

## 中碳硫系易切削钢 LF( VD) 精炼实践

王翔 肖阳 余茂仁 何勇 夏辉华 周英豪

(贵阳特殊钢有限责任公司, 贵阳 550005)

**摘要** 中碳硫系易切削钢 1141 ( % : 0.37 ~ 0.45C, 1.20 ~ 1.65Mn, 0.06 ~ 0.12S) 和 1144 ( % : 0.40 ~ 0.48C, 1.35 ~ 1.65Mn, 0.24 ~ 0.33S) 由 65 t Consteel 电弧炉-LF( VD)-(150 ~ 200) mm × (150 ~ 200) mm CC 流程生产。LF 精炼时喂 Al 线, 控制 [ Al ] 0.02% ~ 0.05%, 精炼渣 CaO/SiO<sub>2</sub> 2.62 ~ 3.02, 使精炼中后期渣中硫化物容量达到饱和, 在 VD 处理时吹氩 200 ~ 250 L/min, ≥ 15 min, 使 1141 钢 [ S ] 在 VD 前后分别为 0.11% ~ 0.12% 和 0.10% ~ 0.12%, 1144 钢 [ S ] VD 前后分别为 0.30% ~ 0.33% 和 0.29% ~ 0.30%, 稳定了 VD 处理前后钢中的硫含量。

**关键词** 中碳 硫系易切削钢 LF( VD)

## Practice for LF ( VD) Refining of Medium Carbon Sulfur Free-Cutting Steel

Wang Xiang, Xiao Yang, Yu Maoren, He Yong, Xia Huihua and Zhou Yinghao

(Guiyang Special Steel Co Ltd, Guiyang 550005)

**Abstract** Medium carbon sulfur free-cutting steel 1141 ( % : 0.37 ~ 0.45C, 1.20 ~ 1.65Mn, 0.06 ~ 0.12S) and steel 1144 ( % : 0.40 ~ 0.48C, 1.35 ~ 1.65Mn, 0.24 ~ 0.33S) are melted by 65 t Consteel EAF-LF ( VD)-(150 ~ 200) mm × (150 ~ 200) mm CC flow sheet. With feeding Al wire during LF refining to control [ Al ] 0.02% ~ 0.05%, end-refining-slag basicity ( CaO/SiO<sub>2</sub>) 2.62 ~ 3.02 to keep sulfide capacity in end refining up to saturation state, and blowing argon 200 ~ 250 L/min, ≥ 15 min during VD process, the [ S ] of steel 1141 before and after VD is respectively 0.11% ~ 0.12% and 0.10% ~ 0.12%, and the [ S ] of steel 1144 before and after VD is respectively 0.30% ~ 0.33% and 0.29% ~ 0.30%, therefore the sulfur content in steel before and after VD process is constant.

**Material Index** Medium Carbon, Sulfur Free-Cutting Steel, LF ( VD)

### 1 工艺要点

贵钢采用 LF 精炼全程造较高碱度、高还原性、流动性良好的顶渣, 过程中喂铝沉淀脱氧, 吹氩搅拌, VD 真空脱气处理的工艺路线生产中碳硫系易切削钢。工艺全流程为: 65 t Consteel EAF → LF → VD → CCM (150 mm × 150 mm)。采用此种工艺流程, 钢中硫含量的控制是难点, 必须充分考虑钢液脱硫效率与温度、渣系脱硫能力 (精炼渣硫的分配比  $L_s$ 、硫化物容量  $C_s$ )、钢液中氧活度以及真空条件下吹氩钢渣搅拌的关系。

根据二次精炼过程钢液脱硫反应可以得出<sup>[1]</sup>, 在渣量一定时: (1) 渣、钢氧势越低, 脱硫能力越强; (2) 渣中 CaO 含量提高, 硫分配比  $L_s$  明显升高, 但当 CaO 含量 ≥ 60%, 随着 CaO 含量提高  $L_s$  有所降低, 其原因是: 当 CaO 含量过高时, 渣中有固相质点析出, 熔渣中出现非均相, 导致了炉渣粘度上升、流动性变差, 影响了脱硫的动力学条件; (3) 温度对  $K_s$  几乎无影响, 但温度升高提高脱硫速度; (4) 钢渣强搅拌, 促进 [ S ] 在钢中传递, 提高脱硫效率。

因此, 在造好较高碱度还原渣强化去气、去夹杂的同时, 通过增 S 在精炼全程吹氩和钢渣充分搅拌的情况下, 始终保持钢中硫含量在标准上限, 在精炼渣硫分配比一定时, 使钢渣硫化物容量达到饱和, 以稳定 VD 处理过程钢中的硫含量, 避免 VD 处理后增硫对钢液的二次污染。

### 2 生产实践

以贵钢生产 1141、1144 (ASTMA29/A29M-2004) 为例, 其化学成分要求见表 1。

表 1 1141、1144 钢化学成分要求和 LF 前的分析成分 / %  
Table 1 Requirement of chemical composition and analysis before LF refining, steel 1141 and 1144 / %

项目	钢牌号	C	Si	Mn	P	S
标准要求	1141	0.37 ~ 0.45	0.15 ~ 0.30	1.20 ~ 1.65	≤ 0.040	0.06 ~ 0.12
		0.40 ~ 0.48	0.15 ~ 0.30	1.35 ~ 1.65	≤ 0.040	0.24 ~ 0.33
	1144	0.30 ~ 0.37	0.10 ~ 0.16	1.25 ~ 1.40	≤ 0.030	0.12 ~ 0.15
		0.33 ~ 0.40	0.10 ~ 0.16	1.25 ~ 1.40	≤ 0.030	0.28 ~ 0.32

### 2.1 Consteel 电弧炉

Consteel EBT 电弧炉平均容量 65 t, 炉料为 70% 废钢 + 30% 优质生铁, 冶炼周期 65 min。全程采用高碱度泡沫渣埋弧操作, 过程温度控制在 1 550 ~ 1 590 °C, 钢包烘烤温度  $\geq 1 000$  °C, 出钢温度 1 620 ~ 1 640 °C, EBT 挡渣出钢熔炼, 残余元素控制达到技术标准要求。出钢过程加入经过烘烤的合金、脱氧剂及渣料, 增 C、S。到 LF 座包温度  $\geq 1 530$  °C, 出钢成分控制见表 1。

### 2.2 LF(VD)精炼

钢水进 LF(技术参数见表 2) 后, 喂入 Al 线进

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

项目	参数
额定处理量/t	65
钢包直径/mm	3 125
自由空间/mm	970
变压器容量/MVA	12
升温速度/(°C · min <sup>-1</sup> )	3 ~ 5

行沉淀脱氧, 过程中 Al 含量控制在 0.02% ~ 0.05%, 分批加入脱氧剂进行渣面持续脱氧, 确保渣色变白、流动性良好。精炼渣主要成分见表 3。根据钢液成分补加合金, 合金成分按标准调整控制, 温度控制在 1 580 ~ 1 600 °C, 冶炼过程中尽量在精炼中期使渣中硫含量饱和, 1141 钢硫含量控制在 0.11% ~ 0.12%, 1144 钢控制在 0.29% ~ 0.31%。LF 精炼全程吹氩搅拌, 钢、渣充分反应强化去气、去夹杂及 [S] 的传递。钢水成分达到要求, 硫含量稳定后, 将钢水温度升至 1 615 ~ 1 620 °C 进入 VD 真空脱气处理。在 VD 真空 66.7 Pa 以下保压时间  $\geq 15$  min, Ar 流量控制在 200 ~ 250 L/min, 有效去除钢中氧、氢含量。真空完毕后弱搅拌  $\geq 15$  min。以利于夹杂物变性、上浮, 净化钢水。VD 处理前后钢中 S 含量对比见表 3。

表 3 VD 处理前精炼渣主要成分和 VD 前后的 [S]

Table 3 Main ingredient of refining slag before VD and [S] before and after VD

钢 牌号	[S]/%			精炼渣成分/%				CaO/ SiO <sub>2</sub>
	VD 前	VD 后	成品	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	
1141	0.110 ~ 0.120	0.100 ~ 0.118	0.100 ~ 0.116	50.51 ~ 53.74	16.35 ~ 20.78	19.37 ~ 21.82	1.2 ~ 1.7	2.31 ~ 2.65
	0.295 ~ 0.300	0.290 ~ 0.300	0.291 ~ 0.300	52.36 ~ 55.27	15.85 ~ 18.56	18.32 ~ 20.33	1.4 ~ 1.8	2.62 ~ 3.02

### 2.3 连铸工艺

CONCAST 三机三流小方坯连铸机, 铸坯尺寸为 (mm) 150 × 150, 200 × 200。

连铸采用低过热度、弱冷、全程 Ar 气保护浇铸技术: 中间包采用镁质涂料并预热烘烤, 中间包钢水采用双层覆盖渣。中间包过热度控制在 20 ~ 30 °C, 拉速控制在 2.0 ~ 2.3 m/min, 二冷比水量控制在 0.67 L/kg, 结晶器电磁搅拌 + 凝固末端电磁搅拌改善铸坯质量。

### 3 连铸坯质量与轧材分析

根据试制 1141、1144 钢两个浇次 6 炉的 150 mm × 150 mm 连铸坯低倍检验结果, 铸坯低倍组织均匀细致, 疏松和缩孔均  $\leq 1.5$  级、未出现裂纹、皮下气泡和宏观夹杂等缺陷。检验结果见表 4。

表 4 1141、1144 钢成品材的低倍 [O]、[H] 和非金属夹杂物级别

Table 4 Macrostructure, [O], [H] and rating of inclusions in products of steel 1141 and 1144

钢 牌号	炉次	中心疏松/级	缩孔/级	[O]/ 10 <sup>-6</sup>		[H]/ 10 <sup>-6</sup>		非金属夹杂物/级 (ASTM)			
				A	B	C	D				
1141	813144	1.0	0	14	1.7	2.0	1.0	0	0	0	
	813145	0.5	0	10	1.5	2.5	1.0	0	0	0	
	813146	1.0	1.0	15	1.7	2.0	1.5	0	0	0	
1144	813147	1.5	0	12	1.6	4.0	1.0	0	0	0	
	813148	0	1.0	12	2.0	3.5	1.5	0	0	0	
	813149	1.0	0	14	2.0	4.0	1.0	0	0	0	

与以往贵钢采用镁砂破渣保硫和降低精炼渣碱度保硫的方法比较, 大颗粒镁质夹杂(镁砂破渣保硫法)不再出现, B、C、D 类夹杂(特别是 B 类)得到明显改善, 钢水纯净度及可浇铸性能得以大幅提高。

### 4 结论

(1) 在精炼全程造较高碱度渣、高还原性、流动性良好的顶渣的情况下, 通过钢液增 S 使 [S] 达到饱和后, [S] 较为稳定。

(2) VD 真空处理前使 [S] 达到饱和, VD 真空处理前后 [S] 相对稳定, 避免真空后补硫对钢水造成二次污染。

### 参考文献

- 王新华. 适用于中厚板类钢种的合理炉外精炼工艺探讨. 2008 年全国炼钢-连铸生产技术会议文集, 2008

王 翔(1979-), 男, 助理工程师, 2001 年贵州工业大学毕业, 从事特殊钢冶炼与工艺技术工作。

收稿日期: 2009-04-10