

## 80 t 复吹转炉-LF-CC 流程生产 65Mn 弹簧钢的工艺实践

陈文满 文敏 廖明 肖时平 胡兵 张杰新

(重庆钢铁股份有限公司,重庆 400084)

**摘要** 通过高拉碳补吹氧操作,控制转炉终点 $[C] \geq 0.08\%$ , $[P] \leq 0.015\%$ , $[S] \leq 0.03\%$ ;控制 LF 渣碱度 3.0~3.5,LF 末进行 Ca 包芯线处理,全程保护浇铸,电磁搅拌,钢水过热度 15~30℃,使 65Mn 弹簧钢( $C: 0.64 \sim 0.69\%$ , $Mn: 0.95 \sim 1.10\%$ )平均 $T[O]$ 达到 $22.7 \times 10^{-6}$ ,钢中 P 含量为 0.011%~0.020%,S 含量为 0.004%~0.015%,力学性能和组织均达到标准和使用要求。

**关键词** 65Mn 弹簧钢 复吹转炉 LF 小方坯连铸

## Process Practice for Spring Steel 65Mn Produced by 80 t Combined Blown Converter-LF-CC Flow Sheet

Chen Wenman, Wen Min, Liao Ming, Xiao Shiping, Hu Bing and Zhang Jiexin  
(Chongqing Iron and Steel Co Ltd, Chongqing 400084)

**Abstract** With process practice such as using catch carbon-reblow oxygen practice, controlling converter end  $[C] \geq 0.08\%$ ,  $[P] \leq 0.015\%$  and  $[S] \leq 0.03\%$ , controlling LF refining slag basicity 3.0~3.5, carrying out Ca clad wire feeding at LF end, shielding casting during while process, electromagnetic stirring, liquid steel overheating 15~30℃, the average  $T[O]$  of spring steel 65Mn (0.64%~0.69% C, 0.95%~1.10% Mn) was  $22.7 \times 10^{-6}$ , P content in steel was 0.011%~0.020%, S content in steel was 0.004%~0.015%, and the structure and mechanical properties of steel met the requirement of standard and application.

**Material Index** Spring Steel 65Mn, Combined Blown Converter, LF, Billet Casting

随着二次精炼技术的发展,目前国外大量采用转炉冶炼轴承钢、齿轮钢、弹簧钢<sup>[1]</sup>。同时,我国钢材消费结构正发生变化,特殊钢市场需求将会逐渐扩大,为转炉生产特殊钢提供了市场机遇<sup>[2]</sup>。

### 1 65Mn 钢生产工艺和化学成分

生产工艺:脱硫铁水+废钢→80 t 复吹转炉→80 t LF 精炼→方坯连铸→高线轧制→检验入库。

复吹转炉冶炼周期 34 min;LF 变压器功率 15 MVA,升温速度 0~5℃/min;5 机 5 流全弧形方坯连铸机,断面 150 mm×150 mm,结晶器液面自动控制,结晶器电磁搅拌。

65Mn 的化学成分见表 1,其盘条力学性能要求

为: $\sigma_0.950 \sim 1100 \text{ MPa}$ , $\delta_{10} \geq 10\%$ , $\psi \geq 30\%$ 。

### 2 各工序控制要求

#### 2.1 冶炼

铁水要求 $[P] \leq 0.12\%$ ,采用脱硫铁水、优质废钢,如钢边,废钢比参考铁水成分进行调整,以确保 C-T 协调。采用“高拉补吹”工艺,早、中期重点作好造渣脱磷。终点控制要求: $[C] \geq 0.08\%$ , $[P] \leq 0.015\%$ , $[S] \leq 0.03\%$ 。

出钢过程用专用脱氧剂预脱氧,出钢后进行顶渣改质,降低渣中 FeO、MnO 含量,要求进 LF 钢水氧活度 $a_{[O]} \leq 20 \times 10^{-6}$ 。带挡渣帽、挡渣锥出钢。

#### 2.2 LF 精炼

炉渣碱度控制在 3.0~3.5 内,使用专用材料造白渣,调整炉渣流动性,要求出 LF 钢水氧活度 $a_{[O]} \leq 5 \times 10^{-6}$ 。

在钢水离开 LF 站前,用含 Ca 包芯线对钢水进行钙处理。钙处理后软吹氩。

#### 2.3 连铸

由于其碳含量高,钢水在结晶器内形成的有效坯壳较薄,且相对应应力较大,易形成内裂纹<sup>[3]</sup>。为得到合格的连铸坯,采用全程保护浇铸。

表 1 65Mn 钢的标准化学成分和分析结果/%

Table 1 Standard chemical composition and analysis results of steel 65Mn /%

标准	C	Si	Mn	P	S	Al
国家标准	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	≤0.035	≤0.035	≤0.015
协议要求	0.64~0.69	0.18~0.30	0.95~1.10	≤0.020	≤0.015	≤0.015
实际成分 20 炉	0.64~0.69	0.18~0.30	0.95~1.06	0.011~0.020	0.004~0.015	0.004~0.015

控制要求:(1)强调低过热度恒速浇铸,过热度严格控制在 15~30℃。(2)弱的二次冷却能够减少中心偏析和改善铸坯结晶组织,抑制柱状晶生长,增加等轴晶区。65Mn 钢生产采用弱的冷却制度,比水量较 Q235 约低 0.2 L/kg。采用 M-EMS 单搅拌工艺技术来减轻中心疏松和偏析,搅拌参数与 75 钢相同。

### 3 实际控制情况

由表 2 可知,终点 [C] 合理, [S]、[P] 较低,满足工艺要求,但有少部分炉次终点温度偏低。

65Mn 生产过程实际控制情况符合相关工艺技术要求,白渣成分见表 3。进、出 LF 钢水氧活度  $a_{O_2}$  分别为  $(5.6 \sim 19.4) \times 10^{-6}$  和  $(2.1 \sim 5.5) \times 10^{-6}$ ,全铝含量 Alt 均为 0.009%~0.014%。

连铸保护浇铸方式为:钢包→中间包采用长水口+密封环,中间包加覆盖剂,中间包→结晶器之间采用浸入式水口。连铸采用 M-EMS 搅拌工艺技术。连铸中间包过热度及铸坯拉速控制见表 4。

表 2 转炉冶炼终点控制参数,30 炉

Table 2 Controlling results of converter melting end parameters, 30 heats

T/℃	C/%	P/%	S/%
1 621~1 667	0.08~0.16	0.009~0.014	0.016~0.033

表 3 LF 白渣成分,15 炉

Table 3 Ingredient of LF white slag, 15 heats

成分/%					R
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MnO	
14.07~18.66	14.59~20.09	56.23~59.96	0.44~0.64	0.24~1.14	3.05~3.76

表 4 65Mn 钢连铸过热度及拉速控制结果,25 炉

Table 4 Controlling results for liquid 65Mn steel overheating and casting speed, 25 heats

测温次数	中间包过热度/℃	铸坯拉速/(m·min <sup>-1</sup> )
1	19~29	2.29~2.36
2	16~28	2.33~2.38
3	15~30	2.35~2.41
4	21~30	2.36~2.40
5	17~28	2.31~2.38

### 4 实物质量

钢中 [Alt] 平均仅为 0.011%,有利于防止钢中产生大量的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系夹杂物。对生产的 65Mn 钢 20 炉化学成分统计列于表 1。

由表 5 可知,结晶器及线材上取样分析表明,钢中气体含量均不高,T[O] 较低。由表 6 可知,65Mn

表 5 65Mn 钢中气体分析结果,10 炉/10<sup>-6</sup>

Table 5 Results of analysis of gas in steel 65Mn, 10 heats/10<sup>-6</sup>

取样	N	O	H
结晶器	49~80	33~41	1.04~3.04
线材	47~68	16~28	-

表 6 65Mn 钢中夹杂物成分和总量,6 炉/%

Table 6 Ingredient and total content of inclusions in steel 65Mn, 6 heats/%

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	夹杂物总量
9.59~17.28	60.82~67.33	1.93~4.35	1.14~1.84	5.71~6.14	3.20~6.15	0.003~0.009

钢中夹杂物总含量平均值为  $58 \times 10^{-6}$ ,最小值  $30 \times 10^{-6}$ ,最大值  $90 \times 10^{-6}$ ,钢中夹杂物含量较低。

取 24 件铸坯做低倍硫印检验,其结果显示:铸坯无内裂,铸坯缺陷少,铸坯质量良好。中心偏析均小于 1 级,中心疏松 ≤ 1 级 6 件,占 25%,中心疏松 ≤ 0.5 级 18 件,占 75%,可见连铸温度、拉速制度、冷却制度、电磁搅拌工艺合理,满足了 65Mn 钢铸坯的质量要求。

11 炉 65Mn 高线盘条组织及力学性能检验结果为  $\sigma_b$  985~1 080 MPa,  $\delta_{10}$  11%~13%, $\psi$  38%~50%,脱碳层 0,索氏体 1.0~2.0 级。

检验结果表明,65Mn 高线盘条组织良好,力学性能满足技术条件要求。

### 5 结论

(1)通过强化转炉终点控制、合理的精炼工艺及夹杂物变性工艺可将 65Mn 钢中夹杂物平均含量控制在  $58 \times 10^{-6}$ ,全氧平均含量为  $22.7 \times 10^{-6}$ 。

(2)采用电磁搅拌、全程保护浇铸工艺、低过热度恒速浇铸和弱的二冷配水,铸坯组织良好。

(3)采用现有复吹转炉→LF→小方坯连铸工艺路线生产 65Mn 弹簧钢,质量完全能满足用户要求。

### 参考文献

- 1 许家彦,王荣武. 转炉冶炼特殊钢工艺技术研究. 炼钢,2005,21(5):5
- 2 刘 浏. 转炉特殊钢生产应加快发展. 炼钢,2003,19(4):52
- 3 肖 璐,赵敏森. 转炉冶炼 65Mn 钢的工艺控制. 江西冶金,2005,22(3):1

陈文满(1965-),男,高级工程师,从事钢铁研究工作。

收稿日期:2008-07-21