

## 实芯纯钙线在 LF 精炼过程中的应用

张 宝<sup>1</sup> 施月明<sup>1</sup> 项 利<sup>2</sup> 陈远清<sup>2</sup> 张延和<sup>3</sup>

(1 上海德司克测控技术有限公司, 上海 200081; 2 钢铁研究总院连铸技术国家工程研究中心, 北京 100081;

3 新余钢铁集团有限公司第二炼钢厂, 新余 338001)

**摘 要** 对比分析了实芯钙线(99.35% Ca)和钙铁线(30.53% Ca)在 160 t、230 t 和 300 t LF 精炼过程应用的冶金效果。喂纯钙线前后平均钢水的酸溶铝、硫含量和温度分别为 0.036%、0.010%、1 587 ℃ 和 0.029%、0.008%、1 584 ℃。与喂钙铁线相比,喂实芯纯钙线,钙的收得率提高 10%,喂线量少 50%,喂线时间缩短 2~3 min,钢水温降减少 3~5 ℃,具有明显的冶金效果。

**关键词** LF 精炼 钙处理 实芯纯钙线 钙铁线

## Application of Solid-Core Pure Calcium Wire during LF Refining

Zhang Bao<sup>1</sup>, Shi Yueming<sup>1</sup>, Xiang Li<sup>2</sup>, Chen Yuanqing<sup>2</sup> and Zhang Yanhe<sup>3</sup>

(1 Shanghai Desic Measure and Control Technology Co Ltd, Shanghai 200081; 2 National Engineering Research

Center of Continuous Casting Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081;

3 No2 Steelmaking Plant, Xinyu Iron and Steel Group Co Ltd, Xinyu 338001)

**Abstract** The metallurgical effects of solid-core calcium wire (99.35% Ca) and CaFe wire (30.53% Ca) feeding during 160 t, 230 t and 300 t LF refining process have been compared and analyzed. The average acid soluble aluminium, sulphur content and temperature of liquid before and after feeding solid-core pure calcium are respectively 0.036%, 0.010%, 1 587 ℃ and 0.029%, 0.008%, 1 584 ℃. As compared with feeding CaFe wire, with feeding solid-core calcium wire the yield of calcium increases by 10%, the feeding wire amount decreases by 50%, the feeding wire time reduces by 2~3 min and the temperature drop of liquid decreases by 3~5 ℃, it has obvious metallurgical effect.

**Material Index** LF Refining, Calcium Treatment, Solid-Core Calcium Pure Wire, CaFe Wire

随着炼钢产能的扩大,国内的大转炉日益增多,对冶金辅料带来了一系列的挑战。国内钙铁线是粉末状填充的,喂线时蒸汽大,钙的收得率偏低,又很容易断线、卡线,对炼钢生产造成一定的影响;实芯纯钙线是用厚钢壳包裹的高密度实芯纯钙棒,线质较硬,喂线时不打滑、不跑偏,能在钢水的临界深度以下停留较长时间,使钙的收得率大幅提升。

### 1 钙处理原理以及钙铁线和实芯纯钙线生产工艺

#### 1.1 钙处理的原理

钙处理就是把钙线通过喂线机喂入钢水中,利用钢包底部的吹氩系统,促进钢水的均匀化,可以把脱氧产生的大颗粒高熔点的脆性  $Al_2O_3$  夹杂物变为低熔点的钙铝酸盐夹杂(如  $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ ),有效促进夹杂物的上浮,提高钢水的洁净度。

铝脱氧的钢中存在的氧化铝夹杂物熔点很高,在连铸温度下呈固态,很容易在中间包水口处聚积造成堵塞; $Al_2O_3$  系夹杂物的密度比钢液密度小,如果能够控制铝脱氧产物的形态,使其在钢水中呈液态,就可以使大量的这类脱氧产物在进入中间包之

前去除,不仅可以减轻中间包水口堵塞问题,还可以提高钢的清洁度,提高连铸坯的质量。

钙处理可以避免形成长条状的硫化物夹杂,改善钢的各向异性,所以控制 MnS 的形态和组成十分重要。无论钢中铝量如何,只要加入钙,一般生成球形或团状 CaS 或 (Ca, Mn)S,就避免了枝晶状 MnS 的形成。

#### 1.2 钙铁线和实芯纯钙线的生产工艺

钙铁线生产工艺流程如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

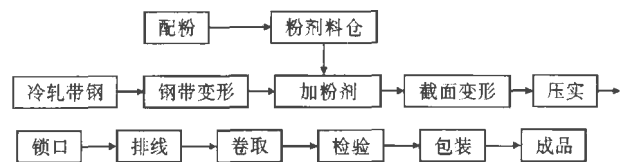


图 1 钙铁线生产工艺流程

Fig. 1 Flow sheet of manufacture process for CaFe wire

实芯纯钙线的生产工艺(如图 2)是用纯钙锭高压热拔抽拉成的线钙棒,用钢壳包裹而成,再排线、检验、包装、成品。

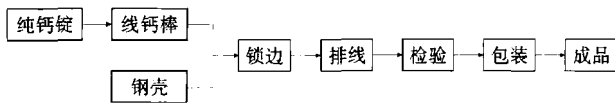


图 2 实芯纯钙线生产工艺流程

Fig. 2 Flow sheet of manufacture process for solid-core pure calcium wire

## 2 实芯纯钙线与钙铁线在国内钢厂的对比试验

钢厂生产 SPHC 钢的工艺流程为:铁水预处理→转炉→LF→连铸。SPHC 钢化学成分见表 1。

表 1 SPHC 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel SPHC / %

C	Si	Mn	S	P	Als
0.02~0.08	≤0.05	0.15~0.35	≤0.015	≤0.020	0.020~0.050

分别在 160 t、230 t、300 t 转炉 LF 精炼区做了对比试验,试验钢种为低碳低硅钢或一般含铝钢。钙铁线的芯重为 0.253 kg/m,芯重钙含量为 30.53%;实芯纯钙线芯重为 0.065 1 kg/m,芯重钙含量为 99.35%,喂线前钢包里钢水的钙含量为  $2 \times 10^{-6}$ 。

为了安全起见,喂纯钙线时喂线速度有所降低,按正常工艺取样化验,喂线前后钢水的酸溶铝、硫含量和温度(表 2);硫含量减少了 0.002%,钢水温降减低 3℃。

### 2.1 160 t 钢包

表 2 喂实芯纯钙线前后 SPHC 钢水的酸溶铝、硫含量和温度  
Table 2 Acid solution aluminium, sulphur content and temperature of SPHC liquid before and after feeding solid-core pure calcium wire

工序	Al/%	Als/%	S/%	T/℃
喂线前	0.039	0.036	0.010	1 587
喂线后	0.032	0.029	0.008	1 584

从图 3(a)可见,使用钙铁线处理后的钢水在钢包里的钙含量波动比较大(最小为 0.000 8%,最大为 0.004 0%),钢包钙含量平均值为 0.001 7%;使用纯钙线处理后的钢水在钢包里的钙含量波动小,比较稳定(最小为 0.001 3%,最大为 0.002 4%),钢包钙含量平均值为 0.001 7%。虽然钢包钙含量相同,不管出钢量或多或少,但纯钙线处理后的钢水钙含量比较稳定,波动小,有利于连铸钢水的可浇性。

从图 3(b)可见,使用钙铁线处理后的钢水的钙收得率范围为 4.14%~22.15%,平均值为 9.38%;使用纯钙线处理后的钢水的钙收得率在 12.42%~28.15%,平均值为 19.73%,明显比钙铁线的钙收得率高 10%。

从图 3(c)可见,使用钙铁线处理后的钢水钙消耗量范围为 145.01~200.03 g/t<sub>钢</sub>,其平均值为 164.21 g/t<sub>钢</sub>;使用纯钙线处理后的钢水钙消耗量范围为 59.78~93.76 g/t<sub>钢</sub>,其平均值为 76.29 g/t<sub>钢</sub>,比较稳定,而且节省了一半的钙线。

### 2.2 230 t 钢包和 300 t 钢包

经过在 230 t 钢包做纯钙线试验后,效果符合预期。于是,继续在 300 t 钢包喂纯钙线,试验效果依然良好,实芯纯钙线的优势进一步得到验证(表 3)。

### 2.3 结果探讨

#### 2.3.1 喂线机理

钙铁线是用粉末状填充的,实芯纯钙线采用是厚壳包芯线,内芯是采用高压拉拔成丝的高密度实芯纯钙棒,喂线时不会带入其他氧化物而污染钢液;厚的外钢壳和高密度的实芯纯钙棒可以将钙喂入钢水的更深部位(图 4),并在临界深度以下停留较长的时间,从而得到较高的钙收得率;而钙铁线是用粉末状填充的,比较软,喂入钢水中较浅;如果钢水上面的

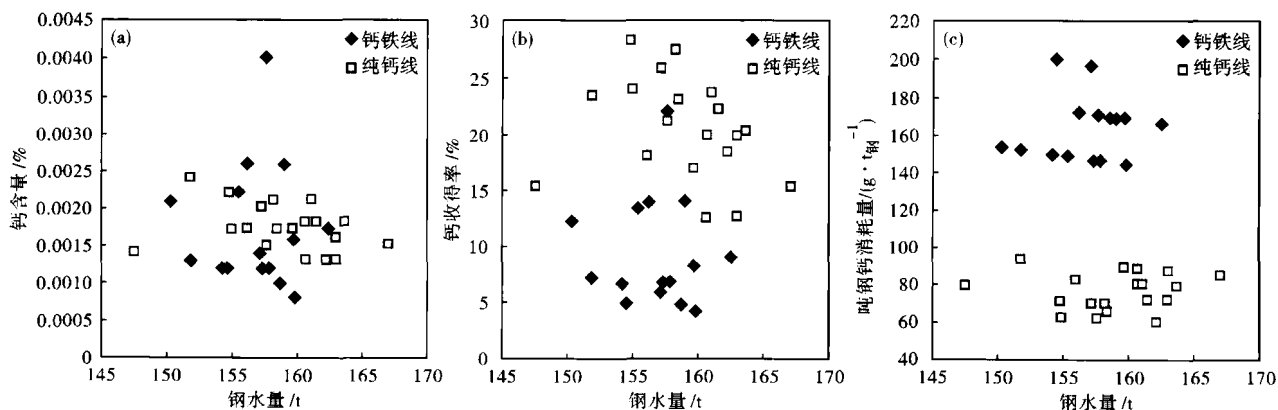


图 3 CaFe 线、实芯纯钙线和钢水量对钢中钙含量(a)、钙收得率(b)和吨钢钙消耗量(c)的影响

Fig. 3 Effect of CaFe wire, solid-core pure calcium wire and treated liquid amount on calcium content in steel (a), yield of calcium (b) and amount of calcium consumption per ton steel (c)

表 3 SPHC 钢 230 t 和 300 t 钢包的喂 CaFe 线和实芯纯钙线试验结果

Table 3 Test results of feeding CaFe wire and solid-core pure calcium wire in 230 t ladle and 300 t ladle SPHC steel

钢包容量/ t	喂线种类	平均出钢量/ t	喂入量/ m	成分/%				钙收得率/ %	吨钢钙消耗量/ (g·t <sup>-1</sup> )
				喂线后		中间包样			
				Als	Ca	Als	Ca		
230	钙铁线	233	944	0.042	0.002 4	0.035 9	0.001 7	6.65	313.16
	纯钙线	229	345	0.036	0.002 0	0.025 3	0.001 5	16.73	116.40
300	钙铁线	285	1 200	0.039	0.003 9	0.035	0.002 7	11.40	325.22
	纯钙线	285	640	0.044	0.003 0	0.036 8	0.002 2	19.34	145.02

渣层过厚或结块,钙铁线就喂不进去漂浮在渣层上造成浪费。

如图 4 所示,喂线机的导管要稍微偏离吹氩孔的位置。喂线时,厚壳纯钙线正好顺着氩气泡的漩涡进入到钢水深层,经过多次碰撞,实芯钙粒就被分成小的微粒钙,均匀分布于钢水深层,促进了钙铝酸盐、(Ca、Mn)S 等夹杂物之间的形态转变;由于喂线量少,喂线时间缩短了 2~3 min,钢水温降也减少 3~5 ℃。

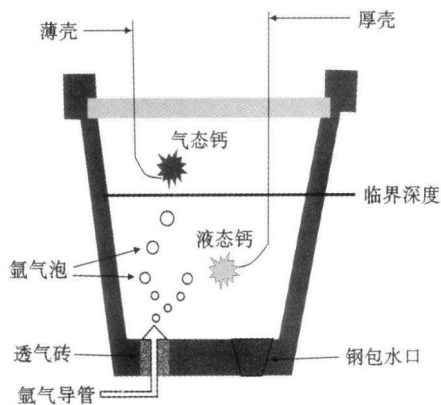


图 4 厚壳钙线处理示意图

Fig. 4 Schematics of liquid treating by solid-core calcium wire with cladding steel

喂实芯纯钙线时,白色烟气小,相对来说,更环保。钢水的钙含量稳定,钢水流动性好,有助于促进夹杂物上浮,钢水更清洁;有助于均匀连铸坯成分,质量稳定。

### 2.3.2 结果分析

从精炼炉出站到连铸平台,由于各厂的情况不同,钙损失亦有区别。但从整体来看,实芯纯钙线比钙铁线的钙损失小很多(表 4),即经过纯钙线处理后的钢水成分、温度均匀,钢水的钙含量稳定,夹杂物的组成、形态和晶粒度也大有好转。

表 4 含铝钢和低碳低硅钢喂钙铁线与实芯纯钙线的试验数据比较

Table 4 Comparison of test data for general bearing aluminium steel and low carbon low silicon steel feeding by CaFe wire and solid-core pure calcium wire

钙线种类	转炉/ t	钢种	钢水量/ t	喂线量/ m	喂线后钙含量/ 10 <sup>-6</sup>	中间包钙含量/ 10 <sup>-6</sup>	钙收得率/%	吨钢钙消耗量/(g·t <sup>-1</sup> )
钙铁线	160	一般含铝钢	157	333	17	-	9.38	164.21
	230	低碳低硅钢	233	944	24	17	6.65	313.16
	300	低碳低硅钢	285	1 200	39	27	11.40	325.22
纯钙线	160	一般含铝钢	159	187	17	-	19.73	76.29
	230	低碳低硅钢	229	345	20	15	16.73	116.40
	300	低碳低硅钢	285	640	30	22	19.34	145.02

从不同钢包容量的数据分析比较,实芯纯钙线比钙铁线的收得率高 10%,吨钢钙消耗量减少一半(表 4)。

### 3 结论

实芯纯钙线比钙铁线的优势明显,如喂线时间短,喂线前后温降小,钙在钢水的临界深度以下停留时间较长,收得率比普通钙铁线高 10%,喂线量减少 50%;喂线时不断线、不卡线、烟气小,更环保;储存时间长,还有效地降低工人的劳动强度。

鉴于实芯纯钙线在运输、储存、使用过程中比钙铁线有明显优势,目前已在国内几大钢厂正式使用或试用。而实芯纯钙线将有望实现国产化,在未来数年内取代钙铁线是一种趋势。

本文试验所用的实芯纯钙线由美国珉泰克国际集团公司提供,藉此感谢许肃、杨铭、理查德·鲍姆等对本工作的大力支持。

### 参考文献

- 1 杨兆林,宋超. 钙铁包芯线的制作及其在钙处理中的应用. 安徽冶金, 2009(2): 34

张宝(1981-),男,硕士,工程师,2007年昆明理工大学毕业,冶金材料的应用。

收稿日期:2011-04-08