the increase in furnace height. The N_2O attained a maximum value at the furnace outlet with a dramatic increase in emissions. The authors have analysed the underlying causes of such phenomena and also studied the effect of operating parameters on the N_2O and NO_x emissions. Key words: circulating fluidized bed, coal burning, nitrogen oxides

发电厂省煤器管镍基合金喷熔层组织与性能的研究—Study on Structures and Properties of the Nickel Based Alloy Spray Welding Layers on the Pipes of Economizers of Coal-Fired Power Stations [刊,中]/ Liu Shaoguang, Wang Ping, Shu Delin (Anhui Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -381~384

In this paper, the authors investigated on purpose the structures and properties of the nickel based alloy spray welding layers, considering the serious actual situation of high temperature erosion of the pipes of economizers of coal-fired power stations. It has been shown that there are the complex structures, higher hardness and connecting strength, excellent oxidation resistance and high temperature erosion resistance on the layers. It is fairly suitable to deal with the high temperature erosion problem of the pipes of the economizers. Key words: economizers, high temperature erosion, nickel based alloy spray welding layers, structures and properties

工业汽轮机转子高温疲劳及寿命评估—High-temperature Fatigue and Service Life Evaluation of Industrial Steam Turbine Rotors [刊,中]/ Guo Yimu, Lu Zutong, (Zhejiang University), Ni Jinhui, Sun Yinghai (Hangzhou Industrial Steam Turbine Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(6). -385~392

On the basis of industrial turbine rotor material low-cycle fatigue tests and the analysis under actual operating conditions of the rotor transient temperature and stress field a prediction of the rotor effective life has been conducted with the ensuing development of a special software. The analysis of specific examples shows that the software is capable of effectively