

珠钢 150 t EAF-LF-CSP 工艺 X60 管线钢的开发

毛新平^{1,2} 庄汉洲² 李春艳² 刘清友³ 李烈军² 陈学文² 高吉祥² 陈麒麟²

(1 广州珠江钢铁有限责任公司, 广州 510730; 2 广钢集团技术中心 CSP 应用技术研究所, 广州 510730;

3 钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081)

摘要 珠钢用 150 t EAF-LF-50 ~ 60 mm 板坯连铸机-热连轧工艺和 Nb-Ti 复合微合金化技术开发了 9.50 mm 带 X60 管线钢 (% : 0.03 ~ 0.07C, 1.2 ~ 1.6Mn, Nb + V + Ti ≤ 0.15)。检验结果表明, 钢带组织为铁素体 + 少量珠光体, 晶粒度 11.5 ~ 12.0 级, 带状组织 ≤ 1.5 级, 屈服强度 440 ~ 505 MPa, 0 °C 夏比冲击功为 140 ~ 270 J, 其综合性能满足 API-5L 技术标准和工程使用要求。

关键词 150 t EAF-CSP 工艺 X60 管线钢 Nb-Ti 复合微合金化

Development of X60 Pipeline Steel by 150 t EAF-LF-CSP Process at Zhujiang Steel

Mao Xinping^{1,2}, Zhuang Hanzhou², Li Chunyan², Liu Qingyou³,
Li Liejun², Chen Xuewen², Gao Jixiang² and Chen Qilin²

(1 Guangzhou Zhujiang Steel Co Ltd, Guangzhou 510730;

2 CSP Applying Technology Institute, Technology Center, GISE, Guangzhou 510730;

3 Central Iron and Steel Institute, Beijing 100081)

Abstract The 9.50 mm strip of X60 pipeline steel (0.03 ~ 0.07C, 1.2 ~ 1.6Mn, Nb + V + Ti ≤ 0.15) has been developed by 150 t EAF - LF - 50 ~ 60 mm cast slab-hot continuous rolling process and Nb-Ti compound-alloying technology at Zhujiang Steel. Examination results showed that the structure of strip was ferrite + minor pearlite with grain size rating 11.5 ~ 12.0 and banded structure rating ≤ 1.5, the yield strength of was 440 ~ 505 MPa, charpy impact energy at 0 °C was 140 ~ 270 J. Its comprehensive properties meet the requirement of API-5L technical standard and engineering application.

Material Index 150 t EAF - CSP Process, X60 Pipeline Steel, Nb-Ti Compound Microalloying

消除含 Nb 钢的混晶问题是 CSP 工艺生产 Nb 微合金管线钢产品的技术关键^[1,2]。珠钢运用 60 mm 厚度铸坯成功开发了 9.50 mm 厚度 Nb 微合金 X60 管线钢。

1 生产工艺控制

珠钢生产 X60 管线钢(表 1)EAF-CSP 工艺流程为:电弧炉(表 2)-LF(表 3)-薄板坯连铸机(表 4)-辊底式均热炉-除鳞-六机架热连轧机组-层流冷却-卷取。

通过合理配料和优化 EAF 冶炼工艺,使钢中的碳、氮和铜含量控制在合理水平。利用 LF 深脱氧技术、深脱硫技术和钙处理技术,实现了纯净钢

的生产和对夹杂物形态的控制。通过采取上述技术措施,相关元素含量可控制在以下范围(%): [P] ≤ 0.015, [S] ≤ 0.005 0, [N] ≤ 0.008 0, [O] ≤ 0.003 0, 大部分夹杂物呈球状分布,尺寸细小。

对中间包过热度、连铸拉速、二冷制度、出坯温度和连铸保护渣等进行合理地控制和选择,成功地消除了 EAF-CSP 流程 Nb 微合金管线钢的铸坯裂纹问题。

珠钢充分利用均热炉采用轻柴油加热、能源热值高、稳定和易于高温加热的特点,将均热温度稳定控制在 1 130 °C 以上。结合轧机实际能力,尽量加大 F1、F2 机架变形量,提高开轧温度,使铸态

表 1 试制 X60 管线钢化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test X60 pipeline steel /%

| C | Si | Mn | P | S | Als | Ca | Nb + V + Ti | Cu + Cr + Ni + Mo | N |
|-------------|-------------|-------------|---------|---------|-------------|-----------|-------------|-------------------|---------|
| 0.03 ~ 0.07 | 0.10 ~ 0.50 | 1.20 ~ 1.60 | ≤ 0.020 | ≤ 0.010 | 0.01 ~ 0.05 | ≥ 0.002 0 | ≤ 0.15 | ≤ 0.30 | ≤ 0.010 |

表 2 电弧炉主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of arc furnace

| 项目 | 参数 |
|-------------------------------------|----------|
| 熔炼周期/min | 60 |
| 日平均炉数 | 32 |
| 平均容量/t | 180 |
| 炉料组成 | 废钢、DRI 等 |
| 变压器容量/MVA | 120 |
| 电极直径/mm | 610 |
| 电耗/kWh·t ⁻¹ | 350 |
| 电极消耗/kg·t ⁻¹ | 1.0 |
| 氧耗/m ³ ·t ⁻¹ | 70 |
| 燃气耗/m ³ ·t ⁻¹ | 0.05 |
| 产量/万 t·a ⁻¹ | 200 |
| 投产年月 | 1999.8 |

注:炉型为 AC,高阻抗,Shaft,EBT

表 3 LF 主要技术参数

Table 3 Main technical parameters of ladle furnace

| 项目 | 参数 |
|--------------------------|-----------|
| 额定处理量/t | 150 |
| 钢包直径/mm | 4 000 |
| 自由空间/mm | 600 ~ 800 |
| 变压器容量/MVA | 24 |
| 升温速度/℃·min ⁻¹ | 4 |

表 4 连铸机主要技术参数

Table 4 Main technical parameters of concaster

| 项目 | 参数 |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 中间包容量/t | 28 |
| 中间包过热度/℃ | 20 ~ 30 |
| 铸坯断面/mm × mm | (50 ~ 60) × (1 000 ~ 1 350) |
| 弧形半径/m | 3.0 |
| 流数 | 两机两流 |
| 流间距/mm | 2 400 |
| 铸(拉)坯速度/m·min ⁻¹ | 4.0 ~ 6.0 |
| 铸坯定尺长度/m | 47.8(max) |
| 冶金长度/m | 6.34 |
| 出坯温度/℃ | ≥ 950 |
| 矫直方式 | 连续矫直 |
| 二次冷却方式 | 向铸坯表面喷水 |
| 电磁搅拌(M-EMS) | 无 |
| 铸流保护 | 有 |
| 连铸机平均作业率/% | 80 |
| 连铸机连浇铸炉数 | 9 |
| 平均浇铸时间/min | 60 |
| 生产能力/万 t·a ⁻¹ | 180 |

粗大奥氏体组织尽可能发生再结晶。

2 试验钢的组织 and 性能

钢带组织为均匀细小的铁素体 + 少量珠光体,晶粒度 11.5 ~ 12.0 级,带状组织 ≤ 1.5 级。钢带夹杂物主要以球状氧化物和细系氧化铝为主,且级别一般都 ≤ 1.5 级。

钢带具有较高的强度和韧性,力学性能波动

较小(表 5)。钢带的落锤撕裂性能指标优异,在温度 0 ℃ 下 DWTT 断口的剪切面积大部分为 100%,仅个别样品出现 < 5% 的结晶状断口。

表 5 X60 管线钢的机械性能

Table 5 Mechanical properties of X60 pipeline steel

| 屈服强度/ MPa | 抗拉强度/ MPa | 延伸率/ % | A _{KV} (横向), 0 ℃/J |
|--------------|--------------|-----------|--------------------------------|
| 440 ~ 505 | 520 ~ 615 | 30 ~ 35 | 140 ~ 270 |

注:夏比冲击试样尺寸为 7.5 mm × 10 mm × 55 mm

钢带系列夏比冲击吸收功曲线上、下平台区间 50% 对应的温度为 -35 ~ -65 ℃,50% 结晶状断口对应温度为 -35 ~ -70 ℃。

从钢管的焊缝取样做拉伸试验,均断裂于母材部位,体现了 EAF-CSP 工艺生产的管线钢板优良的焊接性能。

3 应用情况

开发的 9.50 mm 厚度 X60 管线钢热轧板卷已全部发给钢管公司进行制管试验,由钢管公司采用 ERW(直缝高频电阻焊管)工艺焊接成 Φ323.9 mm × 9.50 mm × 12 000 mm 规格直缝焊管。经对钢管焊缝及热影响区的拉伸试验、断裂韧性试验、焊缝低倍形貌检验、钢管水压试验和整管无损检测等各工序的严格检验,结果全部合格,各项指标符合 API-5L 技术标准和工程使用技术要求。全部成品管已用于巴西天然气管道工程建设。

4 结论

60 mm 厚度薄板坯开发的 9.50 mm 厚度 Nb 微合金化 X60 管线钢钢带组织细小、均匀,具有优异的强韧性,并具有良好的低温韧性和焊接性能,钢带的综合性能完全能满足 API-5L 技术标准和工程使用技术要求。

参考文献

- 刘清友,董瀚,孙新军,等. CSP 工艺中含 Nb 钢的混晶问题及改善方法. 钢铁, 2003, 38(8): 16
- Uranga P. Transition Between Static and Metadynamic Recrystallization Kinetics in Coarse Nb Microalloyed Austenite. Materials Science and Engineering, 2003, A345: 319

毛新平(1965-),男,博士,教授级高级工程师,薄板坯连铸连轧技术。

收稿日期:2006-03-08