

精炼埋弧渣系对 60 t 钢包炉 (LF) 钢水升温速度的影响

刘润藻 战东平 姜周华 姜茂发

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘 要 在 55 ~ 75 kg 实验钢包炉精炼渣系的研究基础上, 采用组成 (%) 为: 63.6 ~ 70.0 石灰, 22.7 ~ 25.0 高铝矾土, 5.0 ~ 13.6 萤石 (S1 渣); 60.0 ~ 66.7 石灰, 20.8 ~ 25.0 萤石, 12.5 ~ 15.0 火砖块 (S2 渣); 55.5 ~ 65.0 石灰, 35.0 ~ 44.5 萤石 (S3 渣) 3 种渣系进行 60 t LF 精炼渣埋弧工业试验, 所精炼的钢种为 20, 20G, 40Cr, 35-CrMoA 和 GCr15。结果表明, 用 3 种渣系钢水平均脱硫率均为 87%, LF 在采用 S1、S2、S3 渣系精炼时钢水平均升温速度分别为 3.84 °C/min、2.86 °C/min 和 2.48 °C/min。S1 渣的脱硫速度快, 从而缩短了精炼时间。

关键词 钢包炉 精炼渣 脱硫 升温速度

Effect of Embedding Arc Refining Slag on Heat up Rate of Molten Steel in a 60 t Ladle Furnace

Liu Runzao, Zhan Dongping, Jiang Zhouhua and Jiang Maofa

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract Based on research of refining slag series by 55 ~ 75 kg experimental ladle furnace (LF), the commercial production experiment of embedding arc refining slag in a 60t ladle furnace has been carried out using three kind of slag: S1 slag- 63.6 ~ 70.0 lime, 22.7 ~ 25.0 high alumina and 5.0 ~ 13.6 fluorite; S2 slag- 60.0 ~ 66.7 lime, 20.8 ~ 25.0 fluorite and 12.5 ~ 15.0 refractory block; and S3 slag- 55.5 ~ 65.0 lime and 35.0 ~ 44.5 fluorite, and the refining steel grades were 20, 20G, 40Cr, 35CrMoA and GCr15 steel. The results showed that the all average desulphurization rate of molten steel using the three slag series was 87%, and the average heat up rate of molten steel during LF refining was 3.84 °C/min, 2.86 °C/min and 2.48 °C/min respectively by using S1, S2 and S3 slag series. As desulphurization speed was quick by using S1 slag therefore the refining time decreased.

Material Index Ladle Furnace, Refining Slag, Desulphurization, Heat up Rate

随着炼钢节奏的加快和不断降低成本需求的增加, 如何提高 LF 热效率、降低耐火材料侵蚀来降低成本成为很多研究的焦点问题^[1-4]。通过 LF 造泡沫渣实现埋弧操作成为解决该问题的有效途径^[5,6]。本研究开发出的 LF 埋弧渣可以满足工业生产要求。

1 实验型 LF 精炼埋弧渣的热模拟实验

实验用钢包炉采用直流电源加热, 实验用初炼钢水由有衬电渣炉提供, 钢水量为 55 ~ 75 kg, 钢种为 20 号碳素钢。

试验结果得出, 采用组成 (%) 为 50 ~ 60 石灰, 25 ~ 35 高铝矾土, 8 ~ 12 工业氧化铝 F 型精炼基础渣均有良好的脱硫效果, 脱硫率为 43% ~ 70%。

为了进一步提高炉渣脱硫能力, 在该渣的基础上进一步提高了石灰的比例, 从 60% 提高至 70%, 但考虑到炉渣熔化温度随之提高, 因此, 添加 5% 的萤石以适当降低熔化温度和调节流动性, 称为 G 型精炼基础渣, 成分 (%) 为: 65 ~ 75 石灰, 20 ~ 27 高铝矾土和 0 ~ 5 萤石。并用传统的 70% ~ 75% CaO, 20% ~ 30% CaF₂ 渣系 (H 型) 作了对比试验。结果表明, G 型精炼渣的脱硫效果比 F 型好得多, 而与传统的 CaO-CaF₂ 渣的脱硫率相当。同时, G 型精炼渣的发泡效果比传统的 H 型好得多, 接近 F 型渣的水平。

2 60 t LF 精炼埋弧渣和工艺

工业试验在 60 t LF 钢包精炼炉上进行, 其工艺流程为 UHP 电弧炉 → LF → VD → 模铸。钢水从

UHP 电弧炉经 EBT 出钢进入钢包,在出钢的同时将渣料由电弧炉高位料仓加入钢包使其钢渣混冲达到快速脱硫的目的。同时,要加入一定量的铁合金对成分进行粗调。进入钢包工位后,先进行测温取样,并立即通电加热。同时加发泡剂和扩散脱氧剂。试验中采用 SiC 作发泡剂和扩散脱氧剂。然后进行多次测温取样来调整钢水温度和成分,出钢前插 Al 进行终脱氧。从电弧炉出钢开始一直到浇注前钢包一直进行全程吹 Ar 搅拌。

根据前期实验室工作的研究结果,确定了 60 t LF 精炼埋弧渣的工业试验安排,见表 1。其中考虑了 3 种渣系,即以石灰、高铝矾土熟料为主,添加少量萤石的 S1 型,其原料组成为石灰 68%~70%;高铝矾土 24%~25%,萤石 5%~8%;第

2 种渣 S2 型由 60% 的石灰,15% 的粘土砖块和 25% 的萤石组成;第 3 种渣系 S3 型由 55%~65% 的石灰,35%~45% 的萤石组成。根据实验室研究结果,SiC 在发泡剂中起主要作用,同时它又能起扩散脱氧剂的作用。为了使试验简化,发泡剂使用了单一成分 SiC。试验主要是比较不同渣系之间的精炼效果和埋弧效果。精炼效果主要是看脱硫率。而埋弧效果主要是比较前期加热阶段的升温速度、渣层的厚度以及电弧的声音大小。而渣层厚度由于不同炉子渣料加入量的差异以及氧化渣下渣量的控制不同,因而只能作为参考。通常每炉钢水量控制在 50~60 t 之间。但个别情况由于操作问题钢水量有时偏多,偏少。试验中每炉钢种、渣量和组成等参数见表 1。

表 1 60 t LF 精炼埋弧渣组成和工艺参数

Table 1 Ingredient of embedding arc refining slag and technology parameters for a 60 t LF refining

序号	钢种	渣系	渣料组成/%				渣量/kg	钢中 S 含量/%		脱 S 率/%	钢中 P 含量/%		升温速度/ ℃·min ⁻¹
			石灰	高铝矾土	萤石	火砖块		[S] _始	[S] _终		[P] _始	[P] _终	
1	40Cr	S1	70	25	5	—	800	0.060	0.005	91.7	0.012	0.012	2.50
2	40Cr	S1	63.6	22.7	13.6	—	1 100	0.076	0.012	84.2	0.012	0.012	4.20
3	GCr15 ^①	S2	60	—	25	15	1 000	0.062	0.006	90.3	0.011	0.011	2.91
4	GCr15 ^①	S2	66.7	—	20.8	12.5	1 200	0.060	0.010	83.3	0.013	0.014	2.80
5	35CrMoA	S1	66.4	23.4	10.3	—	1 070	0.060	0.008	86.7	0.008	0.010	4.73
6	40Cr	S3	65	—	35	—	900	0.061	0.008	86.9	0.008	0.008	2.40
7	20	S3	65	—	35	—	900	0.064	0.011	82.8	0.008	0.006	2.18
8	40Cr	S3	55.5	—	44.5	—	900	0.059	0.008	86.4	0.008	0.008	3.00
9	20	S1	68.3	24.7	6.9	—	1 010	0.069	0.009	87.0	0.010	0.011	5.25
10	20G	S3	60	—	40	—	1 000	0.060	0.004	93.6	0.007	0.006	2.33
11	20G	S1	68.3	24.7	6.9	—	1 010	0.075	0.001	84.0	0.007	0.016	3.36
12	20G	S1	68.3	24.0	7.7	—	1 040	0.070	0.008	88.6	0.008	0.011	3.00

注:①采用 LF(VD)工艺。

3 试验结果及讨论

3.1 渣系对 LF 操作效果的影响

表 1 列出了 S1、S2 和 S3 3 种渣系的升温速度和脱硫率多次试验的平均值。由表 1 可知,3 种渣系的脱硫率基本一样,几乎均在 87% 左右,脱硫效果均非常显著。但 S1、S2、S3 渣系的升温速度有明显差别,平均值分别为 3.84 ℃/min、2.86 ℃/min 和 2.48 ℃/min。这说明不同渣系的埋弧效果有较大差别,钢水升温速度快说明埋弧效果好。

从现场观察发现,加热时电弧声音小,渣层较厚而且渣样内有细小气泡时,所对应炉次的升温速度较快。因此,用升温速度来评价 LF 的埋弧状态是合理的。

理论研究表明,渣系的物理性质对炉渣的发泡性能有重要影响,其中渣的粘度是关键因素之一。S1 型渣系由于渣中 Al₂O₃ 含量较高,CaF₂ 含量低,故粘度较大,促进了渣的泡沫化。而 S3 型渣系 CaF₂ 含量很高,渣的粘度很小,发泡性能差。S2 型渣系由于添加的少量的粘土砖块(主要成分为 Al₂O₃ 和 SiO₂),并降低了 CaF₂ 的用量,粘度介于 S1 和 S3 之间,因而发泡性能也介于两者之间。

3.2 S1 型渣精炼过程钢渣成分及温度的变化

从分析 S1 型渣系 LF 精炼过程钢水温度、钢液硫含量、炉渣碱度和渣中(FeO)含量的变化规律可以得出,从电弧炉出钢时同时加入造渣料,由于钢渣混冲,反应界面很大,因此可以实现一定程度的脱硫。在本次试验中电弧炉出钢至进入 LF 工位一般为 3~5 min,期间脱硫率可达 30% 左右

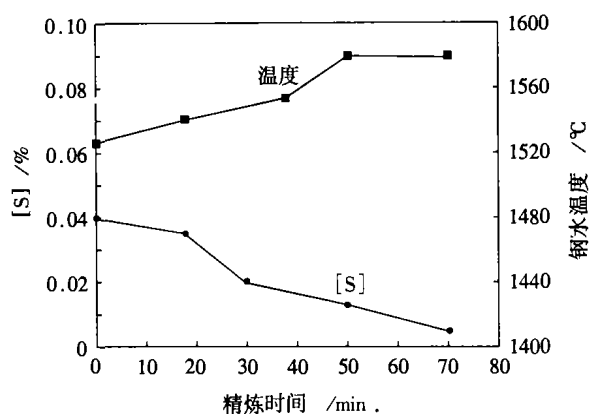


图1 LF精炼过程钢水温度和硫含量的变化(钢号40Cr;渣系S1)

Fig.1 Change of temperature and sulphur content in steel during refining in LF, steel 40Cr, S1 slag

(图1)。在LF的冶炼前期由于熔池温度较低,渣中(FeO)含量较高,脱硫速度较慢,随着熔池温度的逐渐升高,渣中(FeO)含量的降低,脱硫速度加快,出钢时(FeO)含量约为0.65%,而钢中硫降到0.005%,另外,炉渣碱度在冶炼过程中是逐渐降低的。其原因是脱氧剂SiC,铁合金Fe-Si中的硅的氧化使渣中(SiO₂)含量不断增加,同时由于耐火材料的侵蚀使得一部分氧化物进入渣中,也稀

释了CaO的含量。因此,如果要保持碱度不变,冶炼过程中也可加适量石灰。

从以上结果可以看出,冶炼过程的快速升温 and 快速脱氧对于加快脱硫至关重要。试验结果也证明了这一点。例如,炉号2600,电弧炉出钢时硫含量为0.075%,LF到位时熔池温度达1595℃,当精炼9 min 取样时,渣中(FeO)已降至0.88%,而钢中硫降至0.032%,脱硫率达57.3%。脱硫速度很快,这样精炼时间可缩短。

LF冶炼前后钢水成分和炉渣成分的变化见表2。从表2中的结果可知,钢中磷含量在精炼前后基本不变,在其它炉次中也变化不大,一般磷的前后变化量为0~0.002%。主要取决于EBT出钢时氧化渣的下渣量。通常下渣量≤2 kg/t 钢,LF回磷不超过 20×10^{-6} 。序号12的20G钢因该试验炉号下渣量很大,故回磷严重。另外,成品钢中全氧含量一般在 20×10^{-6} 左右,若经VD处理一般可达到 15×10^{-6} 水平。渣的成分中SiO₂的含量要比预想值偏高,而Al₂O₃含量则比预想值要低。其主要原因是高铝矾土Al₂O₃品位较低所致。渣中MgO主要来自电弧炉EBT出钢口填

表2 LF精炼前后40Cr钢、S1渣成分的变化/%

Table 2 Chemical composition change of molten steel and slag before and after refining in LF, S1 slag, steel 40Cr /%

阶段	40Cr 钢水成分						S1 炉渣成分						
	C	Mn	Si	S	P	O	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaF ₂	MgO	FeO	MnO
到位	0.20	0.39	0.17	0.04	0.012	-	53.55	15.75	15.48	4.27	5.82	3.74	0.33
出钢	0.40	0.60	0.24	0.005	0.012	0.002	49.76	18.43	17.35	4.12	8.01	0.65	0.17

料以及包衬耐火材料的侵蚀。

4 结论

(1) S1、S2、S3 3种渣系的脱硫率均在87%左右,但三者的升温速度有明显差别,平均值分别为3.84℃/min、2.86℃/min和2.48℃/min,升温速度快者埋弧和精炼效果相对较好。

(2) 成品钢中全氧含量一般在 20×10^{-6} 左右,若经VD处理一般可达到 15×10^{-6} 水平。钢中磷含量在精炼前后基本不变,EBT出钢氧化渣下渣量较大时,回磷严重。

国家科技部“十五”攻关基金资助项目(编号:2001BA306B-02-03)

参考文献

- 迪林,王平,傅杰. LF埋弧泡沫渣实验研究. 特殊钢, 1999, 20(3): 24
- 兰杰,姜周华. CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-CaF₂ 五元精炼渣系的起泡性能. 钢铁研究学报, 1999, 11(2): 14
- 赵和明,谢兵. LF炉精炼渣冶金性能的研究现状. 钢铁钒钛, 2002, 23(4): 53
- 牛四通,成国光,张鉴,等. 精炼渣系的发泡性能. 北京科技大学学报, 1997, 19(2): 138
- 牛四通,张鉴,成国光,等. LF埋弧渣技术的开发及应用. 钢铁, 1997, 32(3): 21
- 袁伟霞,邹伟,桂美文,等. LF炉埋弧渣的研究与应用. 钢铁研究, 1997, 25(3): 7

刘润藻,男,48岁,高级工程师。1982年毕业于北京钢铁学院电冶金专业,从事电弧炉炼钢研究工作。

收稿日期:2004-08-23