

# 100 t EBT 电弧炉-LF-CC 流程生产 38CrMoAl 钢的工艺实践

余国松

(杭州钢铁集团公司技术中心, 杭州 310022)

**摘要** 渗氮钢 38CrMoAl ( % : 0.35 ~ 0.42C, 0.20 ~ 0.45Si, 0.30 ~ 0.60Mn, 1.35 ~ 1.65Cr, 0.15 ~ 0.25Mo, 0.70 ~ 1.10Al) 由 100 t EBT DC EAF - 100 t LF - 200 mm × 200 mm, 150 mm × 150 mm 方坯连铸机流程生产。通过出钢过程加 60% Al, LF 加 40% Al, 高碱度渣吹氩精炼, 精炼末期喂 Φ16 mm 28Ca-55Si 线, 加大中间包浸入式水口内径, 全程保护浇铸等工艺措施成功生产出 38CrMoAl 钢, 可连浇 5 炉钢, 轧材总氧含量为  $(5 \sim 8) \times 10^{-6}$ , 各项性能均满足用户要求。

**关键词** 渗氮钢 38CrMoAl 100 t EBT EAF-LF-CC 工艺实践

## Practice of Process for Steel 38CrMoAl Produced by 100 t EBT Arc Furnace - LF - CC Flow Sheet

Yu Guosong

(Technology Center, Hangzhou Iron and Steel Group Company, Hangzhou 310022)

**Abstract** Nitriding steel 38CrMoAl ( 0.35 ~ 0.42C, 0.20 ~ 0.45Si, 0.30 ~ 0.60Mn, 1.35 ~ 1.65Cr, 0.15 ~ 0.25Mo, 0.70 ~ 1.10Al) was produced by 100 t EBT DC arc furnace - 100 t LF - 200 mm × 200 mm, 150 mm × 150 mm billet concasting machine flow sheet. With using the technology measures such as adding 60% Al at steel tapping, adding 40% Al in LF refining, refining by high basicity slag and argon blowing, feeding Φ16 mm 28Ca-55Si wire at end phase of refining, enlarging inside diameter of immersed nozzle for tundish, and whole course shield casting practice, the steel 38CrMoAl was successfully produced with concasting 5 heats, the total oxygen content in rolled products was  $(5 \sim 8) \times 10^{-6}$ , and each property all met the requirement of customer.

**Material Index** Nitriding Steel 38CrMoAl, 100 t EBT EAF-LF-CC, Practice of Process

38CrMoAl 是渗氮钢(表 1), 含铬、钼、铝三种氮化物形成元素, 它被广泛用于制造塑料机械螺杆和机筒。国内大多厂家采用电弧炉→模铸或电弧炉→精炼→模铸工艺生产, 该工艺金属收得率低, 能耗高, 生产效率低。为此, 杭钢利用 100 t 超高功率直

### 1 钢水可浇铸性、增硅的分析和采用的工艺措施

表 1 可见, 38CrMoAl 钢的 Al 含量高达 0.7% ~ 1.1%, 它超出了常规的脱氧和细化晶粒概念, 铝在本钢种是一种氮化物形成元素, 而铝非常活泼, 极易与氧反应形成  $Al_2O_3$  非金属夹杂物而堵塞水口, 所以, 连铸首先必须克服此难题。因 38CrMoAl 属于铝镇静钢, 铝镇静钢连铸堵水口的机理及防止措施也应适用 38CrMoAl 钢连铸。

根据相关文献<sup>[1-3]</sup>并结合 38CrMoAl 钢的特点, 得出:

(1) 在 1600 °C 温度下, 当 38CrMoAl 钢的 Al 含量为下限 0.80% 时, 与之平衡的活度氧很低, 为  $0.32 \times 10^{-6}$ 。因此在浇铸过程生成  $Al_2O_3$  的机率很小;

(2) 采用软搅拌可有效提高钢中夹杂物去除率;

(3) 钙处理过程中, 钙与  $Al_2O_3$  发生反应形成的  $12CaO \cdot 7Al_2O_3$  的熔点为 1455 °C, 在浇铸温度下呈液态, 是钙处理最希望得到的物质;

(4) 加大中间包上水口内径, 减少了单位体积钢水中夹杂物在水口壁上的聚集几率。

表 1 38CrMoAl 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 38CrMoAl / %

项目	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	P	S
标准	0.35 ~ 0.42	0.20 ~ 0.45	0.30 ~ 0.60	1.35 ~ 1.65	0.15 ~ 0.25	0.70 ~ 1.10	≤ 0.025	≤ 0.025
分析 平均值 (32 炉)	0.39	0.30	0.46	1.46	0.16	0.90	0.014	0.002

流电弧炉(出钢量 100 t)、100 t LF 精炼、弧形半径 R9 m 小方坯(200 mm × 200 mm 和 150 mm × 150 mm)合金钢连铸机现有条件, 经研究分析及试验, 克服了高铝带来的钢水可浇铸性和冶炼过程增硅两个工艺难题, 开发出了 100 t 电弧炉-LF 精炼-连铸工艺, 成功生产出 38CrMoAl 优质钢坯。

通过上述研究分析,提高 38CrMoAl 可浇铸性的关键是去除钢中的  $Al_2O_3$  脱氧产物,防止在连铸过程产生二次氧化。为此,在生产中采取了以下措施:

(1) 60% 以上的铝在出钢过程加入,其余在 LF 中补加,并尽量在精炼末期前加入;

(2) 精炼全程吹氩,软搅拌时间  $\geq 10$  min;

(3) 采用石灰和萤石造高碱度、高还原性、流动性良好的 LF 顶渣,充分吸附  $Al_2O_3$  夹杂物;

(4) 精炼末期喂  $\Phi 16$  mm 硅钙线 (28% Ca、55% Si), 4 ~ 6 m/t, 使  $Al_2O_3$  变成低熔点化合物;

(5) 加大中间包浸入式水口内径;

(6) 连铸实施全程保护浇铸: ① 提高自动开浇率; ② 连铸开浇前, 中间包吹氩赶氧; ③ 长水口吹氩保护浇铸, 中间包采用高碱度覆盖剂, 结晶器采用专用保护渣严格的保护浇铸。

钢水增硅主要发生在脱氧合金化及精炼过程。在 1 550 ~ 1 750  $^{\circ}C$  炼钢温度下, 铝还原二氧化硅的反应自发进行, 且趋势强烈。当 [Al] 取 38CrMoAl 实际控制下限 0.80% 时, 按理论测算与之平衡的硅约为 28%。所以, 38CrMoAl 中的铝具有非常强的还原  $SiO_2$  能力, 使钢水产生增硅现象。

在 LF 精炼过程中, 由于吹氩搅拌的作用, 增加了钢渣之间的界面面积, 加快了界面反应的速率, 使反应更易向增硅方向进行, 为反应提供了良好的动力学条件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 钢水可浇铸性情况

已生产 32 炉, 合计 2 875.76 t。前 4 次生产, 为稳妥起见, 采用 2 炉连浇, 浇铸过程十分顺行, 后逐步上升至 4 炉连浇, 最高达 5 炉连浇。由此可见上述采取的提高可浇性措施是有效的。进一步提高连浇炉数的限制环节有: 生产节奏跟不上, 耐火材料部分侵蚀使结水口加剧, 今后需进一步试验和改进。

### 2.2 出钢至精炼过程增硅

从出钢至精炼结束钢液中硅含量变化情况如图 1 所示。从图 1 表明: (1) 在精炼过程前 30 min, 尽管未向钢中添加硅铁合金, 但钢中的硅含量上升幅度较大, 30 min 后钢中硅含量基本稳定; (2) 各炉次增硅量不同。

4 炉钢出钢后与精炼终点钢包顶渣样成分结果分别如表 2 所示。

从表 2 可见, LF 顶渣中的  $SiO_2$  几乎全部被还原成硅进入钢水, 使钢中硅含量上升, 由于顶渣中的

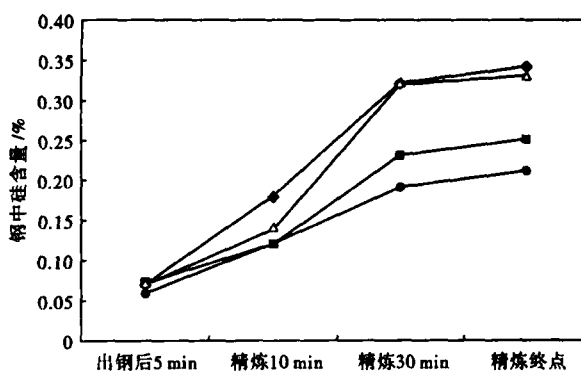


图 1 出钢至精炼终点钢中硅含量变化

Fig. 1 Change of silicon content in steel after tapping for 5 min to at end of refining

表 2 38CrMoAl 出钢后和精炼终点钢包顶渣样成分 / %  
Table 2 Ingredient of LF top slag sampled after tapping and at end of refining / %

取样	$Al_2O_3$	CaO	$SiO_2$	FeO	MgO
出钢后	30 ~ 35	31 ~ 35	17 ~ 28	0.8 ~ 1.5	5.0 ~ 9.0
精炼终点	34 ~ 44	47 ~ 58	< 0.001	0.2 ~ 0.3	6 ~ 8

$SiO_2$  主要来自出钢下渣、合金脱氧产物和石灰等, 其初始值不同, 从而导致了增硅量的不同。当渣中的  $SiO_2$  全部被还原后, 钢中的硅含量趋于稳定。

### 2.3 铸坯质量

熔炼分析化学成分统计平均值 (32 炉) 如表 1 所示。从轧材上取样分析其总氧值为  $(5 \sim 8) \times 10^{-6}$ 。轧成圆钢供用户加工螺杆, 各项加工性能及最终产品均可满足用户要求。

## 3 结语

(1) 出钢后铝尽早加入, 使  $Al_2O_3$  有充裕的时间上浮; 精炼过程中全程吹氩; 造高碱度、高还原性、流动性良好的顶渣, 充分吸附从钢中上浮的  $Al_2O_3$  夹杂物; 精炼末期钙处理。连铸实施全程保护浇铸; 加大中间包浸入式水口内径, 经实践证明措施是有效的, 可使连铸连浇炉数达 5 炉。

(2) 防止硅超过规格, 须控制出钢过程的下渣量。

### 参考文献

- 1 Cho J S, Lee H G. Clod Model Study on Inclusion Removal From Liquid Steel Use Fine Gas Bubbles. ISIJ International, 2001, 41(2): 151
- 2 刘学华, 韩传基, 蔡开科, 等. 小方坯连铸低碳低硅铝镇静钢可浇性. 北京科技大学学报, 2005, 27(4): 431
- 3 陈襄武. 炼钢过程的脱氧. 北京: 冶金工业出版社, 1991

余国松 (1967-), 男, 高级工程师, 武汉科技大学毕业, 新产品开发及工艺研究。

收稿日期: 2008-01-29