

## LF泡沫精炼渣研究和发展现状

张东力, 毕衍涛, 陈树国

(济南钢铁集团总公司, 山东 济南 250101)

**摘要:** 介绍了LF泡沫精炼渣的提高热效率, 降低炉衬消耗等功能, 重点分析了炉渣物理性质、炉渣成分、工艺条件等对熔渣泡沫化性能的影响。指出精炼渣的脱硫性能和泡沫化性能存在一定冲突, 发泡剂机理应该从提供气源以及改变熔渣物理性质两方面来考虑。

**关键词:** LF; 泡沫精炼渣; 泡沫化性能; 发泡指数

中图分类号: TF703.6 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620 (2004) 03-0044-02

## Developing Actuality of LF Submerged Arc Foaming Slag

ZHANG Dong-li, BI Yan-tao, CHEN Shu-guo

(Jinan Iron and steel Group, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The chief refining behavior of LF foaming slag is described, such as improving heat efficiency and decreasing refractory consumption, et al. Foaming capability of slag is relevant to physical properties, slag composition and technical conditions. According to analysis, there is some conflict between slag foaming and desulphurizing capabilities, and action mechanism of foaming agent should be understood on aspects both supplying of gas and changing to the physical property of molten slag.

**Keywords:** ladle furnace; foaming slag; foaming capability; foaming index

使用传统工艺的LF时, 钢包的炉壁暴露于电弧的辐射之中, 使得炉衬耐火材料的工作环境恶劣, 造成了钢包的快速消耗。电炉冶金中的泡沫渣技术应用十分广泛, 炉渣泡沫化后有效地屏蔽了电弧在熔清期对炉壁耐火材料的强烈辐射。因此, 借鉴电炉炼钢的泡沫渣技术来降低LF的运行成本得到了重视。在LF中使用泡沫渣精炼工艺, 可以埋弧加热, 稳定电弧, 提高精炼的热效率; 大大减少电弧对钢包炉衬的高温辐射, 提高钢包的使用寿命。

## 1 精炼渣的泡沫化性能

### 1.1 熔渣的起泡行为

熔渣起泡现象在工业生产中经常可以看到, 当渣中的大量气体以球状或多面体状气泡形式存在, 并在气泡间形成一定的隔离渣膜时, 就会造成熔渣的泡沫化。

由于起泡增加了表面能, 因此体系有减少表面积消除泡沫的趋势, 但由于气泡和分隔渣膜的界面现象, 泡沫能够在一定时间内存在。

对于泡沫渣的泡沫化性能有不同的衡量标准。Ito和Fruehan定义了发泡指数: 当进入熔渣的吹气速度达

到某一程度时，熔渣的泡沫高度与吹气速度成正比，两者的比值为—常数，该常数即发泡指数 $\Sigma$ ， $\Sigma$ 越大表明发泡性能越好。

对炉渣的发泡指数进行因次分析，可得到： $\Sigma = k\mu\rho\sigma g$  (1)

式中 $\sigma$ —表面张力；

$\rho$ —密度；

$g$ —重力加速度；

$\mu$ —粘度；

$k$ —比例常数。

由式(1)可见，影响熔渣泡沫化的主要因素是渣的密度、粘度、表面张力等。

## 1.2 熔渣泡沫化影响因素分析

1.2.1 炉渣物理性质的影响 因为炉渣泡沫化造成体系表面积的增加，使表面能增加。所以如果熔渣的界面张力减小，则形成泡沫渣所需要的功减少，有利于熔渣泡沫的形成。

熔渣的泡沫是由熔渣液膜隔离气泡而形成的，气泡形成后它们之间的液膜能否持久存在是泡沫存在的重要影响因素。熔渣的粘度提高和密度降低皆有利于气泡间液膜的存在，也相应能促进泡沫渣的形成。研究结果表明，熔渣的起泡指数与炉渣的密度、粘度、表面张力有式(2)的关系：

$$\Sigma = (108 \sim 115) \mu \rho \sigma \quad (2)$$

1.2.2 炉渣成分的影响 碱度 $R$  ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) 大于1.22时，发泡指数随 $R$ 的增大而增大，在 $R$ 为2.0时出现峰值。因为 $R$ 增大则渣中固相质点 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 不断增多，将阻碍气泡运动，延长气泡在熔渣中的滞留时间。另外，固相质点的存在提高了熔渣粘度，粘附在气液界面上的固相质点还提高了液膜的强度和弹性，从而使液膜难以破裂。

对于渣中( $\text{FeO}$ )对熔渣泡沫化的影响，有人认为( $\text{FeO}$ )增加，炉渣的表面张力增大，流动性变好，不利于气泡的形成和气泡的稳定存在。但也有人从泡沫渣生成所需的气源方面考虑，认为( $\text{FeO}$ )与熔渣中的部分还原物质反应从而提供发泡必须的气源，适当的( $\text{FeO}$ )含量有利于气泡的生成。但由于精炼渣对脱氧、脱硫的高要求，使渣的氧化性必须保持在低水平，所以LF用泡沫精炼渣中的( $\text{FeO}$ )含量必须严格控制。根据笔者的实验室研究，在精炼渣所允许的 $\text{FeO}$ 成分范围内，熔渣的泡沫化性能随着 $\text{FeO}$ 成分的减少而增大，即熔渣的精炼性能与其泡沫化性能都要求尽量减少渣中的 $\text{FeO}$ 含量。

1.2.3 工艺条件的影响 除了炉渣本身的物性和组成外，工艺操作如精炼温度、泡沫气源产生的方式等因素对渣的泡沫化也有重要的作用。温度升高不利于泡沫的稳定，这是由于温度对熔渣的表面张力和粘度有一定影响。精炼渣泡沫化所需的气源如果为内生气源，更有利于熔渣泡沫的生成和维持。

## 2 发泡剂的种类和使用要求

钢铁冶金过程中渣料的泡沫化现象比较常见，根据冶金功用的差别，在不同的反应器中要求渣的泡沫化性质有很大差别，产生泡沫所需要的气源在不同的工艺过程中也并不相同。

LF的泡沫精炼渣不能照搬电炉炼钢的泡沫渣工艺，因为电弧炉泡沫渣中的主要气源为碳氧反应的产物 $\text{CO}$ ，而在LF精炼过程中，钢包中的钢水已经进行了深度不同的脱氧操作，钢中碳和氧的含量都较低，除非在特殊的条件下(如真空深脱碳)不会产生大量的气体产物。因此如果要在精炼炉中获得理想的泡沫渣埋弧效果，必须在精炼渣料中外加发泡剂，为精炼渣的泡沫化提供足够的内生气源。

发泡剂的选用原则是，首先，在精炼温度下发泡剂可以分解或与炉内其它物质进行反应产生气体产物，为精炼渣泡沫化提供气源；其次，发泡剂的加入不应对精炼渣的功能产生大的不利影响。基于以上考虑，比较适合作为发泡剂的物质主要是碳酸盐(如碳酸钙、碳酸钡、碳酸镁、碳酸钠等)和碳化物(如碳化硅、电石、碳粉等)。碳酸盐在炼钢温度下可以分解产生 $\text{CO}_2$ 气体，提供泡沫渣所需要的内生气源；碳化物主要是

作为复合发泡剂的成分使用，碳化物与碳酸盐分解后的CO<sub>2</sub>可以反应得到CO，从而加大气体量，改善发泡剂的效果。但碳化物的使用可能对钢水有增碳的作用，应加以注意。

### 3 现存问题分析

LF精炼的埋弧操作以及泡沫精炼渣的开发，自20世纪80~90年代以来在国外得到了应用，而在国内起步时间不长。针对高氟渣在环保和成本方面存在的缺点，LF精炼渣有以低含氟渣代替高含氟渣的趋势。对于低氟渣系，其泡沫化性能有其自身的特点，特别是其泡沫化性能和精炼性能在不同钢种生产工艺中的协调和取舍应该得到重视。

#### 3.1 熔渣泡沫化性能和精炼性能的配合

根据资料来看，国外详细报道LF泡沫精炼渣工艺的文章很少，国内大部分的研究者重点大多集中在熔渣的发泡性能这一方面，从实际应用来看，精炼效果不佳。根据作者的实验研究，熔渣的泡沫化性能以及精炼性能存在一定的冲突，突出表现在熔渣中的SiO<sub>2</sub>成分，作为表面活性物质，熔渣中SiO<sub>2</sub>成分在20%以上可以得到最好的泡沫化效果，但这是以损害熔渣的精炼性能作为代价。实验中得到合适的LF泡沫精炼渣的组成为：CaO45%~60%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>30%~40%，SiO<sub>2</sub>10%~15%，MgO5%~10%，CaF<sub>2</sub>小于5%，熔渣的曼内斯曼指数MI（MI=CaO/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>））在0.15左右。

根据以上实验结果，在实际生产中，应该按照产品要求调整精炼渣成分。脱硫要求高的钢种生产工艺和主要任务为调节钢水温度的生产工艺要区别对待，避免所有钢种生产使用一种成分的精炼渣。对于管线钢等低硫钢脱硫任务较重的钢种，生产中精炼渣的选择应重点着眼于其脱硫性能，精炼渣的曼内斯曼指数应该在0.25以上；而对于碳素结构钢等的生产则要发挥熔渣泡沫化的优点，提高热效率，精炼渣的曼内斯曼指数应该在0.15左右。

#### 3.2 发泡剂作用机理的认识

发泡剂是泡沫渣工艺中的重要环节。一般认为，发泡剂通过自身反应或者复合发泡剂各组成物质之间的反应为熔渣的泡沫化提供气源。根据笔者的实验分析，发泡剂高温分解后所产生的微粒状反应产物存在于熔渣中并附着于泡沫渣膜的表面，会增加渣膜处熔渣的表观粘度，相应增加渣膜的弹性和强度，有利于熔渣泡沫的维持。发泡剂分解后的反应产物可以引起熔渣表观物理性质的改变，从而提高熔渣的泡沫化性能，这是发泡剂作用机理的另一个方面，应该得到进一步地研究。

---

[返回上页](#)