

酒钢 120 t 转炉-LF-CC 工艺生产 L360 管线钢的实践

李积鹏^{1,2} 马杰¹ 张有余²

(1 西安建筑科技大学冶金工程学院, 西安 710055; 2 酒钢集团公司钢铁研究院, 嘉峪关 735100)

摘要 通过铁水脱硫-120 t 转炉冶炼-LF 精炼(吹氩、喂线)-160(220) mm 板坯连铸-2 架炉卷轧机, 轧制生产了 1.6~12.7 mm 管线钢 L360 带材(%: 0.08~0.12C, 0.10~0.25Si, 1.10~1.30Mn, ≤0.015P, ≤0.008S, 0.03~0.05Nb)。采用高拉碳补吹法控制转炉终点[C] 0.04%; LF 精炼时用 AlMnFe、MnFe 和 NbFe 合金化, 并喂 Al 线和 SiCaBa 线; 连铸采用全程氩封注流保护浇铸等工艺措施。生产统计结果表明, L360 管线钢[O] 为(10~15) × 10⁻⁶, [N] (14~35) × 10⁻⁶, [H] (1.2~1.6) × 10⁻⁶, Σ[N+H+O] ≤51.6 × 10⁻⁶; 该钢的屈服强度为 425~460 MPa, 抗拉强度 505~525 MPa, 屈强比 0.81~0.88, 均达到标准要求。

关键词 转炉-LF-CC 流程 L360 管线钢 铌微合金化

Practice of L360 Pipeline Steel Production by 120 t Converter-LF-CC Process at Jiuguan Steel

Li Jipeng^{1,2}, Ma Jie¹ and Zhang Youyu²

(1 School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055; 2 Research Institute of Iron and Steel, Jiuguan Iron and steel Co Ltd, Jiayuguan 735100)

Abstract The 1.6~12.7 mm strip of L360 pipeline steel (0.08~0.12C, 0.10~0.25Si, 1.10~1.30Mn, ≤0.015P, ≤0.008S, 0.03~0.05Nb) was produced by hot metal desulphurization - 120 t converter melting - LF refining (argon stirring, feeding wire) - 160 (220) mm slab concasting - 2-stand Steckel mill flow sheet. The production data statistic results showed that with using the measures such as catch carbon and reblow practice to control converter end [C] 0.04%, AlMnFe, MnFe and NbFe alloying and feeding Al wire and SiCaBa wire in LF refining, argon shielded casting in whole slab casting, the [O] of L360 pipeline steel was (10~15) × 10⁻⁶, [N] (14~35) × 10⁻⁶, [H] (1.2~1.6) × 10⁻⁶ and Σ[N+H+O] ≤51.6 × 10⁻⁶; yield strength (YS) of the steel was 425~460 MPa, ultimate tensile strength (UTS) 505~525 MPa, and ratio of YS-UTS 0.81~0.88, all up to standard.

Material Index Converter-LF-CC Flow Sheet, L360 Pipe Line Steel, Niobium Microalloying

1 钢的成分和性能

酒钢 L360 管线钢即对应 GB/T14164-93 中的 S360 钢, 通常称 X52 钢。根据 L360 管线用钢的性能要求, 该钢应具有足够高的强度和良好的焊接性能。本实验采用了降碳、提锰及铌微合金化的合金成分设计。具体成分见表 1。

2 生产工艺

L360 管线钢的生产流程为: 高炉铁水预处理→转炉冶炼(炉后脱氧及铌微合金化)→LF(表 2)精炼(吹氩、喂线)→连铸 160(220) mm 板坯(表 3)→炉卷轧机轧制→卷取。

2.1 冶炼工艺

表 1 S360、L360 管线用钢的化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of S360, L360 pipeline steel / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Nb	Al _i
S360	≤0.22	≤0.35	0.75~1.35	≤0.030	≤0.030	-	-
L360	0.08~0.12	0.10~0.25	1.10~1.30	≤0.015	≤0.008	0.03~0.05	0.01~0.03

碳当量为: $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \leq 0.42$

裂纹敏感指数为: $P_{cm} = C + (Mn + Cr + Cu)/20 + Si/30 + V/10 + Mo/15 + Ni/60 + 5B \leq 0.18$

转炉容量 120 t; 冶炼周期 38 min。铁水深脱硫, 要求入转炉铁水 S ≤ 0.005%, 扒渣后铁水液面必须裸露出来。并采用 S ≤ 0.040%、P ≤ 0.040% 的优质废钢。采用高拉碳补吹法, 终点控制目标为

0.04% C, 0.012% S。出钢温度为 1 630~1 650 °C。

LF 采用单渣法, 碱度控制在 3.5~4.0, Σ(FeO) 14%~18%, 出钢前对炉渣进行稠化。采用干燥的 SiMn、AlMnFe、中碳 MnFe 及 NbFe 进行脱氧合金化,

表 2 LF 主要技术参数
Table 2 Main technical parameters of LF

项目	参数
额定处理量/t	120
钢包直径/mm	2 600
自由空间/mm	800
变压器容量/MVA	21
升温速度/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	平均 4, 最高 5

表 3 连铸机主要技术参数
Table 3 Main technical parameters of concaster

项目	参数
中间包容量/t	35~40
中间包过热度/ $^{\circ}\text{C}$	20~40
铸坯断面/mm × mm	160 × (850~1 600)、 220 × (850~1 600)
弧形半径/m	9.5
流数	1
拉坯速度/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	1.0~2.2
铸坯定尺长度/m	5~14
冶金长度/m	32
出坯温度/ $^{\circ}\text{C}$	840
矫直方式	连续矫直
二次冷却方式	气水
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	12
平均浇铸时间/min	41
生产能力/($\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}$)	100

其中 AlMnFe 加入量为 1.5~1.8 kg/t, 并喂入 Al 线和 SiCaBa 线。

连铸时钢包注流采用全程氩封注流保护浇铸; 中间包温度 1 530~1 550 $^{\circ}\text{C}$; 拉坯速度 (1.1 ± 0.1) m/min; 塞棒吹氩, 适当控制 Ar 气量。

表 5 L360 管线钢的夹杂物级别和气体含量, 8 炉
Table 5 Inclusion rating and gas content in L360 pipeline steel, 8 heats

非金属夹杂物/级								气体含量/ 10^{-6}			
A		B		C		D		[O]	[N]	[H]	$\Sigma[\text{O} + \text{N} + \text{H}]$
细	粗	细	粗	细	粗	细	粗				
0~0.5	0	1~1.5	0~0.5	0~1.0	0~1.0	1.5~2.5	0~0.5	10~15	14~35	1.2~1.6	≤51.6

线对减少夹杂以及降低气体含量是有效的。

由显微组织检验得出, 生产的 L360 管线钢的显微组织为铁素体 (89.6%~94.1%) 加少量珠光体 (5.9%~10.4%), 无任何异常组织存在。

4 结论

(1) 酒钢 L360 管线钢设计的化学成分合理, 工艺可行, 性能达到 GB/T14164-1993 的要求, 可应用于相应级别的管道建设。

(2) 实际生产中采用的脱氧合金化工艺可减少

中间包液面控制 ≥ 900 mm, 注流保护套管必须插入中间包钢水液面以下 100 mm, 及时加入中间包覆盖剂, 防止液面外露。采用管线钢专用保护渣。

2.2 轧制工艺

采用 2 架炉卷轧机轧制 1.6~12.7 mm 板材, 轧制时的加热温度为 1 180~1 200 $^{\circ}\text{C}$, 开轧温度 $\geq 1 000$ $^{\circ}\text{C}$, 终轧温度为 780~870 $^{\circ}\text{C}$, 卷取温度 550~650 $^{\circ}\text{C}$ 。

3 试验结果与分析

L360 管线钢力学性能的技术条件要求及生产的 6.9 mm 板的力学性能检验结果列于表 4。

表 4 6.9 mm L360 管线钢板的力学性能
Table 4 Mechanical properties of 6.9 mm L360 pipeline steel strip

项目	$\sigma_{0.5}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.5}/\sigma_b$	$\delta/\%$	180 $^{\circ}$ 横向冷弯 d=2a
标准要求	≥ 360	≥ 455	≤ 0.88	-	-
检验结果	425~460	505~525	0.81~0.88	24.5~31.5	良好

注: d- 弯芯直径; a- 试样厚度

从表 4 可以看出: 生产的 L360 管线钢的屈服强度为 425~460 MPa, 抗拉强度 505~525 MPa, 屈强比 0.81~0.88, 均达到标准要求。

从表 5 看出, L360 管线钢的非金属夹杂尺寸都较小, 且所占面积比例小, 有害气体 N、H、O 总量 $\leq 51.6 \times 10^{-6}$, 达到同类产品的较好水平。这表明, 采用干燥的 SiMn、AlMnFe、中碳 MnFe 及 NbFe 进行脱氧合金化是可行的, LF 处理 + 喂入 Al 线和 SiCaBa

非金属夹杂物含量, 且尺寸较小; 钢中的气体含量少。

(3) 钕微合金化和低温轧制工艺显著细化了钢的组织, 从而保证 L360 管线钢具有良好的力学性能。

李积鹏(1981-), 男, 助理工程师, 硕士研究生, 2002 年西安建筑科技大学毕业, 主要从事炼钢生产新技术、新工艺研究。