

# 电站锅炉用 TP347H 不锈钢无缝管工艺的开发

方旭东 徐鸿麟

(太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003)

**摘要** 太钢采用铁水预处理+30 t 电弧炉熔合金钢水-75 t K-OBM-S 吹炼-VOD 处理-LF 精炼-5.6 t 铸锭开坯(或 220 mm × 220 mm 铸坯)-Φ100 mm 管坯穿孔-冷轧(冷拔)流程,生产了 Φ38 mm × 6.6 mm TP347H (1Cr19Ni11Nb) 钢无缝管。结果表明,通过控制 [O] ≤ 30 × 10<sup>-6</sup>、[H] ≤ 3 × 10<sup>-6</sup>、As ≤ 0.003 0%、Pb、Sn、Sb、Bi 分别 ≤ 0.001 0% 以及钢中 C 含量 0.06% ~ 0.08%、Nb 含量 0.6% ~ 0.8%, 钢管具有优良的冷、热加工性能,其各项性能均满足 ASME 和 GB 标准的使用要求。

**关键词** 电站锅炉 TP347H 不锈钢管 三步法冶炼工艺

## Development of Process for Precipitation-Hardening Stainless Steel TP347H Seamless Tube for Power Station Boiler

Fang Xudong and Xu Honglin

(Technology Center, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

**Abstract** Φ38 mm × 6.6 mm seamless tube of steel TP347H (1Cr19Ni11Nb) was produced at Taiyuan Steel by hot metal pretreatment + 30 t EAF melting alloying steel - 75 t K-OBM-S blowing - VOD treatment - LF - bloom by 5.6 t ingot or 220 mm × 220 mm concasting billet - Φ100 mm tube blank piercing - cold rolling (cold drawing) flow sheet. Results showed that the tube had excellent cold and hot workability by control [O] ≤ 30 × 10<sup>-6</sup>, [H] ≤ 3 × 10<sup>-6</sup>, As ≤ 0.003 0%, Pb, Sn, Sb, Bi respectively ≤ 0.001 0%, and C content in steel 0.06% ~ 0.08%, Nb content 0.6% ~ 0.8%, and each property of tube met the requirement of ASME and GB standard.

**Material Index** Power Station Boiler, Stainless Steel TP347H, Tri-step Steelmaking Process

### 1 生产工艺开发

超(超)临界电站锅炉中过热器和再热器实际使用压力在 25.4 ~ 30.0 MPa, 使用温度是 540 ~ 605 ℃ 和 569 ~ 605 ℃。

超(超)临界电站锅炉用不锈钢 TP347H (1Cr19Ni11Nb) 中的 Nb 作为合金元素加入到钢中, 与 C 生成的碳化物可产生沉淀硬化弥散作用<sup>[1-3]</sup>。

#### 1.1 生产工艺流程及主要技术参数

太钢生产 1Cr19Ni11Nb 不锈钢无缝钢管的工艺  
流程为:预处理铁水 + 电弧炉(表 1)熔合金液 →  
75 t K-OBM-S 冶炼(表 2) → VOD 处理 60 min (66.7  
Pa) → LF → 模注 5.6 t 方锭 → 红送开坯、轧制 → 穿孔  
——— 连铸 220 mm × 220 mm ————— ↑  
→ 冷轧(拔) → 热处理。

#### 1.2 生产过程中采取的主要工艺措施

(1) 1Cr19Ni11Nb 化学成分内控范围见表 3。选用合适的 K-OBM-S 冶炼不锈钢数学模型进行主成分控制, 碳含量模型计算结果与实际冶炼结果的绝对误差, 满足误差范围(±0.03%) 的命中率为 95.6%, 铬含量满足误差范围(±0.03%) 的命中率为 85.2%。

表 1 30 t 超高功率电弧炉主要参数  
Table 1 Main parameters of 30 t UHP EAF

项目	参数
型式	AC UHP EAF
变压器额定容量/MVA	25
最大出钢量/t	35
精炼周期/min	60
出钢方式	偏心炉底

表 2 75 t K-OBM-S 顶底复吹转炉主要参数  
Table 2 Main parameters of 75 t K-OBM-S top and bottom combined blown converter

项目	参数
转炉容量/t	75
K-OBM-S 底吹风嘴/个	5
底吹气种类(中心管)	Ar、O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>
底吹保护气种类(环管)	N <sub>2</sub> 、LPG
底供气强度/[m <sup>3</sup> · (min · t) <sup>-1</sup> ]	1.5
顶吹气种类	Ar、O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>
冶炼周期/min	55
炉衬寿命/炉	400
炉底寿命/炉	200

为 85.2%。

(2) VOD 精炼时按照“VOD 高碳区高真空度脱氮工艺模型”冶炼, 要求 VOD 真空度 ≤ 300 Pa 下保

持 10 min 以上,使钢中 N、H 含量分别控制在  $150 \times 10^{-6}$  和  $3 \times 10^{-6}$  以下。

(3) 原料采用预处理铁水 ( $P \leq 0.010\%$ ) 和熔融合金 ( $Pb, Sn, Sb, As, Bi$  各  $\leq 30 \times 10^{-6}$ , 五害元素总量  $\leq 120 \times 10^{-6}$ ) 进行冶炼,精炼过程采用 Si-Al 复合脱氧,LF 深脱氧技术、深脱硫技术和钙处理技术,实现了洁净钢的生产和对夹杂物形态的控制。

(4) 钢锭开坯和连铸坯均热温度限定在  $1260 \sim 1280 \text{ }^\circ\text{C}$  之间,时间  $\geq 3 \text{ h}$ ,以保证直接由熔体大量生成的 NbN 和结晶过程中形成的 Nb(CN) 和 NbC 充分溶解。开坯和轧制时,采用大压缩比(单道次变形量  $\geq 30\%$ ) 进行开坯。圆坯穿孔时,开轧温度控制在  $1120 \sim 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(5) 荒管进行软化处理和酸洗检验,并及时清

除表面缺陷,初始道次间的变形量控制在 55% 以上。

(6) 成品热处理温度  $\geq 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,以保证成品钢管具有高的持久强度和蠕变极限。

## 2 实物质量和性能

### 2.1 钢厂检验结果

对试制  $\Phi 38 \text{ mm} \times 6.6 \text{ mm}$  1Cr19Ni11Nb 钢管化学成分进行分析,各元素含量控制在标准要求范围内(表 3)。

显微特征符合 ASME SA-213M、GB5310,检验后 A、B、C、D 类非金属夹杂物  $< 1$  级,晶粒度控制在 4~6 级。 $As \leq 0.0030\%$ ,  $Pb, Sn, Sb, Bi$  单一元素均  $\leq 0.0010\%$ 。

表 3 1Cr19Ni11Nb 钢化学成分控制范围/%  
Table 3 Control range of chemical compositions of steel 1Cr19Ni11Nb / %

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	N	Cu	V	Ti
ASME SA-213M	0.04 ~ 0.10	$\leq 0.75$	$\leq 2.00$	$\leq 0.040$	$\leq 0.030$	17.0 ~ 20.0	9.0 ~ 13.0	8C ~ 1.0	-	-	-	-
波动范围	0.06 ~ 0.08	0.22 ~ 0.45	1.16 ~ 1.44	0.016 ~ 0.020	0.001 ~ 0.005	18.2 ~ 18.8	11.0 ~ 11.5	0.6 ~ 0.8	0.009 ~ 0.015	$\leq 0.01$	$\leq 0.03$	$\leq 0.01$
平均值	0.071	0.33	1.24	0.018	0.002	18.3	11.2	0.72	0.013	-	-	-

注:  $[O] \leq 30 \times 10^{-6}$ ,  $[H] \leq 3 \times 10^{-6}$

按 ASME SA-213M 标准要求检验,钢管的常温力学性能、工艺性能和耐晶间腐蚀性能,一次检验合格率 100%。室温力学性能和硬度测试结果见表 4。

表 4 1Cr19Ni11Nb 钢室温力学性能  
Table 4 Mechanical properties of steel 1Cr19Ni11Nb at ambient temperature

项目	$R_{p0.2}$ / MPa	$R_m$ / MPa	$A_5$ / %	硬度 (HV10)
ASME SA-213M	$\geq 205$	$\geq 515$	$\geq 35$	$\leq 200$
波动范围	260 ~ 295	560 ~ 620	53 ~ 67	165 ~ 198

### 2.2 用户检验结果

开发的 1Cr19Ni11Nb 不锈钢无缝钢管管坯及钢管,已经全部送往哈尔滨锅炉厂和东方锅炉厂材料研究所进行性能评定,分别按照 ASME SA-213M、GB/T5310-1995 和各锅炉厂各自企业的材料采购标准要求,分别进行表面质量、几何尺寸、化学成分、高低倍组织、晶粒度、夹杂物、室温力学性能、压扁实验、扩口实验、硬度实验、晶间腐蚀性能等项目的测试,经测试各项性能均能满足标准要求,产品应用于哈尔滨锅炉厂和东方锅炉厂制造的电站锅炉上。目前,太钢已经批量生产 1Cr19Ni11Nb 不锈钢管,其销

售量已超过 1 000 t。

## 3 结论

根据 TP347H (1Cr19Ni11Nb) 不锈钢在电站锅炉使用环境中的特点,通过合理的成分设计,选择恰当的 Nb 含量和 C/N 比,选择并优化试制过程中的冶炼工艺、连铸工艺、轧制工艺和热处理工艺,成功开发了 1Cr19Ni11Nb (TP347H) 不锈钢无缝钢管。该钢管成分组织均匀,冷、热加工性能良好,其综合性能完全能够满足超(超)临界电站锅炉用钢的技术要求。

### 参考文献

- 1 基奥 S R, 皮克林 F B. 不锈钢中的铌. 铌在不锈钢生产中的应用文献资料汇编, 2003: 74
- 2 Dulieu D. 铌在奥氏体不锈钢和双相不锈钢中的作用. 铌·科学与技术, 2003: 620
- 3 陆世英, 张廷凯, 康喜范. 不锈钢. 北京: 原子能出版社, 1995

方旭东(1975-), 男, 工程师, 1997 年天津理工学院金属压力加工专业毕业, 从事不锈钢管新产品开发。

收稿日期: 2006-10-09