

文章编号:1000-582x(2001)01-0070-04

# 电渣精炼铸造铁水生产球墨铸铁

吕俊杰<sup>1</sup>, 储少军<sup>2</sup>

(1. 重庆工业高等专科学校 教务处, 重庆 400050; 2. 北京科技大学 冶金学院, 北京 100083)

**摘要:**介绍了采用含镁、钙、稀土等元素氧化物的CaF<sub>2</sub>基渣系,对铸造铁水进行电渣精炼的实验室和半工业性试验的结果。结果表明,电渣精炼过程的脱硫、去气、去夹杂对获得优质铁水,提高铸件质量有明显的效果。精炼铁水的球化效果好并可大量降低球化剂的消耗。因此,新工艺有可能代替传统的铸造铁水熔炼工艺。

**关键词:**电渣精炼; 铸铁; 球墨铸铁

**中图分类号:** TG 255

**文献标识码:** A

电渣冶金技术可提高金属纯度、改善铸件(锭)的结晶状态,使其成为当代生产高质量金属材料的途径之一<sup>[1]</sup>。就电渣技术本身而言,设备简单、操作方便、易于控制等优点是许多金属材料生产方法所不及的。同时,经电渣处理的金属组织致密、成分均匀、表面光洁,具有优异的使用性能和加工性能。20世纪60年代末开始,原苏联冶金工作者把电渣技术用于铸铁领域,提出了电渣铸铁新工艺<sup>[2]</sup>。

目前,铸铁熔炼仍以冲天炉为主,工频感应电炉,冲天炉-工频感应电炉双联也有很快发展,然而这些方法都未能解决铁水的精炼问题,如在生产球铁件时,仍存在着硫、氧含量较高、使用中间合金量较多以及质量不稳定等问题。

电渣铸铁工艺旨在通过电渣冶金的精炼和升温的特点,提高铁水质量,改善铸件的使用性能。在这方面,虽然原苏联人取得了一些成果,但较为系统的理论研究和成熟工艺的报道却很少见。为此,笔者在前人工作的基础上,研究了铸造铁水在电渣精炼过程中的升温、脱硫、去气等规律,并进行了半工业性试验,取得了一定效果。但应当指出的是,对原材料质量较好的生铁(如含S、P低的本溪生铁)来说,只要冲天炉的温度可达1400℃左右,也能生产出优质的球铁铸件,可不必采用电渣精炼铸造铁水工艺。即文中所指工艺仅

对质量较差的铸造铁水有较好的适用性,否则将增加铸件的熔炼成本。

## 1 试验条件和方法

### 1.1 实验室试验

实验室试验在学校实验工厂进行。以普通灰铸铁为原料,经过50 kg感应炉熔化后调整至普通冲天炉熔炼铁水的成分和温度,然后倾入容量为25 kg石墨内衬的有衬电渣炉内进行精炼,定时测温和取样。

该有衬电渣炉的变压器原边电压10 kV,电流为27 A;副边电压共分五档分别为50.7 V、45 V、40.5 V、37.7 V、36.9 V,电流为5.3 kA;采用交流电精炼铁水时用的电压为40.5 V。

精炼所用渣系如表1所示。

### 1.2 半工业性试验

半工业性试验在凌河汽车公司铸造厂进行。利用该厂1.5 t电弧炉短接降压和增加渣量代替电渣炉进行冲天炉铁水电渣精炼。原铁水由该厂冲天炉提供,将约600 kg铁水倾入上述电渣炉中精炼。渣与金属比约1:1(重量),造渣剂用石灰、萤石和废高铝砖。原铁水成分(%)为:C3.51、Si2.22、Mn0.57、P0.059、S0.110。

• 收稿日期:2000-04-15

作者简介:吕俊杰(1963-),男,重庆人,重庆工业高等专科学校副教授,硕士。主要从事钢铁冶金及高等教育管理的研究。

表 1 渣系组成 %

编号	CaF <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CeO <sub>2</sub>	MgF <sub>2</sub>	电模式
A	20~25	30~40	15~20	20~25	0~5	-	-	-
B	30~40	20~25	15~20	10~15	10~15	0~5	-	-
C	-	30~40	15~20	30~40	0~10	-	-	A.C
D	20~25	30~40	15~20	0~5	0~5	10~15	-	-
E	30~40	20~25	10~15	5~10	0~5	10~15	-	D.C
F	30~40	0~10	15~20	10~15	5~10	-	5~10	-

## 2 试验结果和分析

### 2.1 铁水的升温

采用单铂铑插入式测温热电偶,测得铁水在精炼过程中的温度变化示于表 2 和表 3。从表 2 可知,铁水温度在最初几分钟内提高幅度较大,以过 15~20 min 后,可达到预期要求的铁水温度,其中表 3 精炼后铁水温度是 25 min 时的测定结果。

表 2 电渣精炼过程中温度变化 ℃

炉次	t/min			
	0	6	12	18
8	1 240	1 350	1 300	1 400
9	1 180	1 260	1 200	1 350

表 3 电渣精炼铁水的升温效果 ℃

原铁水温度	精炼后铁水温度	浇注铁水温度
1 280	1 420	1 370

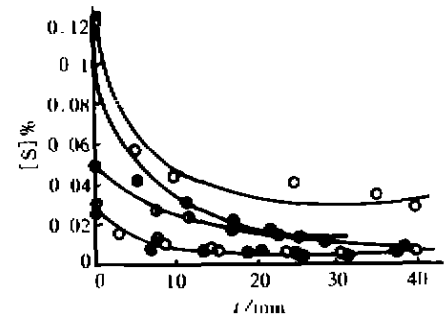
电渣过程所用的熔渣不仅是冶金反应的精炼剂,而且还是冶金反应的热源。铁水经过电渣冶金过程在短时间可将其温度提高 100~150 ℃,升温效果是很显著的。由于球铁铁水在处理过程中要降温,一般为 50~100 ℃,所以要求铁水温度要高(至少出铁温度在 1 450 ℃以上),可见,用电渣方法精炼铁水,完全可以满足生产球铁对铁水温度的要求。

### 2.2 铁水的脱硫

在实验室进行电渣精炼铁水的过程中,铁水中硫含量的变化见图 1。半工业性生产电渣精炼铁水硫含量的变化见表 4。从图 1 可知,在实验室条件下,以过 15~20 min 精炼,脱硫率可达 70% 左右;由表 4 可见,原铁水含硫为 0.11%,工业生产条件下,约经 7 min 精炼,可使铁水中硫降至 0.02% 以下。

表 4. 铁水中硫含量变化 %

t/min	0	7	12	17	22
[S]	0.11	0.016	0.018 7	0.020 8	0.021



○—A 渣系; ⊗—B 渣系; ○—C 渣系; ●—D 渣系

图 1 不同渣系精炼铁水时硫含量的变化

众所周知,生产球铁时,铁水中硫含量高必消耗较多的球化剂,严重影响球化。因为球化剂都是强脱硫剂,当原铁水中硫高时,球化剂加入后首先作用于脱硫,然后才作用于球化,且铁水中的硫化物是球铁铸件形成夹杂缺陷的主要原因之一,此外硫还会引起球化衰退和铸件皮下气孔等缺陷<sup>[3]</sup>。显然,球铁铁水中的硫含量越低越好。然而,目前用酸性冲天炉生产的铁水,难以将硫降至 0.06% 以下,若用电炉熔炼可适当降低,在国外则强调将硫降至 0.02% 以下<sup>[3]</sup>。由于电渣精炼有显著的脱硫效果(使 [S] < 0.02%),故使加入的球化剂主要用于球化而不是去脱硫,从而大大减少了球化剂的用量。

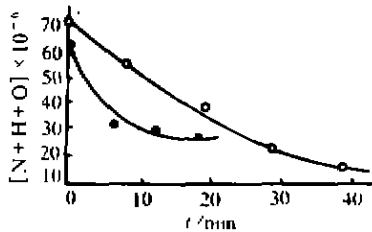
### 2.3 铁水的去气

采用电渣精炼铁水的工艺,其精炼渣对铁水的去气作用也有明显效果,图 2 表示了铁水中含气量的变化。从图中可以看出,电渣精炼进行约 20 min,能将气体总量降至  $30 \times 10^{-6}$  以下(其中氧含量  $15 \times 10^{-6}$  以下,氮含量  $6 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}$ )铁液中氧含量如此低,对球状石墨的形成及其形状是极其有利的<sup>[3]</sup>。

### 2.4 其它元素的变化

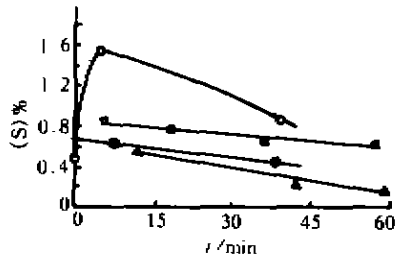
电渣冶金脱硫的显著特点是气相脱硫量大,一般在大气下重熔或熔铸的气态脱硫率在 50% 以上。然而,这种脱硫的良好效果是会导致渣中积硫达到饱和而影响熔渣的重复使用的,这是我们在研究工作中甚

为关注的问题。图3给出了精炼渣在精炼过程中的硫含量变化,图中炉次1和2是交流电渣精炼的结果,炉次6和7是直流电渣精炼得到的结果(用直流电时石墨电极为正极,铁水为负极)。从图中可见到,电渣精炼过程中,由于气相脱硫量大,渣中硫含量不会饱和,这表明精炼渣可以重复使用,显然这为降低成本创造了一定条件。



○—13 炉次; ●—8 炉次

图2 铁水中气体随时间的变化



○—1 炉次; ●—2 炉次; □—6 炉次; △—7 炉次

图3 渣中硫含量随时间的变化

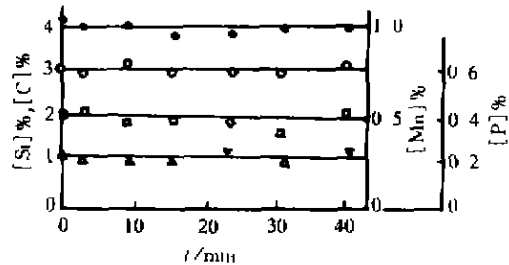
从图3炉次1和2可以看到,在时间为零时,有含硫量数值。按道理开始熔炼时,渣中不应含S。而炉次1与2是交流电渣精炼的结果,交流电渣精炼采用的造渣剂由石灰、萤石和废高铝砖构成,开始熔炼时,渣中硫含量则为加入渣料所带入的硫,而非精炼本身从铁水转入渣中的硫。炉次1变化规律有别于其它炉次是刚开始时残留在炉壁上渣中的硫,在开始精炼后迁移至精炼渣中,随后铁水中硫才开始向渣中转移,并随精炼的进行渣中硫逐渐降低。

对于渣中硫不会饱和的原因是,电渣过程的脱硫是以炉渣脱硫和气相脱硫两种方式进行的。前者从脱

硫反应 $[S] + (O^{2-}) = (S^{2-}) + [O]$ 可知,增加渣中 $O^{2-}$ 的浓度是有利于脱硫的,后者是以 $(S^{2-}) + 3/2O_{2(g)} = SO_{2(g)} + (O^{2-})$ 反应进行的,随着精炼过程的进行,使得渣-气相接触时间长,气化脱硫量增大。在正常冶炼条件下,电渣过程气相脱硫占50%~80%,且采用交流供电时,脱硫效果最好<sup>[4]</sup>。使渣中硫含量不会饱和。文中的结论与李世魁对电渣过程脱硫机理的研究<sup>[5]</sup>相吻合的,同时与作者所做的电渣重熔铸铁脱硫结果的结论相一致<sup>[6]</sup>。

电渣精炼过程中,铁水中C、Si、Mn、P的变化见图4。从图上可见,这些元素的变化范围小于0.05%~0.1%。通常,冲天炉熔炼时,C和Si的烧损为5%~10%,冲天炉-电渣双联,尽管用石墨电极,C的变化只有0.05%~0.1%,双联法成分波动范围小,这为生产优质球铁铁水提供了方便。

从图4还可看出,电渣精炼过程中脱磷效果不明显。



●—[C]; ○—[P]; □—[Mn]; △—[Si]

图4 铁水中C、Si、Mn、P的变化

## 2.5 铁水球化效果

对电渣精炼后的铁水进行球化处理,球化剂用的是稀土镁合金,其成分(%)为:Mg8~10、Re<sub>x</sub>O<sub>y</sub>8~12、Si38~42,加入量为0.5%(比原来冲天炉铁水减少50%)。进行半工业性生产试验的结果列于表5。从表5可以看出,在半工业试验中,尽管用的是电弧炉短接电压、增加渣量代替电渣炉,且渣中萤石和废高铝砖质量较差(含SiO<sub>2</sub>高),但电渣精炼后球化剂用量减少一半,仍得到了较好的球化效果。(球化处理工艺为冲入法,炉前采用三角试块检验球化效果)。

表5 球化处理后铁水成分及球化分级

炉号	C	Si	Mn	P	S	Mg	Re	球化分级	石墨分级
3130	2.35	2.62	3.02	0.061	0.0186	0.0175	0.036	1~2	1
3038	2.42	2.60	3.11	0.058	0.0152	0.0100	0.032	1~2	1

应当指出的是,由于电弧炉原用于冶炼高锰钢,当用此电弧炉短接电压,增加渣量代替电渣炉与冲天炉双联时,取样后的铸造铁水含 Mn 量偏高(达 3.02%~3.11%)和 C 含量偏低,估计与炉壁及炉顶残留较高的锰和洗炉不充分有关。

### 2.6 渣系组成

对电渣精炼工艺而言,渣系的组成十分重要。前表 1 所构成的各组渣系,其各组元的作用各不相同,渣组元的构成及各组元的作用将直接影响所得金属的成分和精炼效果,精炼渣的组成有专文详细论述,其结论为含碱土和稀土氧化物的  $\text{CaF}_2$  基渣系,对铸造铁水电渣精炼获得球墨铸铁是必须的<sup>[7]</sup>。

### 3 结论

1) 电渣精炼铸造铁水生产球墨铸铁所用的渣为含镁、钙和稀土等元素氧化物的  $\text{CaF}_2$  基多元渣系。

2) 用电渣冶金精炼铸造铁水,当原铁水温度为 1240℃ 左右时,可以在短时间(15~20 min)内使铁水温度提高 100~150℃ 以上;

3) 电渣法精炼铁水,脱硫效果显著,可将铁水中硫降至 0.02% 以下,从而完全能够满足生产球墨铸铁

对铁水低硫含量的要求;

4) 电渣精炼铁水有显著的去气效果, ( $[\text{O}] \leq 15 \cdot 10^{-6}$ ;  $[\text{N}] < 8 \times 10^{-6}$ );

5) 电渣精炼过程中硫未升高,精炼渣可以连续多次使用;

6) 电渣精炼后的铁水进行球化处理,可大量减少球化剂消耗,且球化效果良好。实践证明,冲天炉-电渣炉双联可生产出优质铸造用铁水。

### 参考文献:

- [1] 李正帮. 冶金新技术[M]. 北京:冶金工业出版社,1984
- [2] 储少军. 电渣铸铁新工艺[J]. 北京钢铁学院学报,1987,9(2):25-27.
- [3] 陆文华. 铸铁及其熔炼[M]. 北京:机械工业出版社,1981.91-94.
- [4] 张荣生. 钢铁生产中的脱硫[M]. 北京:冶金工业出版社,1986.130-131.
- [5] 李世魁. 电渣脱硫机理的研究[D]. 北京:北京钢铁学院,1964.
- [6] 吕俊杰. 电渣重熔铸铁的初步研究[D]. 北京:北京科技大学,1988
- [7] 储少军,刘海洪,吴世培. 铸造铁水的电化学变质处理[J]. 化工冶金,1989,10(1):15-23.

## Using Electro-slag Melting Process of Cast Molten Iron To Produce Ductile Cast Iron

LU Jun-jie<sup>1</sup>, CHU Shao-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Teaching, Chongqing Technical College, Chongqing 400050, China;

2. The Metallurgy College of Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper introduces experimental results of the ESM of cast iron in the laboratory and pilot-plant based on predecessor's work by molten  $\text{CaF}_2$ -based slag systems containing  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{RexOy}$ . The results show that the desulfurization, inclusion removal and gas elimination of the ESM have obvious effects on making iron liquid purified and producing high quality casting, and indicate that the ESM of cast iron may essentially improve the traditional process of cast molten iron melting as a new technique for making high quality ductile cast iron.

**Key words:** electro-slag melting; cast iron; ductile cast iron

(责任编辑 李胜春)