

文章编号:1000-582X(2002)06-0088-04

# 利用富锰渣冶炼 AlMnSi 系列合金\*

朱子宗<sup>1</sup>, 卜红旗<sup>2</sup>, 陈晓东<sup>1</sup>, 张国瑞<sup>1</sup>

(1. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044; 2. 南京钢铁集团公司, 南京 210035)

**摘要:**在实验室条件下,首先利用我国南方某厂的富锰渣,在 25 kVA 单相直流矿热炉中,用电热法冶炼高硅硅锰合金。采用低碱度渣、渣中配加少量的 MgO 等措施可以明显提高合金中的锰与硅的含量。再用实验得到的高硅硅锰合金,配加适量废铝在感应炉内熔炼 AlMnSi 合金。通过半工业性试验得到了优质高硅硅锰合金和 AlMnSi 系列合金。该系列合金可广泛用于炼钢复合脱氧剂和合金添加剂,且能创造显著的经济效益。

**关键词:**富锰渣;冶炼;高硅硅锰合金; AlMnSi 合金

**中图分类号:**TF64

**文献标识码:**A

据初步统计,我国富锰渣总产量在 20~25 万 t。由于各厂家使用原料的条件不同,富锰渣成分差异也较大,含锰低的在 35% 以下,高的达 40% 以上。目前,这些富锰渣主要用于生产硅锰合金、锰铁合金,出口国外。促进了铁合金工业特别是需要大量富锰渣的硅锰合金、锰铁合金工业的迅猛发展<sup>[1-2]</sup>。由于国际锰价和铁合金价格的下调,加上国内的锰合金、锰铁合金供大于求,使铁合金企业陷入困境,迫使这些企业开发新产品,增加市场的竞争力。

目前 AlMn10 合金的国际市场价格约为 2 300 美元/t。AlMnTi 合金多数是以钛为基,锰含量为 6.5%~9.0%,铝含量较低(如美国的 Mill-T9046J),价格约为 4 500 美元/t。本研究开发的新品种则是以锰为基,含铝 10%~30%、钛 0%~5%、硅 20% 左右的合金系列产品,其行业标准待定。新型 AlMnSi 系列合金在我国钢铁企业具有广阔的应用前景和实用价值,且能创造显著的经济效益。

## 1 试验方法

### 1.1 试验原料

采用我国南方某厂生产的富锰渣(成分见表 1),配加焦炭粉作还原剂、氧化钙作造渣剂生产含硅 20% 以上的高硅硅锰合金。采用废铝和实验得到的高硅硅锰合金熔炼 AlMnSi 合金。

表 1 富锰渣的成分分析 %

成分	T <sub>Mn</sub>	Fe	P	S	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
1#渣	40.02	1.77	0.014	0.73	4.26	1.94	12.51	20.98
2#渣	36.10	2.25	0.015	0.59	3.68	2.06	13.23	22.96
3#渣	37.75	2.29	0.014	0.66	3.82	2.21	13.84	21.49
4#渣	40.80	1.50	0.015	0.51	3.52	2.02	12.87	20.84
平均	38.67	1.95	0.014	0.62	3.82	2.06	13.11	21.57

### 1.2 试验方案

试验方案和工艺流程如图 1 所示。

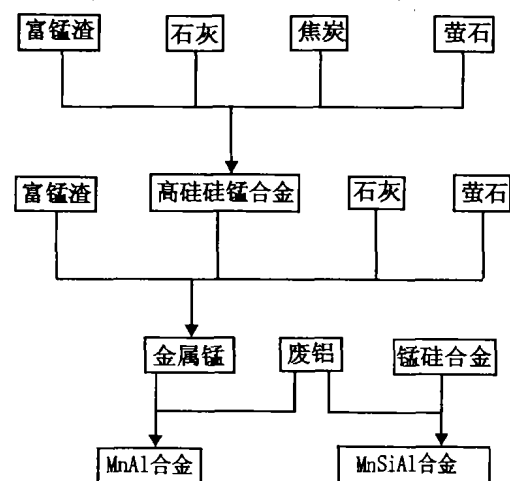


图 1 试验的工艺流程图

\* 收稿日期:2002-01-14

作者简介:朱子宗(1966-),男,河南淮阳人,重庆大学博士,副教授。主要从事冶金新工艺、新技术、二次资源综合利用研究。

### 1.3 试验设备

在 25 kVA 单相直流矿热炉内进行冶炼高硅硅锰合金的半工业性试验。利用 2G-0.01 型中频真空感应炉和 DGF-R-40/4 型中频熔炼控制设备进行 AlMnSi 合金冶炼。

## 2 高硅硅锰合金试验结果及讨论

### 2.1 试验结果

试验结果见表 2。

表 2 富锰渣冶炼高硅硅锰合金试验结果一览表

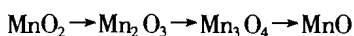
炉次	原料组成					碱度	合金成分/%			炉渣成分/%		锰的回收率%
	富锰渣/kg	石灰/kg	焦炭/kg	萤石/kg	硅石/kg		Mn	Si	C	T <sub>Mn</sub>	SiO <sub>2</sub>	
1	5.0	1.20	0.75			1.20	72.95	9.52		5.21		15.28
2	5.0	1.30	1.50	0.25		1.50	57.71	10.66		1.53		17.91
3	5.0	1.70	1.50	0.50		2.00	61.26	17.77		1.62		19.01
4	5.0	1.50	0.75	0.20		1.50	77.92	9.00	4.30	1.59		72.14
5	5.0	1.67	0.75	0.20		1.70	78.72	8.30		4.33		61.07
6	5.0	0.755	1.13		0.27	0.77	68.67	13.99		5.11	34.96	105.00*
7	5.0		1.00	0.25	1.5	0.60	70.14	23.22	0.77	8.33	42.57	72.56

注:第 6 炉计算出锰的回收率为 105% 的主要原因是:第 5 炉的金属未出净。

从表 2 可看出,在 1、2、3 炉的冶炼中,由于冶炼时间 1.5 h,温度较高,氧化锰和锰的挥发率高,致使锰的回收率比较低,只有 15%~19%;第 4、5、6 炉冶炼试验中,反应时间缩短为 1.0 h,温度保持 1700℃左右,合金中的锰含量达到 77%左右,锰的回收率达到了 72%左右,但合金中的硅含量比较低。为了提高合金中的硅含量,在第 7 炉试验中加入了 1.5 kg 硅石,并且加入少量的氧化镁,降低炉渣碱度、改善炉渣的流动性。试验得到了硅含量高达 23.22% 的优质高硅硅锰合金,且锰的回收率高。

### 2.2 试验结果分析

在冶炼过程中,富锰渣中的高价氧化锰受热分解,或被还原成低价锰<sup>[3-8]</sup>。顺序如下:



其中:



反应平衡常数可表示为:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{a_{[\text{Mn}]} P_{\text{CO}}}{a_{\text{MnO}} a_{\text{C}}} = \frac{f_{\text{Mn}} [\% \text{Mn}] P_{\text{CO}}}{\gamma_{\text{MnO}} X_{\text{MnO}} a_{\text{C}}} \quad (1)$$

由上式可以得出锰的分配比:

$$L_{\text{Mn}} = \frac{[\% \text{Mn}]}{(\% \text{MnO})} = K'_{\text{Mn}} \frac{\gamma_{\text{MnO}}}{f_{\text{Mn}}} \quad (2)$$

式中:  $a_{\text{C}} = 1$ ;

$K'_{\text{Mn}}$ ——包括  $P_{\text{CO}}$  及浓度换算系数在内的平衡常数。

富锰渣中的  $\text{SiO}_2$  有 50% 左右被还原,在高温下的还原反应为:



反应平衡常数可表示为:

$$K_{\text{Si}} = \frac{a_{[\text{Si}]} P_{\text{CO}}^2}{a_{\text{SiO}_2} a_{\text{C}}} = \frac{[\% \text{Si}] f_{\text{Si}} P_{\text{CO}}^2}{X_{\text{SiO}_2} \gamma_{\text{SiO}_2}} \quad (3)$$

由上式可得出硅的分配比

$$L_{\text{Si}} = \frac{[\% \text{Si}]}{(\% \text{SiO}_2)} = K'_{\text{Si}} \times \frac{\gamma_{\text{SiO}_2}}{f_{\text{Si}}} \quad (4)$$

式中:  $a_{\text{C}} = 1$ ;

$K_{\text{Si}}$ ——包含  $P_{\text{CO}}$  及转换为  $(\% \text{SiO}_2)$  的转换系数在内的平衡常数。

由(2)、(4)式可知温度、熔体的组成、碱度等显著影响  $L_{\text{Mn}}$ 、 $L_{\text{Si}}$ ,控制合金中的锰含量主要通过控制温度、合金中的碳含量和炉渣碱度。冶炼高硅硅锰合金,采用高温、低碳和合适的炉渣碱度进行操作,效果较理想。

#### 1) 碱度对渣中锰含量的影响

从图 2 可看出,渣中的  $T_{\text{Mn}}$  随着碱度的提高而急剧降低,渣中氧化锰的活度系数  $r_{\text{MnO}}$  随碱度的提高而提高<sup>[8]</sup>,从而提高了锰的还原率,降低了渣中  $T_{\text{Mn}}$  的含量。

#### 2) 碱度对合金中锰含量的影响

合金中的锰含量与碱度之间的关系如图 3 所示,炉渣碱度较低时合金中的锰含量随着碱度的提高而提高,而碱度在 1.5~1.7 之后,合金中的锰含量随着碱度的提高而降低。

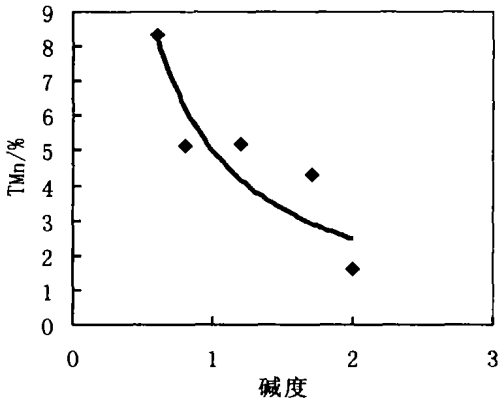


图2 炉渣中  $T_{Mn}$  与碱度关系

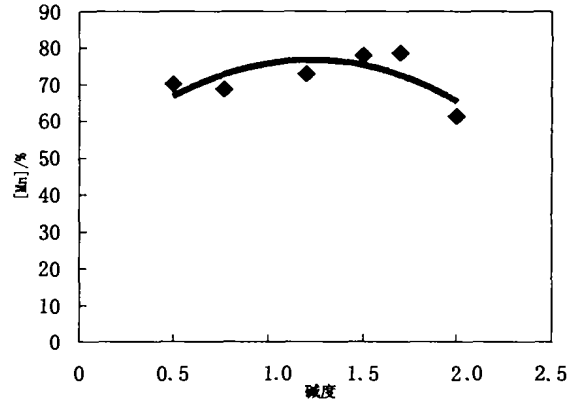


图3 碱度与合金中[Mn]的关系

3) 碱度对锰回收率的影响

碱度与锰回收率之间的关系如图4所示,当碱度较低时,锰的回收率随碱度增加而提高。但是随着碱度的进一步提高,渣量也越来越大,在锰的分配比一定

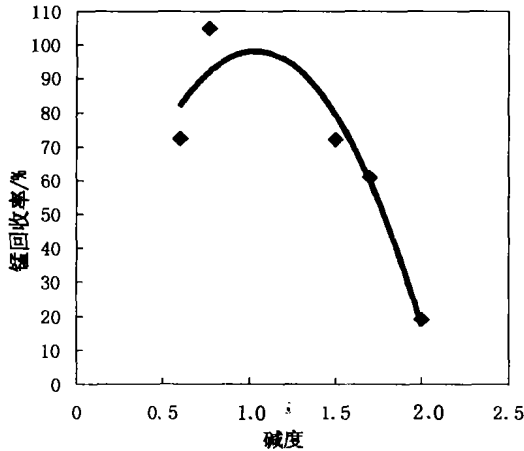


图4 碱度与锰回收率的关系

的情况下,进入渣中锰的量增加,进入合金中的锰量降低,锰的回收率降低。另一方面,碱度过高对硅的还原有抑制作用<sup>[8]</sup>。因此冶炼高硅锰合金时碱度应

控制在0.6~0.8范围内比较合适。

4) 碱度对合金中硅含量的影响

碱度与合金中硅含量的关系如图5所示。

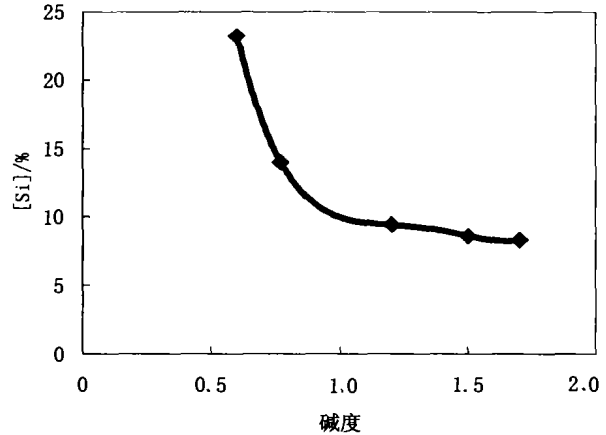


图5 碱度与[Si]的关系

控制在0.6~0.8范围内比较合适。

3 AlMnSi 合金的冶炼试验

3.1 试验结果

典型的试验结果示于表3。

表3 AlMnSi 合金试验结果

合金	原料组成/kg		合金成分/%					
	硅锰合金	废铝	Mn	Si	Al	P	S	其它
AlMnSi	0.150	0.110	44.020	28.860	24.100	0.095	0.007	2.918
AlMnSi	0.420	0.330	62.960	21.380	13.490	0.083	0.103	2.059

3.2 AlMnSi 合金冶炼试验分析

本实验是在中频感应炉内进行的,利用冶炼得到的高硅 MnSi 合金与废铝冶炼 AlMnSi 合金;由于实验温度高,锰和铝的挥发损失较高,第一系列实验合金中

锰含量较低;从成分分析看,P、S的含量比较低,其它各项成分的含量基本达到了国家标准。从断面看,没有明显的分层且结构均匀,组织致密,达到了冶炼目的。在以后的研究中将重点解决硅含量调整和温度控

制问题。

#### 4 结论

1) 冶炼的高硅硅锰合金、铝锰硅合金, 各项成分达到国家标准;

2) 冶炼高硅硅锰合金, 少加或不加 CaO, 同时配入一定量的硅石, 可以提高合金中的硅含量;

3) 冶炼高硅硅锰合金时, 碱度的提高可增加氧化锰的还原, 但降低二氧化硅的还原, 所以冶炼高硅硅锰合金时, 碱度控制在 0.6~0.8 的范围内比较合适。

#### 参考文献:

[1] 郭鸿发. 试论我国铁合金产品结构的改进[J]. 铁合金,

1983, (1): 11.

[2] 郭鸿发, 钱启英. 中国电炉锰合金的现状与发展策略[J]. 铁合金, 1997, (4): 13-15.

[3] 舒莉. 硅锰合金生产中磷、碳含量的控制[J]. 铁合金, 1995, (1): 1-3.

[4] 舒莉, 戴维. 硅锰合金含硫量的控制[J]. 铁合金, 1994, (4): 7-11.

[5] 3. A. СИМОНОВИЧ. 为提高锰合金回收率硅锰合金炉渣物理化学性质的最佳化[J]. 铁合金, 1987, (6): 51-52.

[6] 舒莉. 锰硅合金炉渣中碱性氧化物[J]. 铁合金, 1997, (4): 1-8.

[7] ERIK SVANA. 锰硅冶炼[J]. 铁合金, 1986, (6): 35-40.

[8] 孙社成, 隆进, 严志龙. 锰硅合金冶炼采用高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 炉渣的研究[J]. 铁合金, 1992, (5): 8-10.

## Smelting AlMnSi alloy by Using High - bearing Manganese Slag

ZHU Zi-zong<sup>1</sup>, BU Hong-qj<sup>2</sup>, CHEN Xiao-dong<sup>1</sup>, ZHANG Guo-rui<sup>1</sup>

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 40044, China;

2. Nanjing Iron and Steel Group, Jiangsu Nanjing 210035, China)

**Abstract:** First smelting MnSi alloy by using high - bearing manganese slag of BF by electric smelting process in a 25 kVA arc furnace in lab has been introduced. In order to increase the content of manganese and silicon in MnSi alloy, a little amount of MgO is added into the slag and the lower alkalinity has been adapted. Then smelting AlMnSi alloy using MnSi alloy containing high silicon that obtained by experiments and waste Al with an induction furnace has been studied. The controlling of temperature is the key in smelting process. The high quality AlMnSi alloy has been obtained successfully, Which can be extensively used for the compound oxygen removal agent for making steel and the metal alloy additive.

**Key words:** high-bearing manganese slag; smelting; silicon - manganese alloy; AlMnSi alloy

(责任编辑 陈移峰)

(上接第 87 页)

## Method to Predict the Coke Rate Based on BP Neural Network

FAN Zhi-gang, QIU Gui-bao, JIA Juan-yu, BAI Chen-guang

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400044, China)

**Abstract:** Coke rate is a very important technique index in the processing of metallurgical, and it is also an important goal that should be reached and controlled in practice. The blast furnace is a countercurrent heat and mass exchange reactor involving the solid, liquid and gaseous phases. Using computer encoded mathematical and statistical methods can not get the precise result. An improved 9-9-1 BP (Back propagation) neural network was trained and used in the prediction of the coke rate. The result indicates that the BP nets can predict coke rate accurately and the error between prediction and real coke rate less than 2%. And the use of a hybrid model in actual on-line intelligence control was also discussed.

**Key words:** coke rate; back propagation networks; prediction

(责任编辑 陈移峰)