

T91材质金相组织和硬度异常分析

范浙铭

浙江省特种设备科学研究院 浙江 杭州 310020

摘要: 浙江某火力发电厂汽水管道全面检验中发现补汽阀进汽管道疏水金相组织异常和硬度异常, 分析可能产生金相组织和硬度异常产生的原因, 并给出相关结论及建议。

关键词: 金相组织; T91; 硬度

1 概述

浙江某火力发电厂1000MW超超临界燃煤机组汽水管道全面检验中发现补汽阀进汽管道疏水金相组织异常和硬度异常, 该管道相关材质及运行参数见表1, 管道累计

运行小时数约111000小时。本文通过对金相组织和硬度的分析, 从使用工况和制造工艺分析了可能产生金相组织和硬度异常的原因, 并给出相关结论及建议。

材质	使用焊材	规格	设计压力	设计温度	使用压力	使用温度
SA213 T91	9CrMoV-N	φ60.3×14.3mm	31.5MPa	600℃	27.7MPa	600℃

2 材质情况介绍

T91钢是火力发电机组常用的马氏体耐热钢, 其性能优异, 特别是在高温下能表现出较好的力学性能, 可以减小管子壁厚, 有较好的技术和经济价值。T91钢是一种改进的9Cr1Mo钢, 通过降低含C量, 严格限制S、P的质

量分数, 添加少量的V、Nb、N等微量元素来改善其力学性能, ASTM 213/A213-85C标准中规定T91钢的化学成分见表2, 其正常母材组织为回火索氏体或者回火马氏体见图1。

表2 标准规定T91的化学成分

元素	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
质量分数	0.08~0.12	0.30~0.60	≤0.02	≤0.01	0.20~0.50	8.00~9.50	0.85~1.05
元素	V	Nb	N	Ni	Al		
质量分数	0.18~0.25	0.06~0.10	0.03~0.07	≤0.40	≤0.40		

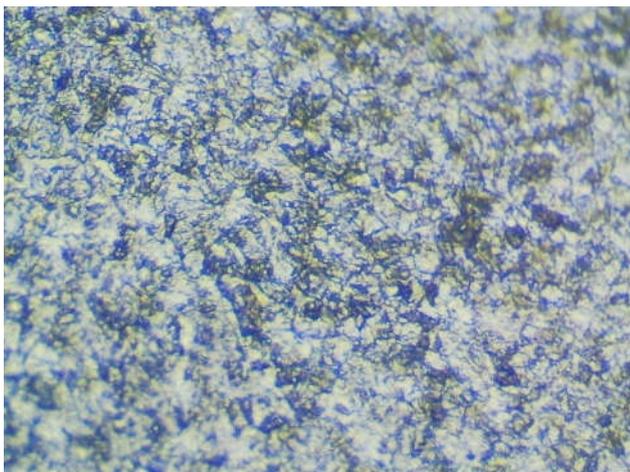


图1 正常的T91钢组织(500倍)

在本次汽水管道全面检验中, 用S1TITAN 500E直读式光谱仪对该段疏水管道母材和焊缝进行化学成分分析, 分析结果均在相关标准要求范围内。

3 金相组织和硬度情况介绍

现场金相检验是火力发电厂汽水管道全面检验中的各项检验手段之一, 对保证火力发电机组及其汽水管道的安全运行具有重要作用。T91钢因长期在高温、高压环境下运行, 随着运行小时数的增加会导致金相组织的老化, 从而引起材料高温性能的劣化。T91钢作为火力发电厂各类大小机组常用钢, 在我国已有二十余年的使用历史, 有的机组已运行20万小时以上, 长期运行过程中, 汽水管道的失效是影响发电机组安全、经济运行的主要因素之一, 其安全稳定运行与否直接关系到整个电厂的安危。因此, 金相检验是判断材料的老化状态并以此进行寿命管理, 对于保证T91钢汽水管道的安全运行具有重要的理论和实践意义。本次检验中, 用PTI5500现场金相仪对补汽阀进汽管道疏水管道进行金相检验, 金相检验部位见图2, 共检测4个部位, 测点方向为正上方, 均在疏水管道一次阀内。金相组织图见图3。

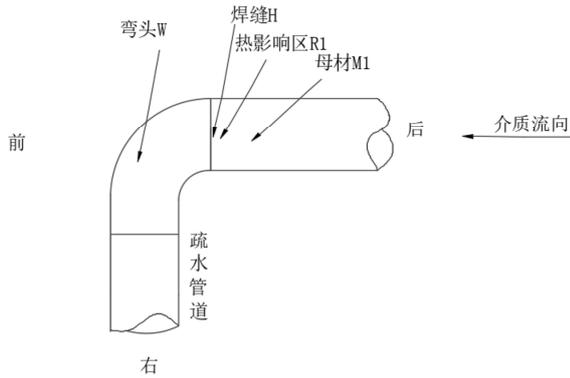


图2

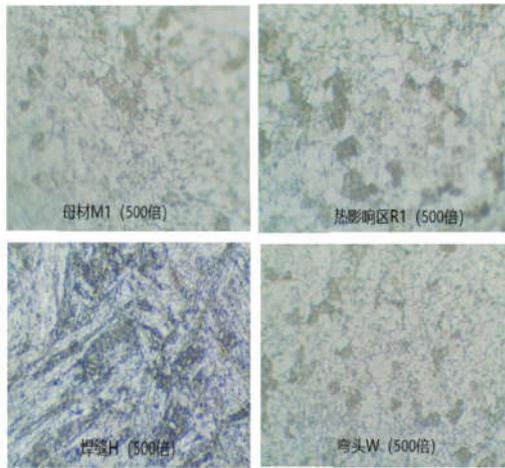


图3 金相组织图

母材M1、热影响区R1、弯头W金相组织为铁素体+碳化物，马氏体板条位向消失，碳化物析出聚集，根据DL/T884-2019标准^[1]，以上部位显微组织老化评级5级。焊缝H的金相组织为回火马氏体，焊缝金相组织正常。

用HT-2000A里氏硬度计对母材M1、热影响区R1、弯头W进行硬度检测，硬度检测部位与金相检验部位一致，检测数据如下表3：

表3 硬度检测数据表

测点编号	测点硬度HB					
	1	2	3	4	5	平均值
母材M1	157	156	160	155	153	156
热影响区R1	145	147	148	146	147	147
焊缝H	261	267	265	264	266	265
弯头W	145	144	148	146	145	146

根据DL/T438-2016标准^[2]，T91钢管硬度标准值为185~250HB，T91焊缝硬度标准值为185~290HB。母材M1、热影响区R1、弯头W硬度值低于标准要求，焊缝H硬度值正常。

以上金相及硬度检测部位经磁粉检测合格，焊缝经射线检测合格。

4 原因分析

(1) 使用方面：由于该管道已累计运行约111000小时，T91钢管在高温和应力的长期作用下会出现老化现象。碳化物的粗化及聚集长大将明显降低强化效果，同时位错密度下降也大大降低位错强化作用，这些是引起T91钢管软化的重要原因。硬度降低是T91钢管软化的主要表现，硬度值是反映材料综合性能的重要指标之一，硬度与强度有一定的关系，一般情况下，硬度较高的材料其强度也较高。当硬度降低时，其高温拉伸和室温拉的抗拉强度及规定非比例延伸强度也随之降低，硬度降低到150HB左右明显低于标准要求时，其抗拉强度及规定非比例延伸强度也随之明显低于标准要求。这将会给管道和机组安全正常运行带来严重的安全隐患。

(2) 制造方面：该次检验的T91钢的管壁厚较大，壁厚大的钢管热处理温度较难控制，热处理温度控制不当容易造成金相组织异常。T91钢热处理工艺见表4。保温后进行空冷。

表4 T91钢热处理工艺

材料	正火		回火	
	正火温度/℃	保温时间/h	回火温度/℃	保温时间/h
T91钢	1040~1080	1	750~780	1

得到完全的马氏体组织是正火的主要目的，首先加热向奥氏体完成转变，再由过冷奥氏体转变成马氏体。造成原奥氏体晶粒粗大的主要原因是正火温度过高和保温时间过长，从而形成粗大的马氏体组织。过高的正火温度还可能会造成高温铁素体的形成，一般在金相图中高温铁素体区位于奥氏体区的上方，一旦正火温度偏高，温度处于高温铁素体区时，在奥氏体晶界或晶内会析出高温铁素体，由于T91钢中Cr的含量较高，扩大了高温铁素体区，在之后的马氏体转变过程中，部分高温铁素体就有可能保留下来，高温铁素体会降低T91钢的力学性能。本次金相检验中并未发现高温铁素体组织，说明正火温度未超过最高限值。

冷却速度：应严格控制T91钢热处理的冷却速度，冷却速度如果过慢则没有马氏体组织产生。在实际热处理过程中，造成冷却速度太慢的原因可能是各种不同规格的材料同时堆放冷却，这样容易造成壁厚较薄的管子冷却速度过慢。

回火温度：T91钢的高温回火目的主要是降低马氏体转变产生的内应力和提高碳化物的析出，进而提高T91钢的高温力学性能。回火温度过低（假如低于750℃）会达不到想要的效果，回火温度过高则会对金相组织和力学性能产生一定的影响。如果回火温度过高，超过T91钢的

AC1线(810~830℃)时,有些马氏体转变成奥氏体,在随后的冷却过程中,奥氏体转变为马氏体,可能会使组织中存在未经回火的马氏体,极有可能变成混晶组织,会使T91钢的冲击韧性大幅降低^[1]。

5 结论及建议

为保证火力发电机组的安全运行,必须更换该段金相及硬度异常的疏水管道,并对整条疏水管道进行金相和硬度检测,汽机房内其它相同工况的T91钢也应进行相应检测。制定计划定期对汽水管道进行金相、硬度检测,现场进行的金相硬度跟踪检验对火电厂的金属监督工作起到很好的促进作用。加强运行管理,在使用过程中应避免出现超温超压等情况。建议在制造阶段加强对

T91 钢管生产工艺的监检,保证其组织和机械性能符合要求。制造阶段必须严格落实各项工艺制度,特别是热处理方面要严格控制正火温度、冷却速度、回火温度。

建议用户或者安装单位要加强对原材料采购入库的复验,并对同批次的材料进行金相和硬度抽查,保证原材料符合相关标准要求。

参考文献

- [1]DL/T884-2019,火电厂金相检验与评定技术导则[S].
- [2]DL/T438-2016,火力发电厂金属技术监督规程[S].
- [3]代小号,欧阳杰,徐雪霞等.T91钢金相组织异常原因分析及建议[J]河北电力技术2012(8):31-4