

·铸 工·

## 电 弧 炉 熔 炼 铸 铁

为了评定在电弧炉中铸铁的熔化过程, 需要综合研究炉料基本元素的烧损和炉渣状态。为此, 在容量为0.5t、3t、50t的碱性(镁)电弧炉; 12t酸性(硅)电弧炉和75t中性(高铝和刚玉)电弧炉中进行了试验研究。采用 $\pi_2$ 、 $\pi_3$ 、 $\pi_4$ 牌号铸造生铁锭、废钢、回炉料和炼钢生铁锭等原材料作为炉料。

用函数( $x_1$ )熔化温度 $T$ , ( $x_2$ )炉内

停留时间 $\tau$ 和( $x_3$ )炉渣碱度来测定元素烧损。为了确定其相互依赖关系, 建立了完整的试验计划, 在实施这个计划过程中来确定元素烧损在所有可能出现的变化因素中的最佳参数。在参数的每一组合中, 试验数据的再现性应根据KOPeHG, 标准进行评估。根据试验方案的结果, 得到回归方程式和计算系数如下:

表 1

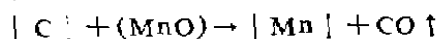
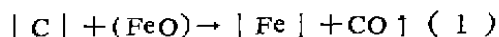
烧 损 的 元 素	回 归 方 程 式
C	$Y = 0.35 + 0.05x_1 + 0.013x_2 + 0.008x_1x_2;$ $G = 0.4349; S_y^2 = 23 \cdot 10^{-4}; F = 0.7391$
Si	$Y = 0.141 + 0.021x_1 + 0.018x_2 + 0.064x_3 + 0.004x_1x_2 - 0.001x_1x_3 - 0.008x_2x_3 + 0.001x_1x_2x_3;$ $G = 0.2553; S_y^2 = 9 \cdot 10^{-4}; F = 3.8888$
Mn	$Y = 0.14 + 0.02x_1 + 0.01x_2 + 0.01x_1x_2;$ $G = 0.4286; S_y^2 = 14 \cdot 10^{-4}; F = 0.2856$
S	$V_y = 0.04 + 0.01x_1 + 0.005x_2 + 0.005x_1x_2;$ $G = 0.6792; S_y^2 = 6.6 \cdot 10^{-4}; F = 0.1515$
Cr	$Y = 0.1 + 0.05x_1 + 0.02x_2 - 0.0007x_1x_2;$ $G = 0.5263; S_y^2 = 9 \cdot 10^{-4}; F = 0.3333$
Ti	$Y = 0.00275 + 0.002x_1 + 0.00225x_2 + 0.002x_1x_2;$ $G = 0.6; S_y^2 = 0.018 \cdot 10^{-4}; F = 7.2222$

其中:  $S_y^2$  ——标准离差(弥散度取平均值);

F——弗舍尔( $\phi_{\text{Фшер}}$ )标准。

分析方程式可知：碳的烧损仅和金属温度有密切关系。其它因素影响很小。事实上，碳烧损总量的75%是在熔化初期中发生的，在整个烧损中 $C + O_2 = CO_2$ 的反应起了重要作用。

反应：



(2)

的概率和意义由炉渣中 $K = FeO/MnO$ 和熔化温度之间的关系确立。电弧炉炉渣中K系

数随着温度提高而降低，并提高了熔化冷阶段反应(1)和热阶段反应(2)的概率。热阶段中Mn元素烧损的减少就证实了这个原理。

应该在炉渣中 $SiO_2$ 和碳烧损之间的相互关系中寻找反应 $2[C] + (SiO_2) \rightarrow 2CO \uparrow + [Si]$ (3)对碳烧损的影响因素。

表1指出在熔化成分为：3.4~3.5%C；1.9~2%Si；0.6~0.7%Mn；0.05%S；0.003%P的铸铁时得到的炉渣成分：见表2

表2

炉 渣 成 分 %						CaO+MgO	碳的相对烧损 %
CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
25.22	13.48	37.72	10.20	2.61	9.77	1.02	11.2
20.40	17.30	46.20	6.10	2.23	7.00	0.82	15.6
5.79	26.17	50.68	7.94	2.10	5.55	0.63	16.8
24.12	25.81	35.10	8.10	2.05	5.02	1.42	7.2
26.10	27.20	31.20	7.20	2.13	5.21	1.71	6.8

从炉渣碱度、炉渣中 $SiO_2$ 含量和碳烧损之间关系看出反应(3)是重要的。

根据相关系数的分析指出，硅的烧损由T、τ、炉渣碱度，以至炉渣和炉衬的成分所决定。

随着温度提高，硅的还原增加。因此，能够肯定地说，在降低温度情况下，硅的烧损增加（对中性炉衬和炉渣是正确的）。分析超高容量的电弧炉化铁情况获得的统计资料指出，当 $T > 1400^\circ C$ 时，硅从炉渣和炉衬还原。而在低温下，则发生硅的烧损，甚至在酸性炉渣或炉衬时也是如此。

炉渣中氧化亚铁对硅的氧化作用不决定于温度，因此在炉渣中氧化亚铁的含量达到20%，即使在高温下也将引起硅的氧化作

用，与起保护作用反应(3)相反，加速了电弧炉炼铁时硅的烧损。

统计分析指出，无论酸性还是碱性炉衬的电弧炉都引起锰的较高的烧损。大部分烧损是在熔化的还原阶段，也就是过热到 $1450^\circ C$ 时出现的。降低炉渣碱度和提高K值有利于锰的烧损，这正符合还原阶段的条件。以易熔状态进入炉渣中的Mn就是这种关系。熔化冷阶段的初始烧损是发生在处于金属—炉渣的拌随有氧化反应的临界状态。在熔化的热阶段，Mn的烧损减少，显然，Mn是被铁或碳还原了。事实上，在熔化最后阶段，降低炉渣中的MnO和FeO成分，证明是 有利于促进Mn的还原（见表3）。

表 3

$\tau_1(\text{min})$	T °C	含 量 %		
		FeO	MnO	Mn
00	1350	4.57	3.01	0.78
45	1450	3.05	2.33	0.64
87	1550	2.76	1.52	0.63
137	1650	1.38	1.16	0.62

分析相关系数指出,在碱性炉衬电弧炉中化铁,硫的烧损是和T及 $\tau$ 成正比例的。工业熔化的统计分析证实,铸铁中硫的含量不能高于0.05%,硫的起始含量0.1~0.8%或更高,在熔化过程中绝大部分被熔解在炉渣中。 $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaO}_2$ 的含量增加可以大大促进这个反应的进行(例如,图1中,曲线1是含 $\text{CaF}_2$ 2%,曲线2含 $\text{CaF}_2$ 4%,曲线3含 $\text{CaF}_2$ 8%)。

为了获得含S量 $\leq 0.009\%$ 的铸铁,在碱性炉渣中,脱硫是最有利的条件。硫的分配系数值Ls根据计算确定。计算结果证明,在碱性炉衬的电弧炉中,处于碱性炉渣情况时,铸铁脱硫是最佳的,等于1.7~1.8。

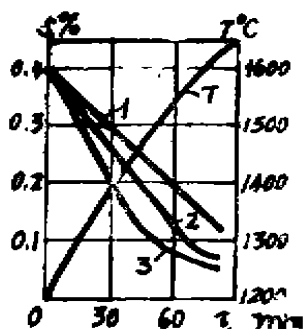


图 1

在碱性炉衬电弧炉化铁时,铬烧损的回

归系数与熔化温度和熔化时间成正比。熔化中铬的含量依赖于炉渣中FeO的含量。研究认为,炉渣中FeO的含量高,可强化脱铬作用(图2:曲线1——10%FeO;曲线2——20%FeO)。

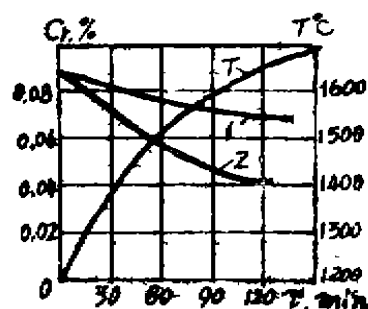


图 2

铸铁化学分析指出,在熔化过程中含磷量变化的复杂特点(表4,在炉渣中——分子;在铸铁中——分母)。

磷的烧损与FeO的含量和熔化温度的关系是比较复杂的。在熔化冷却阶段磷的烧损最多( $T=1350\sim 1450^\circ\text{C}$ )。随着温度升高,磷开始从炉渣中还原,见表4。

表 4

$\tau_1(\text{min})$	T °C	碱性炉渣	含 P %
0	1350	0.38	3.01/0.141
40	1450	0.56	2.45/0.120
85	1550	0.82	1.52/0.126
125	1650	1.02	1.16/0.132

下面数值是在碱性炉衬电弧炉的熔化阶段内元素的烧损,以%计。分子——数学平均值;分母——几何平均偏差;

C——9.6/4.4 S——72.8/21.6

Si——19.4/6.05      P——24.1/14.1  
Mn——20.4/9.4      Ti——27.7/18.6  
Cr——11.9/11.6

下面是基本元素烧损与炉料成分的关系：Ⅰ——铸造生铁、废钢、废铁和回炉料的比例为1:1:1:1；Ⅱ——没有废钢；Ⅲ——没有铸造生铁和废钢，见表5。

表5

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
C	9.5	8.8	10.0
Si	19.1	12.8	19.4
Mn	20.2	32.1	23.6

电弧炉化铁时，元素最大烧损值和炉料的组成有着重要的关系。炉渣结构分析指出，熔化不同阶段，炉渣的组成相在改变。如果在铸铁熔化开始阶段炉渣各相组成为：双弓型玻璃82%；镁橄榄石15%；MgO颗粒3%。那么熔化接近结束时，镁橄榄石数量增加，MgO的颗粒逐渐扩大，这时的炉渣各相组成为：双弓型玻璃含60%；镁橄榄石32%；MgO8%。

为了最优熔化和降低其对炉衬的反应能力，要控制炉渣性质，即应该增加炉渣——炉衬间的相间张力。

对于降低石灰——硅酸盐炉渣的液相线温度，碱性金属氧化物( $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ )、碱

土金属氧化物( $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ )和氟化物( $\text{MgF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ )是最有效的材料。

分析电弧炉化铁计算关系式指出，元素烧损与熔化工艺参数、炉渣成分和性质有着极为密切的关系。

提高炉渣的还原性和工作空间的密封性，能够减少碳的烧损。在炉渣处于还原特性时，熔化渗碳是有效的。在 $T \leq 1460^\circ\text{C}$ 时减少炉渣的碱性，能够降低硅的烧损。在感应电炉熔化时，很高的温度 $T$ ，以至很高的碱度时，硅的烧损也不会很高。锰的烧损在熔化冷阶段比较高，而在热阶段则降低，估计是被铁或是碳还原所致。

电弧炉熔化可以有效地进行脱硫和脱铬。铸铁脱硫可以达到铁水中含硫量 $\leq 0.009\%$ 的效果，在熔铬呈碱性( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}$ )/ $\text{SiO}_2 = 1.7 \sim 1.8$ 时是完全能够做到的。熔化时有效地脱铬的必要条件是在 $T = 1480 \sim 1560^\circ\text{C}$ 时提高 $\text{FeO}$ 的含量。

于泽民译自

《Литейное Производство》

1988. №2

诸葛增钰校