

HSL450S 海底管线管钢的开发

肖鸿光¹ 贺道中²

(1 衡阳华菱钢管(集团)技术中心,衡阳 421001; 2 湖南工业大学冶金校区,株洲 412000)

摘要 通过 90 t EBT 电弧炉 - 100 t LF + VD - 喂丝 - $\Phi 220$ mm CC 流程开发了 Nb-Ti 微合金化海底管线管钢 HSL450S(% : 0.06C, 0.40Cr, 0.15Mo, 0.02Ti, 0.05Nb)。经 30 炉分析得出, [O] 为 35.2×10^{-6} , [N] 为 78.8×10^{-6} 。该钢的组织为回火贝氏体-珠光体 + 多边形铁素体。轧制的 $\Phi 102$ mm \times 14 mm 和 $\Phi 168.3$ mm \times 8.7 mm HSL450S 钢管的晶粒度为 10 ~ 11 级, 机械性能满足海底管线管 X60、X65 钢级标准要求。

关键词 EAF - LF + VD Nb-Ti 微合金化 海底管线管钢 开发

Development of Undersea Linepipe Steel HSL450S

Xiao Hongguang¹ and He Daozhong²

(1 Technology Center, Hengyang Hualing Steel Tube (Group) Co Ltd, Hengyang 421001;
2 Metallurgical School, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412000)

Abstract The Nb-Ti microalloying undersea linepipe steel HSL450S (0.06C, 0.40Cr, 0.15Mo, 0.02Ti, 0.05Nb) has been developed by 90 t EBT arc furnace - 100 t LF + VD - wire feeding - $\Phi 220$ mm CC flow sheet. It was obtained by analyzing 30 heats that [O] was 35.2×10^{-6} and [N] was 78.8×10^{-6} . The structure of steel was tempered bainite-pearlite + polygonal ferrite. The mechanical properties of $\Phi 102$ mm \times 14 mm and $\Phi 168.3$ mm \times 8.7 mm tube of steel HSL450S with grain size rating 10 ~ 11 met the requirement of standard of for undersea linepipe steel X60 and X65 grade.

Material Index EAF - LF + VD, Nb-Ti Microalloying, Undersea Linepipe Steel, Development

1 海底管线管 HSL450S 钢成分设计

海底管线管材料性能要求:合适的机械性能和硬度,较好的断裂韧性和耐疲劳抗力、腐蚀抗力以及较好的可焊性。钢种必需低碳、降低 P、S 含量,降低锰含量,减少中心偏析,减少 A 类 MnS 夹杂物,并且钙处理球化^[1-3]。

适当考虑抗 CO₂ 腐蚀能力,添加适量的 Cr,控

制总铝和 Al:N 比值,保证固溶 [Al] 量。HSL450S 钢的化学成分如表 1。

2 30 t EAF HSL450S 钢小批量现场试验

两炉钢检验结果表明,VD 后钢中氧含量 22×10^{-6} ,氮含量 68×10^{-6} ,铸坯一般疏松、中心疏松、点状偏析均为 0.5 级,无缩孔残余、中间和中心裂纹。

表 1 HSL450S 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of steel HSL450S / %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	As	Ti	Sn	Al	Nb
0.06	0.21	0.85 ~ 1.10	≤0.010	≤0.005	0.10	≤0.10	0.40	0.15	≤0.010	0.020	≤0.010	0.040	0.05

HSL450S 钢坯的生产难点主要有:C 含量低且范围窄,P、S 含量低,Al、Ti 难准确控制。为了控制钢中残余有害元素,电弧炉配入优质生铁 45%,海绵铁 10% 左右,其余使用精选优质废钢。

电弧炉控制终点 [C]、[P],终点 [C] ≤ 0.02%、[P] ≤ 0.007%。Al 粒加入量为 2.40 ~ 3.00 kg/t_钢。

两炉钢材料中夹杂物含量级别低,钢的纯净度较高。夹杂物形态呈球状、点状,无长条状 MnS 夹杂,夹杂物变质处理效果好。

3 90 t EBT EAF HSL450S 钢批量生产

90 t EBT 电弧炉(表 2)批量生产的流程为:一级废钢、优质生铁和 HBI → 90 t EBT EAF → 100 t LF + VD → 喂丝 → 弧形连铸 $\Phi 220$ mm 圆管坯 → 穿孔钢管轧制 $\Phi 168.3$ mm \times 8.7 mm。

电弧炉每炉配生铁 40 ~ 41 t,配海绵铁 10 t 左右,其余使用精选优质废钢,每炉总装入量为 118 ~ 119 t。

HSL450S 钢氧化末期,[C] 0.018% ~ 0.025%、

表 2 高阻抗 AC 电弧炉主要设备技术参数

Table 2 Main technical parameters of high impedance AC electric arc furnace

项目	参数
出钢量/t	100
留钢量/t	20
变压器额定容量/MVA	70
电极直径/mm	600
炉壳直径/mm	6 100
通电时间/min	45
冶炼周期/min	58
冶炼电耗/(kWh · t ⁻¹)	320
电极消耗/(kg · t ⁻¹)	1.8

[O] (1 074 ~ 1 543) × 10⁻⁶, 出钢时 Al 粒加入量 240 ~ 300 kg/炉。

LF 采用泡沫渣埋弧操作, 沉淀脱氧和扩散脱氧相结合, 快速造白渣。VD 蒸气压力为 0.8 MPa, 蒸气温度在 200 °C, VD 高真空时间 ≥ 15 min; VD 后, 对钢水进行钙处理, 软吹氩时间 ≥ 10 min。

连铸采用长水口保护浇铸; 中间包采用碱性覆盖剂; 中间包钢水采用低过热度浇铸 (20 ~ 30 °C); 连铸时采用恒拉速浇铸; 结晶器采用电磁搅拌技术; 结晶器液面采用全自动控制。

通过采取以上工艺措施, 钢中 [O]、[N] 平均含量统计数据如表 3。

表 3 90 t EAF - LF + VD - CC 流程生产 HSL450S 钢中的气体含量, 30 炉/10⁻⁶Table 3 Gas content in steel HSL450S produced by 90 t EAF - LF + VD - CC flow sheet, 30 heats /10⁻⁶

工序	[O]	[N]
电弧炉氧化末期	1 320.3	-
LF 精炼毕	36.5	74.3
VD 吊包	27.8	69.8
中间包取样	32.5	75.3
结晶器内取样	35.2	78.8

注: 电弧炉氧化末期 [O] 为定氧仪测试结果统计。

4 Φ102 mm × 14 mm HSL450S 钢管的性能

将炉号 0612444V 圆坯在 Φ108 mm 机组轧制成 Φ102 mm × 14 mm 热轧态管。主要流程为: 环形炉加热 → 穿孔 → 三辊轧管 → 步进炉加热 → 高压水除鳞 → 张力减径 → 冷床冷却。

取 Φ102 mm × 14 mm 热轧态管钢管试样经 960 °C 70 min 淬火 + 550 °C 90 min 回火热处理后, 晶粒度达 12 级, 淬火组织为贝氏体 + 马氏体 + 珠光体 + 多边形铁素体。钢管回火组织为回火贝氏体-珠光体 + 多边形铁素体, 晶粒度 10 ~ 11 级 (图 1)。

将试样制成 19.0 mm × 50 mm 尺寸, 进行拉伸

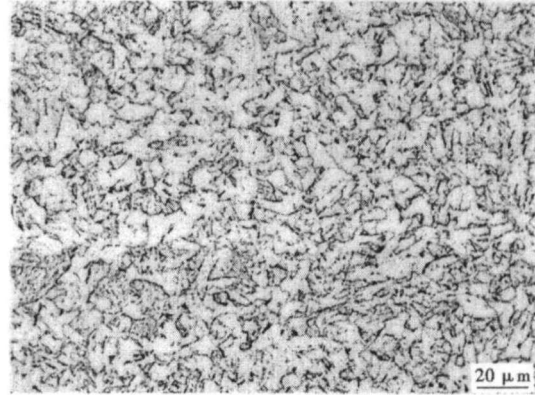


图 1 HSL450S 钢管的组织: 回火贝氏体-珠光体 + 多边形铁素体
Fig. 1 Structure of steel HSL450S tube; tempered bainite-pearlite + polygonal ferrite

表 4 HSL450S 钢管的机械性能

Table 4 Mechanical properties of steel HSL450S tube

项目	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{0.2}$ /MPa	屈强比 $R_{0.2}/R_m$	伸长率 $A^*/\%$	冲击功/J		
					20 °C	0 °C	-20 °C
HSL450S 钢管	580 ~ 622	489 ~ 525	0.80 ~ 0.86	24.5 ~ 26.5	318 ~ 345	340 ~ 365	270 ~ 365
GB/T 9711.3-2005	≥ 535	450 ~ 570	≤ 0.92	≥ 18	≥ 45, 平均 ≥ 60		

注: * 根据 GB/T17600.1-1998 换算为 5.65√ S_0 比例标距的伸长率。冲击试样为 10 mm × 10 mm × 55 mm 纵向试样。

拉伸试验, 机械性能试验结果见表 4。

5 结论

(1) HSL450S 钢成分设计合理, 工艺控制成熟, 钢中氧、氮含量低, 铸坯低倍组织完全符合标准要求。高倍检验, 钢中夹杂物含量较低, 夹杂物变质处理效果好。

(2) HSL450S 已成功开发, 钢管性能完全满足海底管线管 X60、X65 钢级标准要求, 晶粒度达 10 ~ 11 级, 表面质量较好。

参考文献

- 胡克迈, 傅继成, 张传友. X56 钢级海底无缝管线管的研制. 钢管, 2006, 35(1): 43
- 殷光虹, 施青, 孙元宁. 管线用钢氢致裂纹 (HIC) 影响因素分析. 钢管, 2004, 33(6): 20
- 王惠斌, 张传峰. 微合金化在海底管线管中的应用. 天津冶金, 2002(2): 11

肖鸿光 (1968-), 男, 高级工程师, 1991 年重庆大学毕业, 炼钢工艺和新产品开发。

收稿日期: 2007-06-18