

100 t DC EAF-LF-VD-CC 流程硫易切削钢 SAE1144 的生产实践

黄周华 阙宗华 董军

(苏州苏信特钢有限公司技术中心, 苏州 215153)

摘要 中碳硫系易切削钢 SAE1144 (C: 0.42 ~ 0.47%, Si: 0.15 ~ 0.30%, Mn: 1.45 ~ 1.65%, S: 0.24 ~ 0.30%, ≤ 0.025P) 采用 100 t DC EAF-LF-VD-280 mm × 320 mm 坯连铸工艺流程生产。通过控制出钢钢包温度 ≥ 1 000 °C, 出钢时加入 200 kg 硅铁, 钢包底吹氩搅拌; LF 采用专用精炼渣系 (CaO: 45 ~ 55%, Al₂O₃: 15 ~ 25%, SiO₂: 15 ~ 25%), 喂硫线, ≥ 15 min VD 处理后控制钢水过热度 20 ~ 35 °C, 二冷比水量 0.18 L/kg, 拉速 0.45 ~ 0.55 m/min 等工艺措施, 可稳定控制钢水硫含量和钢水的可浇性, 铸坯中心疏松和缩孔级别 ≤ 1.5; [O] 为 14 × 10⁻⁶ ~ 15 × 10⁻⁶, [H] 1.3 × 10⁻⁶ ~ 1.5 × 10⁻⁶, 非金属夹杂物满足质量要求。

关键词 硫易切削钢 SAE1144 100 t DC EAF-LF-VD-CC 流程 工艺实践

Production Practice of Sulphur Free-Cutting Steel SAE1144 by 100 t DC EAF-LF-VD-CC Flowsheet

Huang Zhouhua, Que Zonghua and Dong Jun

Technology Center, Suzhou Suxin Special Steel Co Ltd, Suzhou 215153)

Abstract Medium carbon sulphur free-cutting steel SAE1144 (C: 0.42 ~ 0.47%, Si: 0.15 ~ 0.30%, Mn: 1.45 ~ 1.65%, S: 0.24 ~ 0.30%, ≤ 0.025P) is produced by 100 t DC EAF-LF-VD-280 mm × 320 mm bloom casting process. With process measures including controlling tapping ladle temperature ≥ 1 000 °C, adding 200 kg ferrosilicon during tapping, ladle bottom argon blowing stirring, using LF special refining slag series (CaO: 45 ~ 55%, Al₂O₃: 15 ~ 25%, SiO₂: 15 ~ 25%), feeding sulphur wire, controlling liquid overheating extent 20 ~ 35 °C after VD treatment for ≥ 15 min, controlling secondary cooling water rate 0.18 L/kg and casting rate 0.45 ~ 0.55 m/min, the sulphur content in liquid and castability of liquid are stably controlled, and the rating of central porosity and shrinkage cavity is ≤ 1.5, [O] is 14 × 10⁻⁶ ~ 15 × 10⁻⁶ and [H] is 1.3 × 10⁻⁶ ~ 1.5 × 10⁻⁶ to meet the requirement for nonmetallic inclusions and quality.

Material Index Sulphur Free-Cutting Steel, SAE1144, 100 t DC EAF-LF-VD-CC Flowsheet, Process Practice

硫系易切削钢^[1]SAE1144 生产难点在于: 硫成分的稳定控制; 钢中高硫含量降低钢液的表面张力, 钢渣分离困难易造成钢渣混卷, 形成表面和皮下缺陷, 甚至造成漏钢。

1 SAE1144 钢工艺流程和技术要求

苏信特钢采用的工艺流程为: 100 t DC EAF → 出钢脱氧合金化、增碳及加渣料 → 100 t LF 精炼 → 100 t VD 精炼 → 5 机 5 流 280 mm × 320 mm、240 mm × 240 mm、160 mm × 160 mm R10 连铸机浇铸。

SAE114 初轧坯化学成分、非金属夹杂物要求见表 1 和表 2。

2 生产实践

2.1 100 t 超高功率直流电弧炉

表 1 SAE1144 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel SAE1144 / %

C	Si	Mn	P	S
0.42 ~ 0.47	0.15 ~ 0.30	1.45 ~ 1.65	≤ 0.025	0.24 ~ 0.30

表 2 SAE1144 钢的非金属夹杂物 / 级

Table 2 Nonmetallic inclusions in steel SAE1144 / rating

项目	A		B		C		D	
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
技术要求	-	-	≤ 1.5	≤ 2.5	≤ 1.5	≤ 2.5	≤ 1.5	≤ 2.0
实测值	1.5 ~ 2.5	3.0	0	0.5	0	0	0.5	1.0

配加 85% 热装铁水 + 15% 优质废钢, 全程高碱度泡沫渣操作, 电弧炉出钢碳含量 0.10% ~ 0.30%, 出钢温度 1 620 ~ 1 680 °C, 出钢钢包温度 ≥ 1 000 °C, 偏心炉底出钢严禁带渣出钢, 炉内余钢 20 ~ 25 t; 出钢过程加入合金、脱氧剂、增碳剂及渣料, 加入 200 kg 硅铁, 过程辅以钢包底吹氩搅拌。

2.2 100 t 钢包精炼炉 (LF)

钢包自由空间 800 ~ 1 000 mm, 升温速率 3 ~ 5 °C/min; 加入硅铁粉、碳化硅粉予以渣面脱氧还原 (表 3), 全程钢包底双透气砖^[2] 搅拌工艺, 精炼时间 ≥ 45 min; 采用少渣量及专用精炼渣系: 45% ~ 55% (CaO), 15% ~ 25% (Al₂O₃), 15% ~ 25% (SiO₂),

表 3 脱氧剂的主要成分
Table 3 Main ingredient of deoxidizers

脱氧方式	脱氧剂	主要成分 / %		
		Si	SiC	Al
沉淀脱氧	硅铁	72.6		2.61
扩散脱氧	硅铁粉	72.5		1.21
	碳化硅		95.0	

精炼中期按 0.1% 的 [S] 喂入硫磺线 (前未限定钢水 [O]), 以达到炉渣中 (S) 接近饱和 (未测硫回收率), 精炼后期少脱硫或不脱硫, 待精炼钢水温度、成分达到基本要求后, 在调往 VD 真空处理前按钢中 [S] 0.28% 喂入硫磺线。

2.3 100 t VD 真空精炼

66.7 Pa 真空下操作 ≥ 15 min, 钢包底吹氩压力 0.15 ~ 0.25 MPa, 真空处理完毕弱搅拌 ≥ 12 min。

2.4 连铸

浇铸铸坯断面 280 mm × 320 mm, 连铸采用低过热度、弱冷、全程保护浇铸技术、液面自动控制技术等, 中间包采用镁质涂料并预热烘烤, 中间包液面加碱性中间包覆盖剂 + 碳化稻壳; 涉及中间包功能件全部采用 Al-C 质材料; 钢水过热度 20 ~ 35 °C, 拉速 0.45 ~ 0.55 m/min, 二冷比水量 0.18 L/kg, 采用结晶器电磁搅拌 + 凝固末端电磁搅拌技术。

3 效果及铸坯质量分析

3.1 钢中硫含量控制

VD 后硫含量一次命中率 100%, 钢中硫含量及渣系控制见表 4。

3.2 钢水可浇性

钢水浇铸过程整体正常, 结晶器液面稳定, 塞棒曲线基本平稳, 稍有上升; 钢水具有可浇性^[3], 浇铸过程曲线见图 1。

3.3 铸坯质量

SAE1144 钢铸坯低倍组织均匀致密, 疏松和缩孔均小于 1.5 级, 未出现裂纹、皮下气泡、宏观夹杂等缺陷, 铸坯经锻打成 Φ40 mm 试样进行高倍检测, 钢中氧含量、氢含量、各非金属夹杂物控制^[5] 均满足协议要求。实测值见表 2 和表 5。

表 4 SAE1144 钢中硫含量及精炼渣系组成和碱度
Table 4 Sulfur content in steel SAE1144 and ingredient and basicity of refining slag

[S] / %			精炼渣系 / %				碱度 (R)
VD 前	VD 后	成品	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	
0.27 ~ 0.28	0.245 ~ 0.265	0.245 ~ 0.265	45 ~ 55	15 ~ 25	15 ~ 25	5 ~ 8	1.80 ~ 2.50

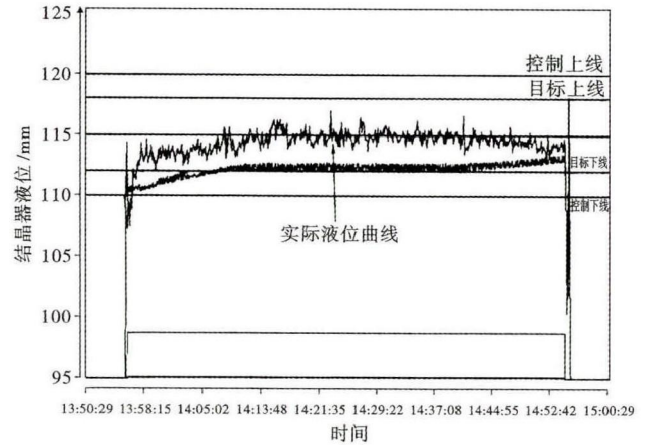


图 1 SAE1144 钢水浇铸曲线
Fig. 1 Casting curves of steel SAE1144

表 5 SAE1144 钢铸坯低倍、气体含量
Table 5 Macrostructure and gas content of casting bloom of steel SAE1144

中心疏松	缩孔	低倍组织 / 级				气体含量 / 10 ⁻⁶	
		中心偏析	裂纹	皮下气泡	夹杂	[O]	[H]
1.5	0.5 ~ 1.5	0.5	0	0	0	14 ~ 15	1.3 ~ 1.5

4 结论

(1) 采用少渣量, 适当低碱度渣、高还原性、流动性好的精炼顶渣条件下, 通过 LF 精炼过程的钢液增硫, 使炉渣 (S) 达到饱和, VD 处理后钢液硫含量控制稳定, 避免了 VD 后钢液的再次增硫。

(2) 严格控制钢水过热度、浇铸速度, 采用弱冷实现慢速浇铸, 采用复合电磁搅拌技术、全程保护浇铸、液面自动控制技术等, 可获得质量良好的含硫 SAE1144 易切削钢连铸坯。

参考文献

[1] 王翔, 肖阳, 余茂仁, 等. 中碳硫系易切削钢 LF (VD) 精炼实践 [J]. 特殊钢, 2009, 30 (5): 53-54.
 [2] 刘永铨. 易切削钢 [M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1990.
 [3] 杨兴林. 连铸含 S、Al 钢液的可浇性控制 [J]. 上海钢研, 2005 (4): 8-12.
 [4] Ohta H, Suito H. Activities in CaO-SiO₂-Al₂O₃ Slag and Doxidation Equilibria of Si and Al [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1996, 27: 943-953.
 [5] Suito H, Inoue R. Thermodynamic on Control of Inclusions Composition in Ultra-Clean Steels [J]. ISIJ International, 1996, 36: 528-536.

黄周华 (1976-), 男, 工程师, 1999 年武汉大学 (本科) 毕业, 炼钢-连铸工艺技术研究。

E-mail: huangzhouhua@sugang.com.cn