

(41) 63-07

# 铁浴式熔融还原型熔体的起泡性研究

Investigation of Foaming for Smelting Reduction with Iron Bath

刘清才

Liu Qingcai

张丙怀

Zhang Binhuai

TF065.11

(重庆大学冶金及材料工程系, 重庆, 630044; 第一作者 36岁, 男, 副教授)

**摘要** 铁浴式熔融还原熔渣内 FeO 浓度高, 使熔体的组成和性能具有特殊的行为。研究表明, 铁浴式熔融还原熔渣会产生泡沫渣现象, 泡沫渣的产生与渣中 FeO 的浓度及其还原速度, 熔渣的碱度等因素有关, 在熔体添加焦炭颗粒能抑制熔渣的起泡, 使熔渣的起泡能力降低或不起泡。

**关键词** 熔体; 焦炭; 起泡

**中国图书资料分类法分类号** TF065.11

熔融还原型

**ABSTRACT** The melts of smelting reduction with iron bath has peculiar behaviour for high concentration and high reduction rate of FeO. Testing results show that slag is sure foaming. The generation of the foaming slag is effected by FeO concentration and reduction rate as well as basicity of slag. Addition granulated coke can decrease foaming or without ability of foaming.

**KEYWORDS** melts; granulated coke; foaming

## 0 引言

铁浴式熔融还原过程中, 熔体中 FeO 活度的变化最为明显, 对熔体的物理和化学性质也会产生很大的影响, 铁浴式熔融还原中熔体的起泡行为是其重要性质, 氧化铁的还原速度, 熔体内组元的扩散, 熔体的运动状态, 熔体与耐火材料的相互作用等都受熔体的起泡性能的影响<sup>[1-3]</sup>。铁浴式熔融还原工艺中, 在熔渣和铁的熔体内必然会产生大量气体而且存在于熔体中, 这些气体主要是由于熔融氧化铁的还原形成的产物 CO, 铁浴式熔融还原过程中熔体必然会起泡, 氧化铁越高, 起泡就越严重。

## 1 实验方法

### 1.1 原料制备

实验室内用原料有鞍山普通铁矿粉, 重钢块矿, 石灰石, 其成分见表 1。铁矿粉进行造球, 碱度为自然碱度, 在 1100℃ 氧化焙烧 3 小时, 然后用氢气预还原。

块矿破碎为粒度 1~5 mm, 在电阻炉内用固定床预还原, 还原剂为煤粉, 还原温度

\* 收文日期 1995-12-06

1050℃,还原时间4小时。

铁浴由生铁刨制的铁屑熔化形成,铁屑的成分为(%) :C 4.16, Si 0.97, Mn 0.83, P 0.20, S 0.054。

表1 试验原料化学成分 (%)

成份	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Loss
普通块矿	52.09	2.07	11.08	1.02	2.37	8.51	/
铁矿粉	61.25	19.68	4.35	1.61	3.51	4.29	/
氧化球团	60.83	1.26	4.02	1.37	3.21	3.94	/
破碎粉矿	54.32	3.73	10.47	1.14	/	/	/
石灰石	0.54	/	1.75	52.7	1.26	6.7	42.3

## 1.2 实验室模拟试验

实验采用石墨坩埚,在高温硅碳管炉内进行,石墨坩埚为 $\Phi 40 \times 135$  mm。

实验方法是:当炉温升至指定温度时,把装有铁屑的坩埚放入炉内,使其熔化形成铁浴,铁浴与矿石的比为2:1。当温度又回升至指定温度后,把矿石迅速加入坩埚铁浴中,开始计时进行还原。当试样全部熔化后(50~60秒左右),定时测定渣面高度,并计算出渣的膨胀高度,用该高度表示起泡高度。到渣中FeO<1.5%左右时结束。

## 2 实验室测试结果及讨论

### 2.1 预还原度与熔渣涨泡的关系

图1是不同预还原度时,熔渣的涨泡随时间的变化关系,由此可以看出:对铁浴法无论何种预还原度时,熔渣都会产生泡沫化现象;预还原度越低,其涨泡现象就越严重,最大涨泡高度就越大。当预还原度 $R_R = 50\%$ 时,最大起泡高度 $H_{max} = 146$  mm,  $R_R = 85\%$ ,  $H_{max} = 36$  mm,相差4倍多;当加入炉料约15~18分钟时,均出现了最高涨泡高度,熔渣涨泡为最严重。

### 2.2 渣中FeO与涨泡的关系

表2是FeO浓度与熔体泡沫化高度关系测定结果,可以看出,熔渣中初始氧化铁浓度愈高,最大涨泡就愈高,产生上述现象主要原因是:由于预还原矿直接进入铁浴后,快速熔化而形成高FeO的熔体,与碳接触后会很快被还原,且具有很高的还原速度,熔渣中初始FeO浓度提高,反应速度也提高,由于还原反应速度与单位时间形成的气体产物量是正比关系的,因此,FeO高,熔渣中形成的CO气体量就越多。

图2是其它条件相同时无铁浴熔渣的涨泡高度 $H$ 实验结果,由于此时熔化速度低,初渣中氧化铁浓度低,因此,涨泡高度比有铁浴时低。

表 2 FeO 浓度与熔体泡沫化高度关系

预还原度 (%)	50	65	75	85
刚熔化时 FeO 浓度 (%)	34.45	24.37	14.13	8.17
最大涨泡高度 $H_{max}$	76.5	47.3	28.4	12.6

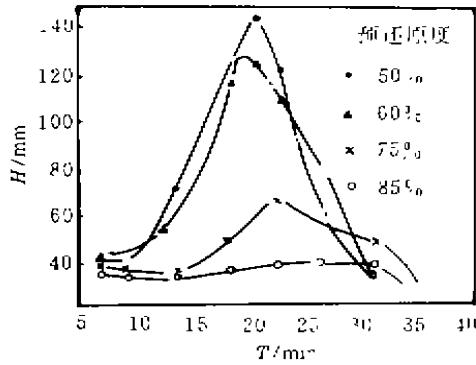


图 1 不同预还原率矿石熔炼熔体高度

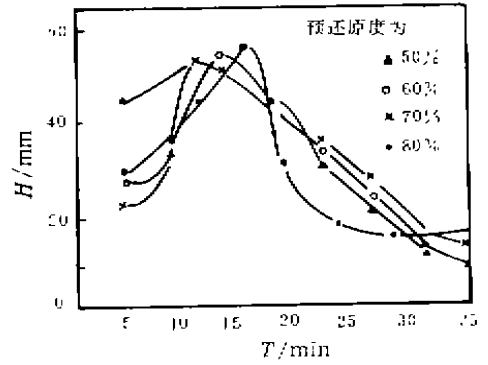


图 2 无铁浴时的熔渣高度

2.3 熔渣碱度对熔体涨泡的影响

图 3 是炉渣的二元碱度与平均涨泡高度  $\bar{H}$  关系曲线。从实验结果可以看出,当炉渣碱度为 1.1~1.25 时,熔体的涨泡高度随碱度提高而降低,但当碱度大于 1.3 以后,涨泡高度又随碱度提高而上升。因此,适宜的炉渣碱度应控制在 1.0~1.25 左右。

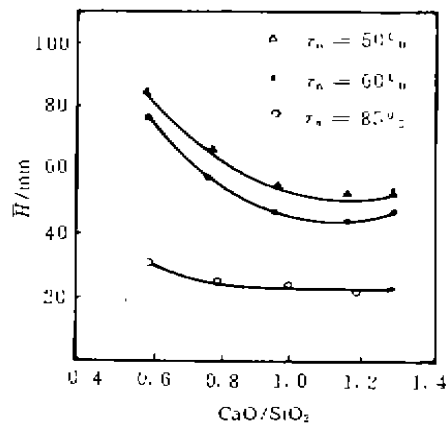


图 3 不同碱度时熔渣平均高度

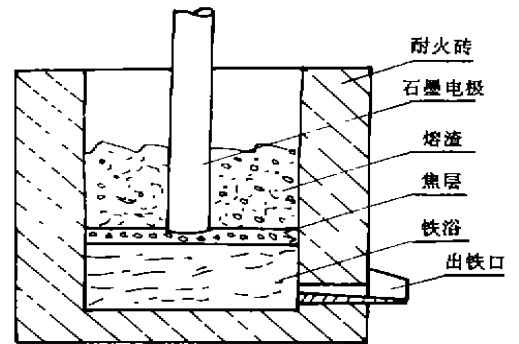


图 4 矿热电炉熔池示意图

3 25KVA 矿热电炉冶炼测试及结果

矿热电炉冶炼熔池见图 4。

### 3.1 试验原料

矿石为普通块矿,成分见表1,预还原度为67.2%。电炉内用无烟煤进行预还原,其它原料有水渣、石灰石、焦粉、无烟煤成分见表3和表4。

表3 试验原料成分(%)

	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe	FeO
水渣	43.39	28.00	4.85	11.57	1.031	1.31
石灰石	52.7	1.75	1.26	0.70	0.5	

表4 焦粉·煤粉工业分析

	C	挥发(V)	灰粉(A)	H <sub>2</sub> O	S
无烟煤粉	73.10	6.20	19.00	1.5	0.305
焦粉	80.38	2.19	17.19	0.19	0.99

### 3.2 试验方法

首先用3 kg水渣起弧,然后逐渐加入生铁块20 kg,让其熔化形成铁浴,当炉渣到达指定温度后,在渣层上加一层焦粉,焦粉量为总需要量的30%,以形成一层焦炭层,然后开始间歇性加入混匀矿石炉料,焦层焦粉量与炉渣量之比用*b*表示。

在冶炼过程中,每十五分钟测定渣铁组成和每五分钟测定渣面高度,然后根据炉膛体积,加入炉料形成的渣铁重量和相应的密度,计算出渣和铁的实验体积,然后求得其渣面膨胀高度*H*。

根据测试数据,即渣表的面高度*H<sub>s</sub>*,铁浴重量*W<sub>n</sub>*和高度*H<sub>n</sub>*,炉膛内径*D<sub>i</sub>*及渣、铁、焦的密度便有下列式:

$$V_s + V_o = (H_s - H_n) \cdot (\pi R^2 / 4) - (M_c / \rho_c)$$

$$V_s = W_s / \rho_s$$

$$H_n = (W_n / \rho_n) \cdot 4 / \pi D_i^2$$

因此,膨胀率 =  $(V_s + V_o) / V_s = 1 - V_o / V_s$

胀泡高度  $H$ :  $H = 4V_o / \pi D_i^2$

其中, $V_s$ 和 $V_o$ 是渣和气泡的体积。

### 3.3 试验结果

表5给出了冶炼试验结果。由此可知,在渣层下部加入焦粉层能有效抑制熔渣的胀泡。(总焦量是焦层的焦粉、还原用焦粉及燃烧的焦量之和)

图5是加入焦粉与渣量比对胀泡的影响,当焦比渣为0.2~0.25时,熔渣的胀泡高度达到了最低,由表5可知,焦层的量为总焦量的20%~30%时,胀泡高度也最低。

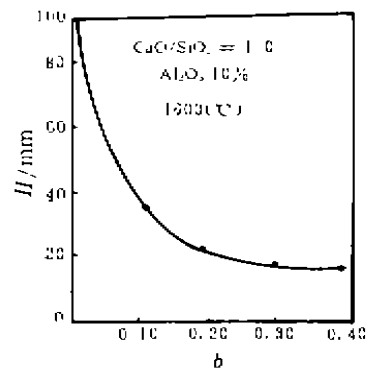


图5 焦粉与渣量比对胀泡的影响

表5 熔渣涨泡与焦层的试验结果

炉次	1	2	3	4	5	6	7
焦粉量(g)	0	900	900	600	1200	900	1500
焦层厚(mm)	0	16.4	16.4	11.0	21.87	16.4	27.3
渣量(kg)	10.4	12.4	16.495	10.31	15.45	12.71	14.76
总焦量(kg)	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.8	3.8
渣面高(mm)	291	243	248	243	241	231	253
涨泡高(mm)	78.5	21.3	17.4	29.8	16.4	14.3	20.4
温度(°C)	1583	1622	1647	1652	1574	1613	1648

## 4 讨 论

### 4.1 熔融还原熔体的起泡能力

铁浴式熔融还原过程中,熔渣会不同程度地产生涨泡现象,这主要是由于氧化铁具有很高的还原速度,产生大量一氧化碳,研究结果和分析表明,熔融还原熔体的起泡能力比高炉和转炉熔体高得多,控制和排除熔融还原熔体的起泡的影响是熔融还原的关键问题。

### 4.2 控制熔体起泡的方法

本研究表明,熔融还原熔体的起泡必需控制,也是可以控制的,如果在铁浴式熔融还原过程中没有气体产生或者产生的气体能及时排除熔体,就不会产生泡沫渣。在铁浴式熔融还原过程中,气体的生成速度很高,气体量也很大,尤其是低预还原的炉料冶炼,添加焦粒能控制铁浴式熔融还原熔体的起泡能力。

## 5 结 语

1) 熔融还原过程中,当炉料预还原度小于85%时,如果不采取抑泡措施,熔渣会产生不同程度的泡沫渣现象。影响熔渣产生泡沫的主要因素是FeO活度和还原速度,熔体性质和温度等,当熔炼矿石预还原度大于90%时,起泡能力很低,氧化铁的活度及还原速度越低,熔渣的起泡就越低。

2) 当熔炼矿石预还原度为50%左右,熔渣的平均膨涨率可达62%~70%,碱度在1.1~1.25左右时,熔渣涨泡程度最低。

3) 冶炼扩大实验结果表明,焦粉加入渣中可抑制泡沫渣形成,适宜的焦层量应占总焦量20%。

## 参 考 文 献

- 1 Papst G. Present situation of smelting reduction, stahl und Eisen, 1987, 107(22), 21
- 2 张丙怀等. 铁矿石熔融还原过程中的泡沫渣现象, 熔融还原文集, 中国金属学会《钢铁》编辑部, 1988. 6
- 3 刘清才等. 钒钛磁铁矿高温熔态还原过程中气体行为, 钢铁钒钛, 1990, (3), 29