

不锈钢管喷丸加工后的耐水蒸气氧化特性

摘 要 火力发电锅炉过热器和再热器使用的SUS321HTB等18-8系不锈钢管内表面易生成氧化铁皮。对钢管的内表面施行喷丸加工处理,可有效地抑制氧化铁皮的生成。

关键词 不锈钢 锅炉管 喷丸加工 抗氧化特性

STEAM-OXIDIZATION RESISTANCE OF SHOT-BLASTED STAINLESS STEEL TUBE

Abstract Scale is often developed on internal surface of the stainless steel pipes of Schedule 18-8 like SUS 321 HTB pipe used in overheater and reheater of boilers at the thermal power station. Shot-blasted treatment to the said pipes' internal surface will contain the development of the scale.

Key words Stainless steel Boiler pipe Shot-blast process Oxidization resistance

1 前言

火力发电锅炉过热器和再热器使用的SUS321HTB等18-8系不锈钢管,由于长期输送高压水蒸气,内表面易生成氧化铁皮。因氧化铁皮与母材的热膨胀系数不同,在锅炉反复启动和停止的过程中,氧化铁皮容易剥落,堆积在钢管弯曲处,引起管子堵塞,或者散落在汽轮机上损坏设备等。对钢管内表面施行喷丸加工处理,可有效地抑制氧化铁皮的生成。

日本东京电力股份公司调查分析了已使用10余年的广野发电厂2号锅炉过热器和再热器SUS321HTB管喷丸处理后内表面氧化铁皮的生成状况,本文将对此作相应介绍。

2 调查的喷丸加工管

2.1 锅炉条件

东京电力股份公司广野发电厂的2号锅炉是在超临界压力标准蒸汽条件下运行的。锅炉型式为螺旋式;功率为60万kW;生产能力为1950t/h;蒸汽压力为27.4MPa;温度为

546℃至571℃;燃料为HO·CO;总的运行时间为78425h(从1980年7月开始运行)。

2.2 喷丸加工管的工作条件及取样位置

取锅炉过热器和再热器管各1支作调查对象。过热器管取样自锅炉三次过热器管的第44列第16支;再热器管取样自再热器管左第5列第12支。其工作条件及尺寸见表1。

表1 调查的喷丸加工管尺寸及工作条件

项目	尺寸/mm	蒸汽条件	
		压力/MPa	温度/℃
过热器管	Φ45×8.0×1000	27.4	564
再热器管	Φ57×4.5×1000	6	593

3 调查结果

3.1 化学成分

两支调查管的化学成分(表2)均在SUS321HTB标准范围之内。

3.2 表面状况

3.2.1 外表面

两支调查管外表面均有细粒状白色燃烧

表2 调查的喷丸加工管的化学成分%

项目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti
过热器管	0.07	0.55	1.72	0.017	0.009	10.16	17.86	0.50
再热器管	0.07	0.59	1.70	0.016	0.004	10.16	17.41	0.40
标准	0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.030	≤0.030	9.00~13.00	17.00~20.00	4×C%/0.60

附着物, 没有发现管壁减薄现象。

3.2.2 内表面

两支调查管内表面都存在致密的青灰色氧化铁皮, 没有剥离现象, 仅有喷丸加工的凸凹印记。再热器管上生成的氧化铁皮比过热器管的厚。

3.3 尺寸检查

把调查管放入过硫酸铵水溶液中煮沸, 去掉外表面附着物, 测定的外径(4个点)和壁厚(8个点)均在公差范围内, 且有余裕。

3.4 氧化铁皮的测定

3.4.1 测定方法

距调查管端20mm处取长15mm的环形试样, 按圆周方向等分成8份, 对试样内表面养生(防止氧化铁皮脱落), 再研磨与钢管轴向成直角的断面。用320倍光学显微镜测定钢管内表面沿全长生成的氧化铁皮的厚度和宽度, 根据实测的氧化铁皮的平均厚度, 计算出生成氧化铁皮的比率。

3.4.2 测定结果

氧化铁皮厚度测定结果见表3。未经喷丸的SUS321HTB钢管, 在同样条件下使用, 其内表面生成的氧化铁皮平均厚度为150~200 μm 。测定结果表明, 经过喷丸加工的SUS321HTB不锈钢管耐高温水蒸气的特性比未经过喷丸加工的优越。

3.5 SEM观察结果

用电子扫描显微镜(SEM)观察调查管内表面发现, 过热器管内表面只有局部氧化铁皮(1 μm 以下), 再热器管内表面存在10 μm 厚的粒状氧化铁皮。

表3 过热器、再热器管内氧化铁皮厚度

项目	总长度/mm	氧化铁皮厚度/ μm		
		1	2	平均
过热器管	80	0.089	0.111	0.100
再热器管	96	1.147	1.422	1.285

注: 两者氧化铁皮厚度不同是由于工作温度不同所致。

3.6 氧化铁皮解析

3.6.1 EPMA分析结果

用电子探针X射线显微测定仪对调查管基体(母材)和氧化铁皮中的Fe, O, Cr, Ni, Si, Mn元素进行分析。由分析结果可知, 在过热器管上生成的氧化铁皮与基体处附近有Cr的富集峰值, 即有Cr富集层, 在该部位Mn也富集, Fe, Ni元素含量减少。与此相反, 在Cr富集层外侧的氧化铁皮中, Cr, Mn含量减少, 主要含Fe元素。

再热器管也是如此, 但Mn的富集没有过热器管明显, 在基体氧化铁皮侧主要是Fe的富集层。

一般由水蒸气所致的氧化铁皮为内外两层, 外层以Fe为主, 内层除Fe外主要含Cr元素。对于细晶粒钢来说, 在氧化铁皮和基体处且靠近基体一侧, 会形成Cr的富集层, 特别是经过喷丸加工的钢管内表面, 形成这种Cr的富集层特别明显。

3.6.2 SIMS分析结果

采用二次离子质量分析仪(SIMS)对过热器管上的氧化铁皮进行分析, 其结果在氧化铁皮内侧是Cr的富集层, 外侧是以Fe为

主体的氧化铁皮。

从EPMA和SIMS的分析结果看,喷丸加工对抑制水蒸气所致的氧化铁皮的生成作用明显。分析认为,喷丸加工属于冷加工,会在钢管内表面基体上形成大量的滑移线等扩散通道,在500℃以上的高温下促进Cr从基体向氧化铁皮中扩散,形成以Cr为主体的氧化物。在Cr的氧化物中,由于金属离子的扩散非常慢,因此有效地抑制了氧化铁皮的生成,从而提高了钢管耐水蒸气氧化的特性。

为验证这种观点,又在实验室进行了钢管耐水蒸气氧化性能的试验。试验材料为SUS321HTB喷丸及未喷丸的钢管。水蒸气试验结束后采用俄歇(Auger)电子分光分析仪(AES)分析钢管表面,结果发现在喷丸管上有Cr元素的峰值,即有Cr富集层。与此相反,在未经喷丸的钢管上没有Cr元素的峰值,即无Cr富集层,主要含Fe元素。

由此可以确认,喷丸加工加速了Cr的扩散,形成保护性强的Cr的氧化物,从而使钢管具有耐水蒸气氧化的作用。

3.7 显微组织及硬度

3.7.1 显微组织

由金相检验结果可知,在两支调查管内表面喷丸部位的滑移线上均有碳化物析出,

并有 δ 相析出。钢管组织均匀。

3.7.2 硬度

硬度测定是沿钢管内表面方向和壁厚方向进行的。

采用显微维氏硬度计(载荷0.5N)沿内表面方向测定,调查管内表面的硬度为HV169~208,低于未使用的喷丸钢管内表面40 μ m处的硬度值(HV280以上),这是由于在高温下长期工作所致。

采用维氏硬度计(载荷100N)沿壁厚方向,分别在外表面、中间部位和内表面选择3点测定。测定结果,过热器管和再热器管硬度有异,但所有硬度值均在HV200以下,且硬度变化均匀。

3.8 拉伸、冲击及蠕变试验

3.8.1 拉伸试验

试样尺寸:过热器管 Φ 6mm \times 30mm,再热器管 Φ 4mm \times 20mm。室温和高温拉伸试验结果见表4,调查管在常温下抗拉强度较高,在高温下强度和延伸率均有所降低。这与碳化物析出有关。

3.8.2 冲击试验

夏氏冲击试验结果列于表5。试样尺寸:过热器管5mm \times 10mm \times 55mm,再热器管2.5mm \times 10mm \times 55mm。试验温度为0℃。由

表4 调查管在室温和高温下的拉伸性能

项目	试验温度/℃	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率%	断面收缩率%
过热器管	室温	648	314	48	63
	550	394	160	32	51
	600	380	122	33	53
	650	346	106	30	50
再热器管	室温	674	347	36	51
	550	408	175	31	49
	600	362	114	34	48
	650	334	107	34	50
标准	室温	\geq 520	\geq 205	\geq 35	

表5可知,调查管具有良好的冲击韧性。

表5 调查管在0℃下的冲击值/ $J \cdot cm^{-2}$

项目	冲击值	平均冲击值
过热器管	104, 102, 102	103
再热器管	92, 86, 92	89

3.8.3 蠕变试验

蠕变试验在650℃和700℃下进行,试验结果表明,调查管在试验温度下的蠕变断裂强度与新使用的SUS321HTB管的平均断裂强度相同。

4 结语

(1)对SUS321HTB喷丸加工过热器和

再热器管的调查结果表明,喷丸加工钢管内表面生成的氧化铁皮很薄:过热器管平均厚度 $0.1\mu m$,再热器管平均厚度 $1.3\mu m$ 。氧化铁皮无剥落现象。未经喷丸加工的钢管氧化铁皮厚 $150\sim 200\mu m$ 。可见喷丸加工效果良好。

(2)喷丸加工使氧化铁皮与基体处形成了Cr的富集层,从而抑制了氧化铁皮的生成。

(3)喷丸加工钢管经过长期使用后,其显微组织、硬度和强度等虽有变化,但仍具有良好的技术性能。

张朝生编译

(收稿日期:1996-10-18)

●信息

天津市无缝钢管厂 $\Phi 100mm$ 机组技改项目通过天津市验收

THE TECHNICAL REVAMP PROJECT OF THE $\Phi 100mm$ TUBE MILL OF
TIANJIN MUNICIPAL SEAMLESS STEEL TUBE PLANT CHECKED
AND ACCEPTED BY THE MUNICIPAL AUTHORITIES

天津市无缝钢管厂 $\Phi 100mm$ 机组技改项目已顺利通过了由天津市经委、计委、环保局等14个部门参加的市级验收。

该项目是天津市“八五”重点技改项目,总投资1.37亿元,从1994年4月中旬开始进行,1995年3月底全线热负荷试车一次成功,同年7月初转入试生产。该项目引进的关键设备阿塞尔轧管机具有90年代初国际先进水平。采用IPC工业微机和PLC集散系统控制,实现了轧制过程的全自动化,并与原引进的考克斯公司二十四架张力减径机组组成了一条生产小直径热轧无缝钢管的生产线。其余设备均由国内配套,穿孔机和定径机也同时进行了更新,精整作业区采用了高速切管机和无损探伤设备。改造后的生产能力达7万t/a。

该技改工程的建成投产,使天津市无缝钢管厂的品种结构和产品实物质量得到很大的改善和提高。一年多来,按美国石油学会标准API 5CT成功地生产了 $\Phi 73mm \times 5.51mm$, $\Phi 88.9mm \times 6.45mm$, $\Phi 101mm \times 6.65mm$ 等规格的API油管用热轧无缝钢管,经大港油田、胜利油田和大庆油田加工后使用,效果良好。

(天津市无缝钢管厂 钟锡弟)