

天津钢管集团股份有限公司 T91 高压锅炉钢管材的试制

谷立功 肖功业 王国亮
(天津钢管集团股份有限公司, 天津 300301)

摘 要 天津钢管集团股份有限公司采用废钢 + DRI + 生铁-100 t UHP EAF-LF(VD) -CCM(EMS) Φ 210 mm 圆坯-热轧 Φ 89 mm \times 7 mm 管-冷轧工艺流程试生产了 T91(10Cr9Mo1VNb) 钢 Φ 51 mm \times 6 mm 和 Φ 60 mm \times 6 mm 冷轧管。测试了所生产的 T91 钢管过冷奥氏体连续冷却转变曲线和钢管的力学性能。结果表明, 由于添加 V(0.20%) 和 Nb(0.09%) 并控制钢中 N 含量(0.032%), 使 T91 钢管的室温和 200 ~ 600 $^{\circ}$ C 力学性能满足 ASME SA-213M 要求。

关键词 T91 钢 高压锅炉管 试制

Pilot Production of High Pressure Boiler Tube of T91 Steel at Tianjin Pipe Group Corp Ltd

Gu Ligong, Xiao Gongye and Wang Guoliang
(Tianjin Pipe Group Corp Ltd, Tianjin 300301)

Abstract The cold rolled tube Φ 51 mm \times 6 mm and Φ 60 mm \times 6 mm of T91 (10Cr9Mo1VNb) steel pilot produced by scrap + DRI + pig iron - 100 t UHP EAF - LF(VD) - CCM(EMS) Φ 210 mm round billet - hot rolling tube Φ 89 mm \times 7 mm - cold rolling process at Tianjin Pipe. The continuous cooling transformation curves of overcooling austenite and mechanical properties of produced T91 steel tube were examined. Results showed that due to addition of V(0.20%) and Nb(0.09%) and control of N content in steel (0.032%), the mechanical properties of T91 steel tube at ambient and 200 ~ 600 $^{\circ}$ C met to requirement of standard ASME SA-213M.

Material Index T91 Steel, High Pressure Boiler Tube, Pilot Production

1 试制工艺

天津钢管集团股份有限公司 T91 (10Cr9Mo1VNb) 钢冶炼工艺为: 废钢 + DRI + 生铁-EAF(100 t UHP)-LF-VD-CCM(EMS); 电弧炉配用一定比例的海绵铁 DRI(图 1) 为冶炼原料, 以稀释钢中有害元素 (Pb、Sn、As、Sb、Bi); CCM 连铸生产 Φ 210 mm 管坯。

轧制工艺流程为: Φ 210 mm 管坯加热-穿孔-PQF 连轧-再加热-张减径 Φ 89 mm \times 7 mm-复合探伤-冷轧 Φ 51 mm \times 6 mm, Φ 60 mm \times 6 mm-正火(气体保护) + 回火-探伤-精整-喷漆、喷标、打捆-入库。

PQF 轧机工艺控制: 环形炉温度 1 150 ~ 1 210 $^{\circ}$ C; 连轧出口温度 1 090 ~ 1 105 $^{\circ}$ C。

用气体保护炉对锅炉管进行最终热处理。

冷加工制管工艺: 用热轧无缝管作管坯, 再经冷轧及热处理、矫直、探伤等工序生产钢管。

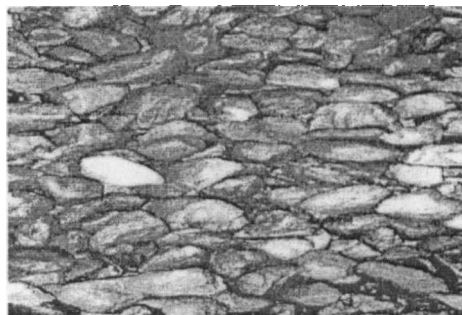


图 1 电弧炉 DRI 原料
Fig. 1 DRI charging for Arc furnace

2 试制和检验结果

T91 钢管成品化学成分见表 1。天津钢管集团股份有限公司的 T91 钢管过冷奥氏体转变曲线 (CCT) 见图 2。

钢管组织: 钢管的低倍组织无分层、白点、翻皮、夹杂、皮下气泡等缺陷。钢管的金相组织、晶粒度、

表 1 T91 钢成品化学成分/%
Table 1 Chemical composition of T91 steel / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	O	N	Al	Nb
T91 成品	0.10	0.41	0.43	0.011	0.006	0.16	8.77	0.89	0.08	0.20	0.006 6	0.032	0.013	0.09
ASME SA-213M	0.08 ~ 0.12	0.20 ~ 0.50	0.30 ~ 0.60	\leq 0.020	\leq 0.010	\leq 0.40	8.00 ~ 9.50	0.85 ~ 1.05	-	0.18 ~ 0.25	-	0.030 ~ 0.070	\leq 0.04	0.06 ~ 0.10

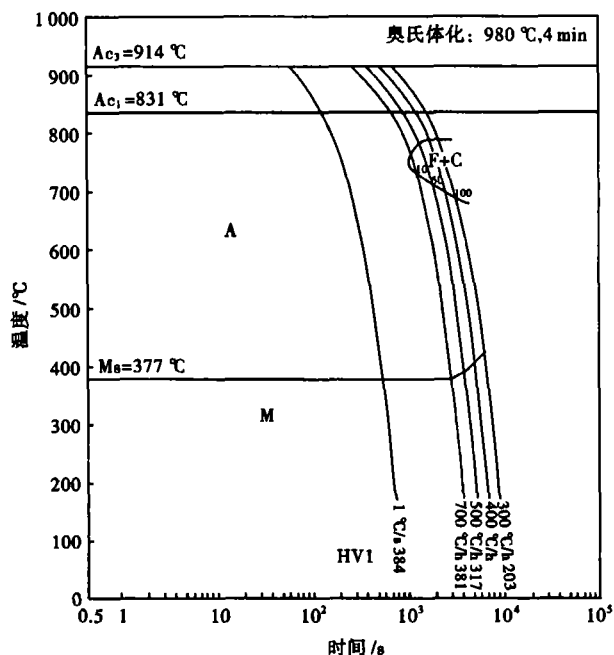


图2 T91 钢过冷奥氏体转变曲线

Fig.2 Continuous cooling transformation curves of overcooling austenite of T91 steel

夹杂物评级结果见表2。

ASME SA-213M 要求 T91 钢管的 HRC 值 ≤25, 天津钢管公司生产的 T91 钢管 HRC 值为 11.4 ~ 15.0。T91 钢管热处理后力学性能见表3。钢管高温力学性能检验结果见图3。

表2 T91 钢管夹杂物、组织、晶粒度的检验结果

Table 2 Examination results of inclusion, structure and grain size in T91 steel tube

项目	夹杂物/级								组织	晶粒度/级
	A		B		C		D			
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗		
T91 钢管	0.5	0	1.0~2.0	0	0	0	1.0	0	S _回 或 S _回 +B _少	8.0~8.5
ASME SA-213M	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	S _回 +B _回	≥
	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		4.0

表3 T91 钢管力学性能检验结果

Table 3 Examination results of mechanical properties of T91 steel tube

项目	R _{1.0.5} /MPa	R _m /MPa	A/% (bo = 19 mm)	A _{KV} (10 mm × 5 mm 室温(纵)/J)	扩口/压扁	60°扩口率/%
T91 钢管	470~500	640~660	26.0~27.5	87~106	完好	22
ASME SA-213M	415	585	20	≥35		

注:热处理温度是根据气体保护炉实际情况制定的正火、回火温度及保温时间。

委托天津理工学院检测 Φ60 mm × 6 mm 钢管内表面粗糙度为 ∇7; 平均外径 60.11 ~ 60.15 mm,

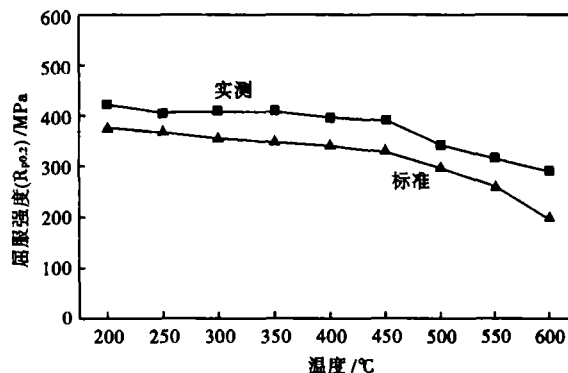


图3 T91 钢管高温瞬时力学性能

Fig.3 Tensile yield strength of T91 steel tube at elevated temperature

外径偏差 0.18% ~ 0.25%; 平均壁厚 5.85 ~ 5.90 mm, 壁厚偏差 1.6% ~ 2.5%。

各项分析结果表明,新开发的 T91 钢产品完全满足 ASME SA-213M 或 GB5310-1999 标准的要求,具有良好的强度和塑性。从生产的 600 余吨其它钢管的检验结果看,也证明了用连铸坯生产 T91 高压锅炉管是可行的。

T91 钢是在 T9/P9 钢基础上添加少量 V、Nb 并控制了 N 元素的钢种。为使 T91 钢具有优良的高温强度和韧、塑性以及低的韧-脆转变温度,连铸管坯成分一定要符合内控标准,成分控制中要考虑控制范围,如钢中 Cr 的含量及 C、N 和 V、Nb、Si 含量的关系,P、S 含量要低,C 或 Ni 偏低时,应注意 N 的作用(钢中有效 N)。影响持久强度、持久塑性的元素及工艺因素要控制好。为使 T91 钢性能良好,晶粒要细;对持久强度好,要控制好正火状态的组织和回火温度。

天津钢管公司对 T91 钢管的检验工作已完成,下一步全面开展用户评价工作。

3 结语

(1) T91 钢管的化学成分在标准要求内制定内控范围,有害元素及硫、磷的含量要低。保证 T91 Φ210 mm 圆坯无缺陷。

(2) 结合现场工艺装备所制定的生产工艺参数是可行的。T91 钢管产品的常温、高温力学性能均达到相应标准的要求。

谷立功(1958-),男,高级工程师,1987 年青海职工大学毕业,炼钢工艺和新产品开发。

收稿日期:2007-01-15