

低硅 ST30Al 镇静钢生产工艺实践

蒋栋初, 刘国豪

江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司炼钢厂, 淮安 223002

BilletBilletProduction technology practice of low silicon ST30Al killed steel

Jiang Dongchu, Liu Guohao

Steelmaking Works, Huaigang Special Steel Co Ltd, Jiangsu Shasteel Group, Huaian 223002, China

1.前言

ST30Al 属于低碳低硅铝镇静钢, 产品主要被用于制作无缝钢管, 供汽车油管使用。ST30Al 钢水中碳硅含量较低, 转炉出钢氧含量较高, 脱氧元素以 Mn 和 Al 为主, 铝是其中主要的强脱氧剂, 容易生成 Al₂O₃ 夹杂, 造成结瘤等生产事故。为减少 Si 成分异常、浇铸结瘤等事故的发生, 淮钢针对钢种特点, 对生产环节进行优化, 实现了转炉→LF→RH→连铸 ST30Al 六炉的连续生产^[1-2]。文对某钢厂转炉-LF 精炼炉-LF 精炼炉-连铸开发低碳低硅铝镇静钢的生产过程进行论述, 对生产中存在的问题进行探讨。

2.生产工艺路线

2.1 ST30Al 生产工艺路线

高炉铁水→铁水包→脱硫扒渣→转炉→LF 精炼炉→RH→钙处理→小方坯连铸机。

3. 主要工艺控制及过程

3.1 转炉操作及终点控制

转炉以高炉铁水为原料, 利用 KR 对铁水进行预脱硫, 脱硫之前和之后分别对铁水进行扒渣, 确保入炉铁水[S]≤0.005%。

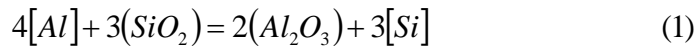
转炉吹炼前, 对炉内渣料进行清理, 第一炉按照 10-1 进行冶炼, 磷含量≤0.018%控制, 过程采用双渣法操作, 钢水过氧化、减少精炼过程钢水回磷增硅, 降低精炼炉脱氧升温负担, 生产中控制转炉终点【C】≤0.02%~0.08%, 【P】≤0.015%, 【Si】≤0.025%, 温度≥1600℃, 吹炼过程采用 Si 含量较低的造渣剂, 吹炼后期造粘渣、出钢过程挡渣出钢, 采用自动下渣检测系统, 以便严格控制出钢下渣量; 出钢过程全程开启钢包底吹, 保证钢水搅动; 出钢过程合金化、加入精炼合成渣造渣, 根据副枪定氧情况, 控制加铝量, 确保精炼到站【Al】0.03%~0.06%, 利用钢水高的温度及良好的搅拌强度, 提前使合金熔化并均匀, 对钢水进行预脱氧, 缩短化渣时间, 提高精炼炉效率。

3.2 LF 精炼工艺控制及操作

LF 精炼操作是生产过程的重点环节。为了保证成分、温度快速均匀, 大颗粒夹杂物迅速上浮, 精炼前期加入 250Kg 石灰, 80Kg 萤石, 渣面脱氧使用铝粒和少量电石, 确保过程脱氧、炉渣及 C 成分控制; 精炼中期适当提升搅拌, 保证脱硫, 当采用大搅拌时, 采用停电操作, 后期氩气维持弱搅拌, 保证夹杂物上浮, 进一步提高钢水的纯净度。

在 LF 精炼过程中, 硅含量增加主要因为 Al 和 SiO₂ 的还原反应, 而 SiO₂ 的来源主要由转炉下渣和原辅料石灰、萤石和金属锰的带入, 为降低 LF 过程回硅量, 萤石采用 1 级萤石, 全过程不使用含 Si 高的铁

合金及造渣材料，同时将强脱氧过程前移至转炉出钢，控制 LF 精炼 Al 含量在 0.02~0.04%，将 Al 含量调整移至 RH。通过上述调整，精炼回硅情况得到明显改善，控制在 0.02% 以内，其中反应式如下：



其标准吉布斯自由能为：

$$\Delta G^\theta = -1654641.38 + 98.72T \quad J/mol \quad (2)$$

$$\Delta G = \Delta G^\theta + RT \ln K =$$

$$\Delta G^\theta + RT \ln \frac{a_{Al_2O_3}^2 \cdot ([Si] \cdot f_{Si})^3}{a_{SiO_2}^3 \cdot ([Al] \cdot f_{Al})^4} \quad (3)$$

当达到化学平衡：

$$(Si) = \left[K \times a_{SiO_2}^3 \times \frac{([Al] \cdot f_{Al})^4}{a_{Al_2O_3}^2 \cdot f_{Si}^3} \right] \quad (4)$$

公式中：K 为反应平衡常数； $a_{Al_2O_3}$ 、 a_{SiO_2} 为渣中的 Al_2O_3 、 SiO_2 的活度 f_{Al} 、 f_{Si} 为 Al、Si 的活度系数； $[Al]$ 、 $[Si]$ 为钢种的 Al、Si 的质量分数^[3]。

3.3 RH 炉工艺控制及操作

RH 炉操作是成分调整的重要环节，RH 采用本处理模式，保证真空度 $\leq 100\text{pa}$ ，处理时间 $\geq 20\text{min}$ ，保持真空环境 5min 后加入铝粒，循环 3min，调整铝成分，保证成分 $[C] \leq 0.10\%$ ， $[Si] \leq 0.05\%$ ， $[Al]$ 控制在 0.025%。

为进一步提高钢水的纯净度，杜绝钢水结瘤，提高钢水的可浇性，连浇炉喂入纯钙线进行钢水变性处理，将钢水中的 Al_2O_3 转变为低熔点物质 $CaO-Al_2O_3$ ，但经过纯钙线变形处理会出现硅增高的现象，这主要是因为 Ca 与 SiO_2 容易发生还原反应，将渣中的 SiO_2 还原为 Si 进入到钢液中，为减少钢水硅含量，必须保证 LF 精炼吊包时钢水纯净度，同时减少纯钙线喂入量，降低硅增量。

如表 1 所示，通过工艺优化，变形处理后，硅增量在 0.004~0.007。

表 1 RH 变性处理前后 Si 变化情况%

Table 1 changes of Si before and after RH denaturation treatment

序号	变性处理前	变性处理后	增量
1	0.036	0.04	0.004
2	0.02	0.027	0.007
3	0.026	0.031	0.005
4	0.024	0.031	0.007
5	0.03	0.034	0.004

3.4 连铸工艺控制及操作

为保证连铸真常浇铸，对中包烘烤、二冷水、结晶器、拉矫机等设备进行检查；全程采用氩气保护浇铸，大包长水口用氩封，中间包加盖并用覆盖剂；连铸中包使用外装水口，并同时备用四支水口；针对开浇炉 10-1，开浇长水口下端离中包冲击区底部距离不得超过 20cm，开浇后及时调整长水口高度，关注钢水液面，及时加入中包覆盖剂，连浇 10-1 与 ST30Al 混交部分报废处理；结晶器使用保护渣，以防止钢水二次氧化；全程采用 M-EMS 搅拌，采用交流可控硅变频实现振动频率和拉速同步调节；二冷水量采用 PLC 自动控制，使不同拉速、不同冷却段有不同的配水。严格控制过热度，保证过热度与拉速最佳匹配。

通过上述过程控制，连铸过程稳定顺行，无絮流、汽泡、液面波动等情况的发生，从而保证铸坯的均匀及低倍组织的优良。

4.生产检验结果与问题分析

4.1 低倍检验结果

对生产的 6 炉 ST30Al 进行低倍取样分析，如表 2 所示，无中间裂纹、角部裂纹、真空汽泡、夹杂等缺陷，低倍质量符合质量标准。

表 2 低倍组织

Table 2 Low magnification organization

类型	一般疏松	中心疏松	锭型偏析	中心偏析	一般点状偏析	边缘点状偏析
要求	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	不允许	不允许
实际	1	1	0	0	0	0

4.2 成分检验结果

各工序 Si 含量变化

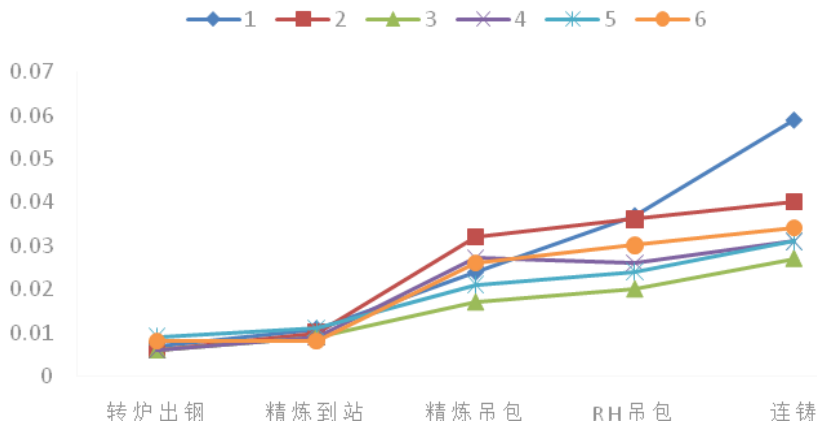


图 1 各工序 Si 含量变化

Figure 1 Changes in Si content in each process

如图 1 所示，生产 ST30Al 过程中从转炉出钢到连铸成品都存在样品 Si 含量增高的现象，转炉出钢【Si】<0.01%，精炼到站 Si 含量有小幅上升，说明出钢过程还存在有部分下渣。第一炉 ST30Al 在 RH 吊包到连铸成分有明显的上升，导致成品成分超出上限。

第一炉在精炼吊包到连铸工序样品成分有明显增硅现象，钢水中的含硅量与含铝量正相关，对其中 5 炉的加铝量进行观察，如表 3 所示，该炉次铝含量加入量偏高，导致回硅量增加的重要。

表 3 加铝量变化

Table 3 Changes in aluminum addition

序号	1	2	3	4	5
铝加入量 kg	50	30	36	15	18

4.3 工艺优化

1. 转炉双渣冶炼，降低出钢 Si 含量 $\leq 0.01\%$ ，出钢过程采用挡渣堆、滑板双模式，降低转炉下渣量。
2. 精炼过程利用电石替换 Al 脱氧，减少 Al 的使用量，同时采用含 SiO₂ 较低的萤石、石灰、锰合金等原辅料，后期控制好软吹时间，保证精炼钢水纯净度。
3. 调整过程工序，采用 RH 真空加铝粒的方式对 Al 成分进行调整，明确降低了该过程回硅量 0.004~0.007。
4. 制定 RH 工序 Al 调控制度，保证成分达标的前提下，减少 Al 粒的使用。

5.结论

生产低硅铝镇静钢 ST30Al 的生产时间是淮钢特钢领域发展的重要组成部分，在生产中，KR 过程必须注意对原材料的控制，控制入炉铁水成分，特别是【S】含量；转炉过程控制好钢水成分，保证【Si】 $\leq 0.01\%$ ，过程采用双单渣操作，避免下渣；精炼必须控制造渣、脱氧、搅拌，提升钢水纯净度，减少 Al 粒的使用量；RH 采用真空加铝方式，减少钙线使用量，严格控制成品成分。本研究通过上述生产试验结果证明，通过工序调整和参数优化，可实现低硅 ST30Al 镇静钢的高品质生产，后续淮钢将根据生产实践，继续优化工序，不断提升产品品质。

参考文献

- [1]孙大文,吴朝兵,许正周,刘从德,孙光涛.淮钢 ST30Al 冷加工用钢的研制[J].江苏冶金,2008,(02):49-50.
- [2]张海民.低碳低硅铝镇静钢生产实践[J].炼钢,2015,31(03):13-16.
- [3]黄希祐.钢铁冶金原理[M].北京,冶金工业出版社,2007.