

低渣比冶炼锰硅合金的条件与操作要点

张玉驰 王悦华

(锦州铁合金股份有限公司 锦州 中国 121005)

摘要 论述了低渣比冶炼锰硅合金的条件和操作要点,阐明了炉料中 Al_2O_3 与电炉工艺参数、焦炭粒度之间的相互关系及其对电耗等指标的影响。

关键词 锰硅合金 低渣比 电炉工艺参数

中图分类号 TF642.3.3 **文献标识码** B **文章编号** 1001-1943(2004)06-0014-04

CONDITIONS AND OPERATING KEYS OF MELTING SILICO-MANGANESE WITH LOW SLAG RATIO

Zhang Yuchi Wang Yuehua

(Jinzhou Ferroalloys Co., Ltd., JinZhou, China 121005)

Abstract It discusses the operation condition and keys in melting silicomanganese with low slag ratio. It also expresses the mutual relation of Al_2O_3 in charging with technological parameter of furnace, coke particle size and its effect on index, such as electricity consumption and so on.

Keywords silicomanganese, low slag ratio, technological parameter of furnace

1 前言

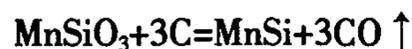
由于我国现阶段电力能源紧张,电价上升,电费在锰硅合金制造成本中所占的比例越来越大,高达30%左右。如何节电降低成本提高经济效益对于铁合金行业来说显得尤为重要。

据有关资料介绍,生产1t锰硅合金,渣量每降低10%,其电耗大约降低60~70kWh。较长时间以来,锰硅合金生产厂家都在探索和实践着低渣比降低电耗的途径,由于各厂条件千差万别,所得到的结果也不尽相同。锦州铁合金股份有限公司在低渣比冶炼锰硅合金方面进行了多方面的探索和实践,总结出低渣比冶炼锰硅合金的效果与电炉参数、锰原料物化性质等有关。对具有特定参数的电炉来说,只有合理搭配原料,同时采取必要措施,低渣比操作才能取得最佳效果。相反,当原料搭配与电炉参数不匹配时,若降低渣量,不但会造成合金成分波动较大(主要是合金硅低),炉况不顺行,而且电耗等主要经济技术指标会适得其反。因此依据电炉主要工艺参

数合理搭配炉料对实现低渣比冶炼节能降耗是十分重要的。

2 理论依据

锰硅合金总的反应式为:



从 $\Delta G^{\ominus}-T$ 图中可以看出,所有金属元素与氧的亲合力随温度上升而减小,而碳却相反,它与氧的亲合力随着温度的升高而增加,即温度越高还原能力越强。

从熔渣的性质可以看出,随着温度的升高。炉渣粘度明显降低, SiO_2 和MnO等金属氧化物的活度增大,有利于还原的进行,加上随着温度的升高碳还原能力的增强,在碱度等因素一定的条件下,锰和硅等元素的回收率将得到提高。在锰硅合金冶炼中,由于炉温高低的影响,硅的回收率在24%~60%之间波动,实践表明炉温升高不仅有利于MnO的还原,更有利于 SiO_2 的还原。

综上所述,可以推断出,提高炉温使硅元素的回

作者简介 张玉驰 男,1969年4月出生,1994年毕业于东北大学有色冶金系稀土工程专业,冶炼高级工程师,现为锦州铁合金股份有限公司技术部副部长,曾在《铁合金》等杂志上发表论文5篇。

收稿日期 2004-07-08

收率大幅度提高,可以适当降低硅石和造渣剂的配入量,即减少渣量,而合金中的硅、锰等元素成分可以相对保持稳定。

3 操作要点

冶炼锰硅合金实现低渣比操作关键是电极在炉料中插入足够的深度,使炉料预热时间延长,热利用率提高,导致炉温升高,为实现低渣比冶炼创造必须的条件。而影响电极插入深度的主要因素是炉料电阻的大小。电阻越大电极插入越深。由于炉料的电阻一方面取决于焦炭的粒度和炉内焦炭层厚度,另一方面取决于炉料的物化性质,如原料成分、矿相、熔化温度、熔化温度区间、还原性等,而这些性质均与 Al_2O_3 含量多少有不同程度的关系。当 Al_2O_3 含量较高时,原料及其冶炼产生的炉渣的熔化温度升高,炉料电阻增大,有利于电极下插;相反,当 Al_2O_3 较低时,容易造成电极上抬,高温区上移,热量损失增大,炉温较低,指标恶化。

根据上述分析,在电炉工艺参数和原料条件一定的情况下,实现低渣比操作的技术要点为:第一要控制焦炭粒度,保持炉内适当的焦炭层厚度,这不仅是锰硅合金冶炼十分重要的工艺要求,也是低渣比操作的重要措施,而焦炭粒度和焦炭层厚度适宜的标志是,一方面要保证电极工作端在炉料中埋入较深,但不能产生翻渣或大面积塌料,另一方面为锰、硅等元素提供足够的反应比表面积,使得还原速度与物料熔化速度相匹配;第二减少出炉排碳,同时配料时减少相应的配碳量,这样有利于稳定出炉前后

炉内焦炭层的厚度,以及稳定和增大冶炼过程中炉料的电阻;第三配料时使入炉原料中 Al_2O_3 的含量适当;第四适当延长冶炼时间,减少热量损失,进一步提高炉温使炉渣中锰、硅等元素还原得更充分。

按照上述操作要点,锦州铁合金有限公司在 12.5 MVA 和 16.5 MVA 电炉(主要参数见表 1)上分别用辽西富锰渣、湖南富锰渣、澳矿和建昌锰矿搭配成下列具有代表性的四种混合料(表 2)进行冶炼,结果(见表 3~6)表明,原料不同其指标也不同,同一种原料由于电炉参数不同,两台电炉的指标也不相同。

表 1 电炉主要参数
Tab.1 Main parameters of furnace

项目名称	12.5MVA	16.5MVA
一次侧电压/kV	10	10
二次侧常用电压/V	136	142
二次侧常用电流/A	51 549	61 859
对应容量/MVA	12 140	14 893
电极直径/mm	1 050	1 100
极心圆直径/mm	2 650	3 000
炉膛深度/mm	1 910	2 100
炉膛直径/mm	5 820	6 420
极心圆视在功率/(kW/m ²)	2 136	2 108
极心圆实际功率/(kW/m ²)	1 923	1 793
电极边缘间二次电压梯度(V/m*)	109.26	94.79

*系指二次侧电压与电极边缘最近距离的比值

表 2 入炉原料成分 %
Tab.2 Composition of charging %

原料	Mn	Fe	P	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
A	34.1	4.56	0.045	25.33	6.54	3.59	4.14
B	33.5	5.45	0.035	24.70	6.12	2.98	5.95
C	32.2	5.21	0.032	24.48	5.51	3.51	7.55
D	33.1	5.35	0.034	22.12	5.61	3.11	9.10

表 3 12.5MVA 电炉主要指标 %
Tab.3 Main indexes of 12.5 MVA furnace %

原料	电耗/(kWh/t)	日产/(t/d)	Mn 回收率/%	Si 回收率/%	焦耗/(kg/t)	渣铁比
A	4 450	55	77	41	450	1.4
B	4 165	59	80.2	53	531	1.05
C	4 055	62	81	58	525	0.95
D	4 240	58	79.5	51	535	1.15

表 4 16.5MVA 电炉主要指标
Tab.4 Main indexes of 16.5MVA furnace

原料	电耗/(kWh/t)	日产/(t/d)	Mn 回收率/%	Si 回收率/%	焦耗/(kg/t)	渣铁比
A	4 380	68.8	78.1	45	515	1.38
B	4 105	72.5	81.1	55	536	1.01
C	4 035	73.8	82.1	58	525	0.92
D	4 175	71.8	79.8	53	518	1.08

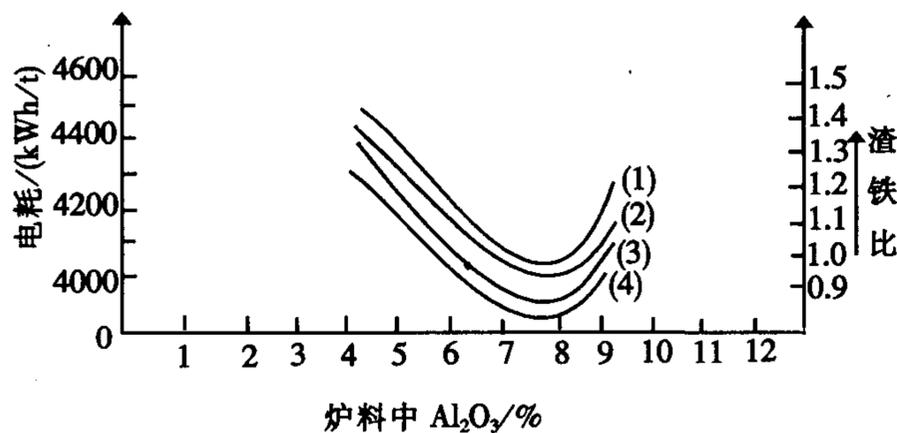
表 5 12.5MVA 电炉炉渣成分 %
Tab.5 Slag composition of 12.5MVA furnace %

原料	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	R ₃
A	12	41.5	18	11.5	12.5	0.71
B	9.5	39.5	21	7	19	0.71
C	6.5	36.5	21	8.5	22.5	0.81
D	6	37	22	6.5	24	0.77

表 6 16.5MVA 电炉炉渣成分 %
Tab.6 Slag composition of 16.5MVA furnace %

原料	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	R ₃
A	11	40.5	20	10.5	13	0.75
B	7.2	36.5	22	8.5	21	0.83
C	6.1	35	22	8.6	23	0.87
D	5.8	36.5	21	7.5	25	0.78

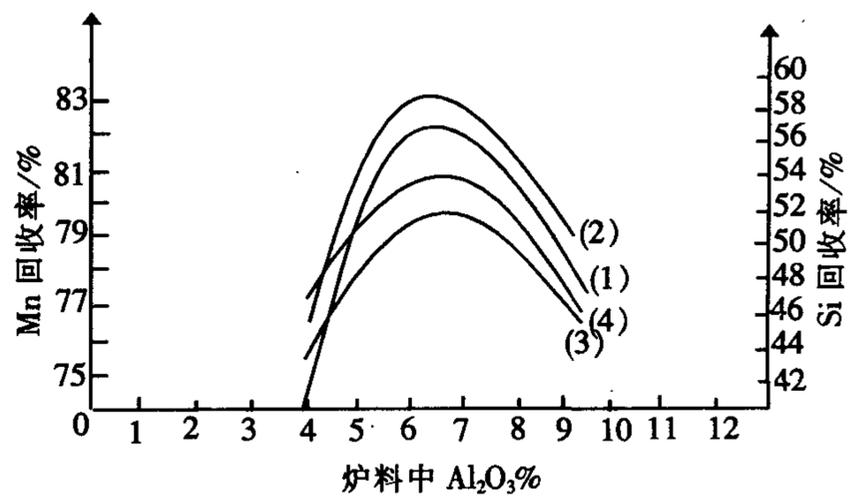
根据表 3~6 中数据分别绘出电耗、渣铁比、锰、硅回收率，炉渣中 MnO、Al₂O₃ 与锰原料中 Al₂O₃ 的曲线，如图 1~图 3 所示。



1-12.5MVA 电炉渣铁比 2-16.5MVA 电炉渣铁比
3-12.5MVA 电炉电耗 4-16.5MVA 电炉电耗

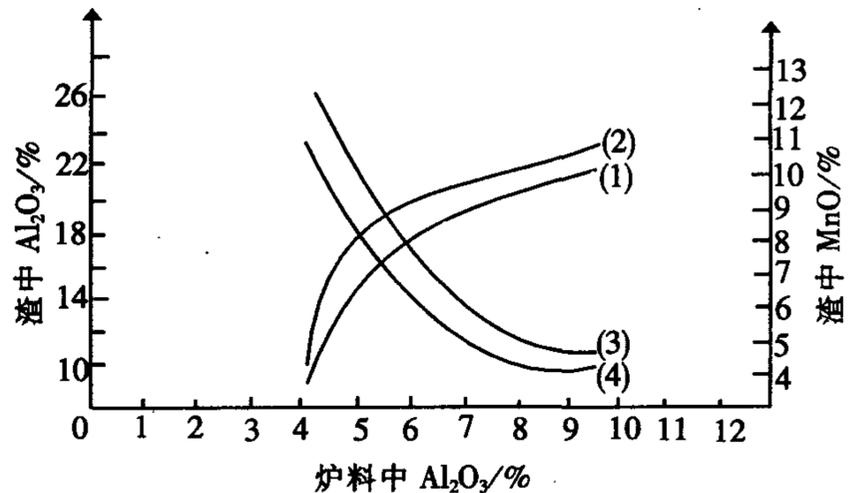
图 1 炉料中 Al₂O₃ 的含量与电耗与渣铁比的关系
Fig.1 The relations of the Al₂O₃ content in charging with electricity consumption, the ratio of slag and alloy

从图 1~图 3 中可以看出，在入炉锰基本相同的情况下，由于炉料中 Al₂O₃ 含量不同，用其冶炼锰硅合金的电耗、渣铁比、回收率等主要指标也不同。由



1-12.5MVA 电炉 Si 回收率 2-16.5MVA 电炉 Si 回收率
3-12.5MVA 电炉 Mn 回收率 4-16.5MVA 电炉 Mn 回收率

图 2 炉料中 Al₂O₃ 的含量与锰、硅回收率的关系
Fig.2 The relation of the Al₂O₃ content in charging with the recovery of silicon and manganese element



1- 12.5MVA 电炉渣中 Al₂O₃ 2-16.5MVA 电炉渣中 Al₂O₃
3-12.5MVA 电炉渣中 MnO 4-16.5MVA 电炉渣中 MnO

图 3 炉料中 Al₂O₃ 的含量与渣中 Al₂O₃ 及 MnO 含量的关系
Fig.3 The relation of Al₂O₃ content in charging with Al₂O₃ and MnO content in slag

于 Al₂O₃ 含量对两台电炉指标的影响具有一致性，为了便于分析和讨论，下面以 12.5 MVA 电炉为例。

当入炉原料 Al₂O₃ 较低时(如 A 种混合料 Al₂O₃ 为 4.41%)，炉渣中 Al₂O₃ 在 13%左右，由于炉料中电阻较小，炉况很不稳定，电极在炉料中插入较浅，致使高温区上移，炉口温度很高，炉料表面出现红料，炉料导电性增强，炉内电阻热所占比例增大，热利用率降低，造成炉温低，还原差，渣量增大，渣铁比高达 1.45，冶炼电耗为 4 450 kWh/t，炉渣中带走的 MnO 和 SiO₂ 较多，锰和硅的回收率分别为 77%和 41%，

合金中硅也较低(有时低于17%)。此时,已经将焦炭的粒度由5~25 mm降低到5~18 mm,但仍达不到满意的效果。当将焦炭粒度降至15 mm以下时,经常塌料,指标更差。这种情况下无法实现低渣比操作。当入炉原料 Al_2O_3 提高到适当程度时(如B、C种混合料 Al_2O_3 分别为5.95%和7.55%),最利于低渣比操作。此时,炉况正常稳定,电极在炉料中插入较深,热利用率和炉温较高, MnO 、 SiO_2 等还原较充分(渣中 MnO 在10%以下, SiO_2 在40%以下),配入的硅石和中锰渣(代替熔剂)量减少,渣量明显降低,渣铁比为0.95~1.05,炉渣中 Al_2O_3 得到富集(含量在20%左右),增大了炉渣的电阻更加有利于电极下插,此时电耗降到4 100 kWh/t左右,锰和硅的回收率明显提高,分别达到80%和53%以上,这时焦炭粒度为5~25 mm。当入炉原料 Al_2O_3 过高时(如D种混合料 Al_2O_3 为9.10%),炉渣中 Al_2O_3 可达25%以上,有时达到27%以上,这时由于炉料电阻增大,虽然焦炭粒度调为5~28 mm,但电极仍插入较深,热利用率较高,然而炉渣中 Al_2O_3 过高,造成炉渣粘度增大,致使出炉不顺畅,渣铁分离不好,此时需要适当增加渣量,稀释渣中 Al_2O_3 ,以此来保证出炉顺畅和渣铁的分,因此电耗略有升高,其他指标也略微变差,如图所示。这时不能很好地实现低渣比操作,渣铁比为1.15。

综合上面分析,可以认为这两台电炉冶炼锰硅合金时,入炉 Al_2O_3 在5.5%~7%为宜,此时可实现低渣比操作,获得最佳的经济技术指标;同时,随着入炉原料中 Al_2O_3 的增加,焦炭粒度要适当增大,而在低渣比操作的条件下,配碳量略有降低。

从图中看出,16.5 MVA电炉主要指标好于12.5 MVA电炉,这主要是两台电炉的参数不同所致。如表中所示,12.5 MVA电炉由于极心圆较小,极心圆实际功率,电极边缘间二次电压梯度均高于16.5 MVA电炉,虽然原料相同,但是对电极下插深度的影响却不同,其热利用率必然有别,同时对物料熔化速度和还原速度的影响也不会相同。电极容易下插,入炉 Al_2O_3 含量较低的原料对16.5 MVA电炉炉况和指标的不良影响要小一些,而12.5 MVA电炉比较明显。因此,要根据电炉工艺参数选择适宜的原料搭配方案。

此外,用A种混合料冶炼时,在12.5 MVA电炉电极下插困难指标恶化的情况下,造渣剂由中锰渣改为含 MgO 、 Al_2O_3 较高的造渣剂,试图通过提高炉料的电阻,促使电极下插。尽管取得一些效果(电耗由4 545 kWh/t降到4 450 kWh/t),但是由于炉料的物化性能未有改变,造渣剂中 MgO 、 Al_2O_3 以硅酸盐状态存在,仍达不到炉料中自然带入 Al_2O_3 时所取得的效果。而16.5 MVA电炉由中锰渣作造渣剂改为含 MgO 、 Al_2O_3 较高的造渣剂,最后由于自然碱度合适,炉况基本稳定,彻底取消了造渣剂,其主要指标明显好于12.5 MVA电炉。当12.5 MVA电炉也取消造渣剂时,炉况很不正常。上述这些现象一方面说明电炉工艺参数对冶炼的影响,另一方面说明,可以选择造渣剂进行适当调整和补偿。

应当指出,仅这两台电炉原来是按照冶炼高碳铬铁设计的,因此极心圆功率较高,与锰硅电炉相比,对应相同二次电压的二次电流较小,因此,适合于用含 Al_2O_3 较高的炉料进行冶炼。

根据以往的实践,锦州铁合金有限公司在5 MVA电炉(极心圆视在功率为1 750 kW/m²,实际功率1 710 kW/m²)上,曾经使用过入炉 Al_2O_3 含量低于4.5%的炉料,冶炼结果表明炉况比较稳定(炉渣中 Al_2O_3 在12%左右),电耗4 230 kWh/t。当使用 Al_2O_3 含量高于6%(炉渣中 Al_2O_3 大于17%)时,由于炉渣熔化温度升高,而极心圆功率较低,炉温上不去,造成出炉操作比较困难,此时通常采取增大渣量稀释 Al_2O_3 的办法来解决出炉等操作上的困难;结果造成电耗增加(80~150 kWh/t)。这说明锰原料中含 Al_2O_3 较低时,适合用极心圆较低的电炉进行冶炼,一般认为极心圆功率为1 700 kW/m²左右较为适宜。

4 结论

4.1 低渣比冶炼锰硅合金有利于节能降耗,它是在炉料中 Al_2O_3 含量适宜的条件下采取提高炉温、减少排碳和焦炭配入量,延长冶炼时间的方法实现的。

4.2 不同的电炉参数在低渣比冶炼时要对炉料有不同的选择。

4.3 设计电炉确定其工艺参数时要充分考虑所用锰原料的状况。