

· 工艺技术 ·

120 t 转炉出钢利用 LF 固态精炼渣进行渣洗的工艺实践

石枚梅

(新疆工程学院机械系, 乌鲁木齐 830023)

摘要 120 t 转炉冶炼低碳铝镇静钢 SPHC 的出钢过程中向底吹氩的钢包中加 2.0 ~ 2.5 kg/t 铝铁(49% Al), 并加入 2.5 ~ 4.0 kg/t LF 精炼固态弃渣(/% : 6.29 ~ 10.33SiO₂, 19.14 ~ 29.57Al₂O₃, 54.69 ~ 59.96CaO, 4.97 ~ 6.89MgO)以替代钢水净化剂(预熔渣-钢渣改质剂 /% : 10 ~ 18Al₂O₃, 42 ~ 55CaO, >3.5Al, 2 ~ 5MgO, 6 ~ 10CaF₂)的生产结果表明,LF 精炼弃渣,化渣迅速,有利于吸附夹杂物,降低 T[O],消除水口结瘤,有利于改善环境和降低成本。

关键词 LF 精炼弃渣利用 120 t 转炉 渣洗 工艺实践

Practice of Slag Washing Process by using LF Solid Abandoned Refining Slag during 120 t Converter Tapping

Shi Meimei

(Department of Machinery, Xinjiang Institute of Engineering, Wulumuqi 830023)

Abstract The results of process during tapping of low carbon aluminium killed steel SPHC melted in 120 t converter, by adding 2.0 ~ 2.5 kg/t ferroaluminium (49% Al) and adding 2.5 ~ 4.0 kg/t LF solid abandoned refining slag (/% : 6.29 ~ 10.33SiO₂, 19.14 ~ 29.57Al₂O₃, 54.69 ~ 59.96CaO, 4.97 ~ 6.89MgO) to replace the liquid cleaning agent (premelting slag - slag modifying agent /% : 10 ~ 18Al₂O₃, 42 ~ 55CaO, >3.5Al, 2 ~ 5MgO, 6 ~ 10CaF₂) show that the LF abandoned refining slag melts quickly, it is available to absorb inclusions in liquid, reduce T[O], eliminate nozzle clogging and favorable to improve environment and decrease production cost.

Material Index Utilization of LF Abandoned Refining Slag, 120 t Converter, Slag Washing, Process Practice

宝钢集团新疆八一钢铁股份有限公司第二炼钢厂板坯生产线配置有 2 座 120 t LF, 冶炼过程产生的精炼炉弃渣量为 9 ~ 15 kg/t, 其中硅镇静钢为 9 ~ 12 kg/t; 铝镇静钢为 12 ~ 15 kg/t。精炼后的弃渣, 随着钢包铸余钢水一起倒入 11 m³ 的铸钢材料制作的渣罐, 自然冷却 24 h, 或者向渣罐喷水冷却 3 h, 待其在渣罐内凝固成为一个大渣坨的固态铸余渣体后, 进行翻罐, 使用炮头车热剥铸余渣体, 通过人工挑选的方法, 选取其中的铸余钢块以后, 其余的精炼渣作为工业垃圾外排。在此过程中, 由于精炼炉白渣粉化引起的污染问题严重, 同时外排精炼炉弃渣对于环境负荷越来越严重。

为了有效的解决以上难题, 该厂进行了精炼炉弃渣资源化利用的研究, 并在该生产线上进行了规模化的实验和应用, 将其作为转炉出钢过程中的脱氧渣使用, 效果明显。

1 生产线主要工艺设备的技术参数

120 t LF 冶炼周期 15 ~ 45 min; 升温速度 0.5 ~ 4.5 °C/min; 120 t 转炉出钢量 115 ~ 135 t。

120 t 生产线的工艺为转炉出钢过程中, 加入强

脱氧剂铝铁和合金化元素的同时, 随钢流加入吨钢 1.5 ~ 3 kg 的铝渣球与电石, 以及吨钢 3 ~ 8 kg 的石灰进行脱氧, 钢水在 LF 精炼送电时, 加入造渣材料造白渣, 造渣使用的材料有石灰、萤石、高效埋弧剂、铝渣球、电石等, 进行造白渣扩散脱氧。其中铝渣球与高效埋弧剂的成分分别见表 1、表 2、表 3。

表 1 钢包改质铝渣球的成分和粒度

Table 1 Ingredient of modified aluminium slag globule and Size

化学成分 / %						粒度 / mm	筛下物 / %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al	CaCO ₃	CaO	H ₂ O		
≤ 5.0	10.0 ~ 15.0	48.0 ~ 52.0	18.0 ~ 22.0	8.0 ~ 12.0	≤ 0.5	3 ~ 20	≤ 0.5

表 2 预熔渣的成分 / %

Table 2 Ingredient of premelting slag / %

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
5.27	1.91	41.17	13.64	1.69

表 3 精炼剂的成分 / %

Table 3 Ingredient of refining agent / %

CaO	SiO ₂ + SiC	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
≥ 50	≥ 18	≥ 20	≤ 2	< 10

2 LF 精炼弃渣的特点和利用途径的分析

2.1 LF 精炼弃渣的特点

炼钢过程中产生的 LF 精炼弃渣属于污染严重的一种废弃物,其资源化的途径大多数处于工业化的试验阶段或者在烧结厂使用的较为常见^[1-2]。

LF 精炼弃渣属于一种非均质体,在弃渣的冷却过程中,熔点高的组分首先凝固析出结晶,随着温度的降低,熔点低的组分进一步结晶凝固。在精炼弃渣的组分中间,含量相对较高的组分是硅酸二钙,其熔点最高(2 130 ℃),因而首先析出,析出结晶凝固后,随着温度的进一步降低,发生 $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的晶型转变^[3],晶型转变过程中伴随有 5% 的体积膨胀,造成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 晶体碎裂成为一个一个小颗粒晶体,即日常生产中的白渣粉化现象。

白渣中的硅酸二钙粉化以后,成为粒度小于 1 mm 的粉末状渣粒,容易在装卸过程中漫天飞舞,是精炼弃渣产生污染的最主要的原因,其中粉化部分的总量占 LF 精炼弃渣的 1/3。精炼弃渣中的铝酸钙盐($m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$) 为主的低熔点的物质析出凝固后,以铝酸钙的形式存在,随着温度的降低,以固态块状的形式存在,在短时间内不会发生粉化现象,以固态的形式相对稳定的存在一段时间,成分主要为 CaO 和 Al_2O_3 。精炼弃渣中间的 MgO,以方镁石晶相为主凝固析出^[4],以固态的形式存在。这些钙铝酸盐相和方镁石相则是 LF 精炼过程中,造渣所需要的有益成分。值得注意的是,这种 LF 精炼弃渣的凝固特点,为回收其中的有益成分提供了可以操作的便利条件。

2.2 LF 精炼弃渣利用途径的分析

该厂产生的 LF 精炼弃渣,按照不同阶段降温析出结晶后,分为粉状部分和块状部分两大类。其中粉化的粉状部分,以小于 1 mm 的颗粒状散落在最底层。方镁石晶相在铸余渣体的中间凝固,颜色和结构与天然大理石相似;钙铝酸盐以黄色、白色、黄白色的固态存在。选取不同炉次,与没有粉化部分的白渣成分进行了针对性的成分测定,测定过程中按照颜色的不同划分为 A、B、C、D 四类,测定的成分与之对应的实物照片见图 1。

可以看出,除了冶炼硅镇静钢的弃渣成分中的

(SiO_2) 较高以外,其余的主要成分均能够应用于板坯生产线大部分钢种的钢水精炼过程中。

3 LF 精炼弃渣利用的实验

3.1 LF 精炼弃渣的准备

LF 精炼弃渣的准备工作在该厂的渣场。将 LF 精炼铸余渣破碎,自然冷却 24 h,使用炮头车将渣体破碎,再自然冷却 8 h,使渣体表面的温度降低到 30 ℃ 以下。精炼弃渣基本上分为两种:一种粉化的沉积在地面,一种以固态的形式存在,颜色各异。选用的时候,进行人工挑拣。选择其中没有粉化,粒度在 50 mm 以上,呈现白色、黄色的固态渣体,然后使用颚式破碎机将其破碎,将 50 mm 以下的固体颗粒装袋,每袋 10 kg,送到 120 t 转炉出钢位待用。

3.2 工艺方案

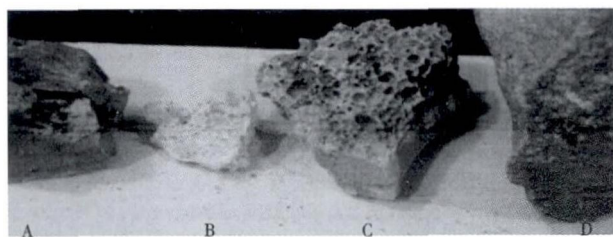
加入的各类脱氧渣在出钢过程中快速融化,与金属脱氧剂在脱氧环节产生的脱氧产物反应,聚焦长大上浮,还能够与加入的石灰生成各类低熔点的化合物,促进石灰的溶解,起到脱硫的功能^[5]。

考虑到表 3 精炼渣的成分范围,可以认为,在 LF 精炼温度下形成的白渣,由于采用自然冷却,其结晶过程很充分,高熔点的硅酸二钙粉化后被筛除,所以选用的固态弃渣具有熔点低、化渣快的特点,可以完全替代预熔渣和合成渣,在转炉冶炼低碳铝镇静钢的出钢过程中使用,对于钢液的脱氧有积极的意义。

考虑到该厂冶炼低碳铝镇静钢 SPHC ($\% : \leq 0.10\text{C}, \leq 0.03\text{Si}, 0.25 \sim 0.35\text{Mn}, \leq 0.020\text{P}, \leq 0.020\text{S}, 0.020 \sim 0.05\text{Als}, \leq 0.50(\text{Cr} + \text{Ni} + \text{Cu})$) 的过程中,由于结瘤问题突出,先后使用了多家科研院所及厂家提供的不同产品,来解决结瘤的问题,但是由于产品价格较高,一直困扰着该厂的冶炼成本。

在参考相关的文献以后^[6],该厂采用了两种方式在冶炼该钢种的工艺过程中进行试验:

(1) 出钢终点碳含量 [C] 在 0.045% ~ 0.08% 时,出钢过程中全部使用 LF 精炼弃渣,加入量为



类别	成分 / %			
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
A	6.36	29.14	58.29	4.97
B	6.29	19.14	59.96	6.08
C	5.53	29.51	54.69	6.89
D	10.33	26.23	55.87	5.19

图 1 LF 精炼弃渣的形貌和主要成分

Fig. 1 Morphology and main ingredient of LF abandoned refining slag

2.5 ~ 4.0 kg/t, 不加石灰和其他任何的脱氧渣料, 合金化脱氧的工艺不变。

(2) 出钢终点碳含量 [C] < 0.045% 时, 即转炉终点碳含量控制不好的情况下, 出钢过程中配加 LF 精炼弃渣替代预熔渣, 加入量为 4.0 ~ 5.0 kg/t, 其他的工艺不变, 即出钢过程中加入 2.0 ~ 5.0 kg/t 的石灰, 并且加入 0.2 ~ 0.5 kg/t 的电石进行脱氧, 合金化工艺不变。

3.3 操作与投加方式

(1) 当转炉出钢温度为 1 595 ~ 1 650 °C, 出钢前 3 min 底部吹氩 150 ~ 450 L/min。

(2) 转炉钢水出到钢包在 5 ~ 20 t, 形成高度 5 ~ 10 cm 熔池时, 开始随钢流加入铝铁与 LF 精炼弃渣, 同时加入合金化的低碳锰铁, 氩气强搅拌, 氩气流量以钢包内钢水剧烈运动沸腾, 不溢出钢包为原则, 利用大气泡的尾流模式去除夹杂物。铝铁加入量 2.0 ~ 2.5 kg/t, 铝铁的铝含量为 49%。

(3) LF 精炼弃渣必须在钢水出完前投加完毕, 加入时间小于出钢时间 1 ~ 2 min, 出钢结束以后, 氩气搅拌强度保持软吹搅拌模式, 目的是利用小气泡粘附夹杂物的模式, 促使夹杂物上浮到顶渣内去除。

(4) 出钢结束以后, 按照常规的作业标准和流程进行作业, 对于钢水的温度进行补偿升温 (LF 升温) 或者降温处理 (吹氩搅拌降温), 对于铸态组织成分进行调整, 然后钢水上连铸机浇铸即可。

3.4 实践结果

2012 年 5 月起, 该厂在冶炼 SPHC 钢的过程中开始使用 LF 精炼弃渣, 效果与预期的相一致, 试验过程中还特意做了减少加入量到每炉 80 kg 的实验,

实验过程中渣况及特征见表 4, 渣样成分的分析见表 5。

从实践结果看, 实验与预期的理论分析基本吻合, 在采用少量的 LF 精炼弃渣 (80 kg/炉) 配加石灰的工艺模式中间, 钢包的顶渣与传统工艺的顶渣相似, 即存在石灰没有完全熔化, 在顶渣内结块的现象, 钢水浇铸有结瘤的现象, 使用效果上比使用钢包改质铝渣球的效果差; 而使用 160 kg 以上的炉次, 顶渣基本上全部熔化, 顶渣较稀, 钢水在连铸的浇铸情况较好, 无结瘤迹象, 这与顶渣充分吸收钢水中的夹杂物有密切的关系, 使用效果与东北一所大学提供的钢水净化剂 (/%: 10 ~ 18Al₂O₃, 42 ~ 55CaO, >3.5Al, 2 ~ 5MgO, 6 ~ 10CaF₂, 粒度 5 ~ 30 mm) 不相上下, T[O] 由出钢前的 500 × 10⁻⁶ ~ 650 × 10⁻⁶ 下降到 15 × 10⁻⁶ 以下, 但是成本仅有钢水净化剂的 1/6, 这与文献 [7] 的描述一致。鉴于试验中间的有益效果, 目前该技术已经与该厂的附属企业达到了规模化利用的协议, 进入规模化实施阶段。

4 结论

(1) 采用自然冷却的 LF 精炼弃渣具有结晶充分, 不同熔点的矿物组织具有先后凝固析出, 易于分离的特点, 为选取其中有益成分 (与预熔渣相似) 作为炼钢回收利用提供了有利的条件。

(2) LF 精炼弃渣作为预熔渣的替代品, 具有化渣迅速, 有利于吸附夹杂物, 成本低廉的特点, 能够规模化的应用于炼钢过程中。

参考文献

- [1] 任雪, 李辽沙. LF 炉精炼渣资源化特性 [J]. 安徽工业大学学报, 2009, 26(4): 338-340.
- [2] 吕宁宁, 于景坤, 苏畅. LF 炉精炼渣循环利用的研究进展 [J]. 中国冶金, 2011, 21(10): 2-5.
- [3] 刘新生, 赵宏欣, 吕晓芳. 12CaO · 7Al₂O₃ 预熔渣在精炼过程中的粉化问题 [J]. 炼钢, 2006, 22(6): 18-22.
- [4] 唐明述, 袁美栖, 韩苏芬, 等. 钢渣中 MgO、FeO、MnO 的结晶状态与钢渣的体积安定性 [J]. 硅酸盐学报, 1979, 7(1): 35-38.
- [5] 俞海明. 转炉钢水的炉外精炼技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 248-251.
- [6] 林功文. 钢包炉 LF 精炼用渣的功能和配制 [J]. 特殊钢, 2001, 22(6): 28-32.
- [7] 汤曙光. LF-VD 精炼渣组成对冶金效果的影响 [J]. 炼钢, 2001, 17(4): 29-32.

表 4 实验的渣况和特征

Table 4 Slag condition and characteristics of experiment

LF 精炼弃渣加入量/kg	钢包起始渣样 (出钢结束)	钢包终点渣样 (连铸机浇铸结束)	备注
420	稀渣, 玻璃状, 成黑色, 顶渣完全熔化	渣子稀, 成黑色	出钢未加石灰
450	稀渣, 成微黄色, 顶渣完全熔化	渣子一般, 成微黄色	出钢未加石灰
260	灰白渣, 顶渣完全熔化	玻璃状灰白渣	出钢加石灰 200 ~ 300 kg
80	灰渣, 顶渣有部分的石灰没有熔化	灰黑渣, 钢包内结壳	出钢加石灰 300 ~ 500 kg

表 5 钢包内的渣样成分/%

Table 5 Ingredient of molten slag sample in ladle /%

项目	CaO	SiO ₂	TFe	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
渣样 (始)	34 ~ 38	6 ~ 14	0.2 ~ 0.6	25 ~ 31	5 ~ 14	0.4 ~ 1.7
渣样 (终)	31 ~ 37	5 ~ 12	0.11 ~ 0.5	22 ~ 30	6 ~ 14	0.3 ~ 0.7

石枚梅 (1968-), 女, 硕士研究生在读, 冶金高级讲师, 1990 年西安建筑科技大学 (本科) 毕业, 钢铁冶金及渣处理工艺研究. E-mail: 1136128217@qq.com

收稿日期: 2013-09-23