利用 KR 法对铁水进行脱硅和脱磷的影响研究

张达先[1]，张怀军[1]，白国君[2]

（1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010；
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 采用包钢 150 t 钢包炉研究在 KR 工序同时预处理脱硅、脱磷的影响因素。本项研究采用转炉除尘灰、氧化铁皮球等再利用资源作为氧化剂，与脱硫剂以一定配比加入钢包炉中，在 KR 铁水预处理工艺条件下，寻求同时脱除部分硅、磷的工艺影响因素。研究结果表明，可以实现脱除铁水中的部分硅和磷，但条件严苛，目前的生产条件还不能完全满足。

关键词： 铁水预处理；脱硅；脱磷；转炉除尘灰

中图分类号： TF762⁺.8 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)01－0034－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.01.011

Study on the Influence of Desilication and Dephosphorization for Hot Metal by KR Method

ZHANG Da－xian[1], *ZHANG Huai－jun*[1], *BAI Guo－jun*[2]

(1. *Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Steel－melting Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The influence factors of KR process, as well as desiliconization and dephosphorization pretreatment were studied by using 150 t ladle furnace. In this study, the reuse resources such as converter dust and iron oxide ball were used as the oxidant, and the desulfurizer was added into the ladle furnace at a certain ratio in the condition of KR hot metal pretreatment, the technological effect for simultaneous removal of silicon and phosphorus was sought factor. The result shows that remove part of silicon and phosphorus in molten iron is feasible, but the condition is harsh, the current production conditions can not be fully met.

Key words: hot metal pretreatment; desiliconization; dephosphorization; converter dust

随着社会的发展，各行各业逐渐对钢材质量提出了更高的要求。近年来提高钢材质量，改善钢材性能，大力发展洁净钢和超纯净钢技术是当前冶金工作者面临的紧迫任务。冶炼超低磷钢或极低磷钢是炼钢生产发展的趋势[1]。传统的脱磷技术已经不能完全满足高质量、快节奏的生产要求，采用铁水预处理三脱是目前国内外行之有效且成本低廉的处理方式。目前普遍使用的铁水预处理三脱工艺设备造价高、增加工艺流程和处理时间。本文研究采用廉价的可再利用资源（转炉除尘灰、氧化铁皮球[2]）作为氧化剂与脱硫剂以一定配比组成脱硅、脱磷剂，在 KR 工序脱除部分硅和磷的条件。

1 研究方法及实验方案

1.1 研究方法

实验采用 150 t 钢包炉，不同铁水条件进行铁水

收稿日期： 2016－12－15

作者简介： 张达先（1988－），男，内蒙古包头市人，助理工程师，现从事炼钢工艺研究工作。

同时脱硅、磷预处理。实验时，先将铁水渣用扒渣机扒除，然后将一定量氧化剂均匀铺撒在铁水表面，在搅拌的同时加入脱硫剂。在预处理开始前和结束后用取样器取铁水成分试样和渣样。

1.2　实验方案

方案 1 在铁水条件相近的情况下，研究氧化剂类型、渣碱度对脱硅脱磷的影响，试验用氧化剂化学成分见表 1。

方案 2 在铁水成分相近的条件下，加入相同等量的氧化剂，研究铁水初始硅含量、铁水温度对脱硅脱磷的影响。

表 1　氧化剂化学成分(质量分数)　%

样品名称	S	SiO_2	F	P_2O_5	MnO	CaO	FeO	TFe
EC 灰	≤0.01	≤3	≤0.010	≤0.250	≤1.00	≤35.0	≥45.0	≥50.0
氧化铁皮球	≤0.20	≤10	≤0.010	≤0.250	≤1.00	≤15.0	≥35.0	≥40.0

2　实验结果分析

2.1　氧化剂类型对脱硅脱磷的影响

在铁水成分、温度、重量相当的情况下，向铁水中加入 EC 灰和氧化铁皮球各 1 000 kg，比较脱硅脱磷效果。

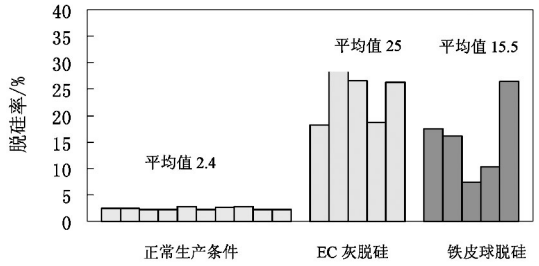


图 1　氧化剂类型对脱硅的影响

由图 1 可知，铁水条件相近的情况下，分别加入 EC 灰和氧化铁皮球后，铁水预处理脱硅效果明显，且 EC 灰脱硅效果比氧化铁皮球效果更好。

由反应式可知脱硅反应的平衡常数

$$K_P^{\Theta} = \frac{a_{P_2O_5}}{a_{[P]}^2 \cdot a_{[O]}^5} = \frac{r_{P_2O_5} \cdot n_{P_2O_5}}{f_P^2 \cdot w^2[P] \cdot f_O^5 \cdot w^5[O]}$$

其中 K_P^{Θ} 为脱磷反应平衡常数，$a_{P_2O_5}$ 为 P_2O_5 的活度，a_{Fe} 为 Fe 的活度，$a_{[P]}$ 为 P 的活度，$r_{P_2O_5}$ 为 P_2O_5 的活度系数，$n_{P_2O_5}$ 为 P_2O_5 的摩尔分数，f_P 为 P 的活度系数，f_O 为 O 的活度

进而得到硅的分配常数为

$$L_P = \frac{n_{P_2O_5}}{w^2[P]} = K_P^{\Theta} \cdot \frac{w^5[O]}{r_{P_2O_5}}$$

式中：L_P ——硅的分配常数。

由上式可以看出，影响硅的分配常数的因素为 FeO 活度及渣的碱度，即增加 FeO 含量和增加渣碱度都可以加强硅的氧化。所以 FeO 含量更高的 EC 脱硅效果要强于氧化铁皮球。

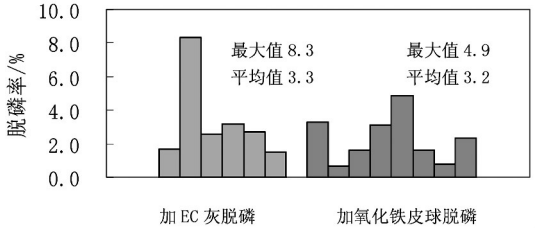


图 2　氧化剂类型对脱磷的影响

由图 2 可知，铁水条件相近的情况下，分别加入 EC 灰和氧化铁皮球后，铁水预处理脱磷效果明显，且 EC 灰脱硅效果比氧化铁皮球效果更好。

这是因为铁水中脱磷反应的平衡常数。

$$K_{Si}^{\Theta} = \frac{a_{SiO_2} a_{Fe}^2}{a_{Fe}^2 a_{Si}} = \frac{r_{SiO_2} \cdot x_{SiO_2}}{w[Si] \cdot f_{Si} \cdot a_{FeO}^2}$$

其中 K_{Si}^{Θ} 为脱硅反应平衡常数，a_{SiO_2} 为 SiO_2 的活度，a_{Fe} 为 Fe 的活度，a_{Si} 为 Si 的活度，r_{SiO_2} 为 SiO_2 的活度系数，x_{SiO_2} 为多组分条件下 SiO_2 的活度，f_{Si} 为 Si 的活度系数，a_{FeO} 为 FeO 的活度

铁水中 P 和 O 的含量较低，假设其活度都为 1，则磷的分配比

$$L_{Si} = K_{Si}^{\Theta} \cdot f_{Si} \cdot \frac{a_{FeO}^2}{r_{SiO_2}}$$

式中：L_{Si} ——硅的分配常数。

由此可知，磷的分配比与熔渣中氧的含量有关。熔渣中氧发生反应：$[Fe] + [O] = (FeO)$，可得下式

$$\lg K = \lg a_{FeO}/w(O) = 6\,320/T - 2.734$$

$w(O) = a_{FeO}/K$ 即，氧的多少由 FeO 的活度决定，所以 FeO 含量相对较高的 EC 灰脱磷效果更好。

2.2　预处理渣碱度对脱硅脱磷的影响

国内外流行两种观点，一种是低碱度渣良好的动力学条件更有利于脱磷；另一种观点是，高碱度渣

更有利于脱磷良好的热力学条件更有利于脱磷[3]。在包钢铁水条件下，研究碱度对脱硅脱磷的影响，试验要求铁水渣必须扒除干净，然后加入脱硅脱磷剂进行预处理，分析实验结果见图3。

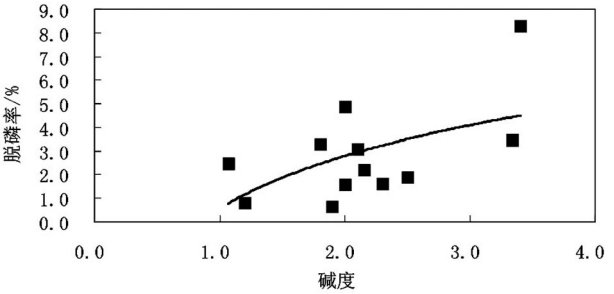


图3 预处理渣碱度对脱磷的影响

由图3可知，随渣碱度升高，预处理脱磷率呈上升趋势。可以说明在相同氧化性条件下，炉渣碱度越高，脱磷效果越好。但在KR工序进行脱硅脱磷，炉渣碱度升高造成化渣困难，也不利于脱磷，因此渣碱度控制在2.5～3.0。

2.3 铁水初始硅含量对脱磷的影响

在包钢铁水条件下，随铁水硅含量升高，脱磷率呈下降趋势。铁水 w[Si] ≥0.40%时，脱磷效果明显不稳定，这与大部分资料研究结论相同。国内外很多研究成果表明，铁水中 w[Si] <0.2%或更低值，铁水脱磷反应才顺利进行，见图4。

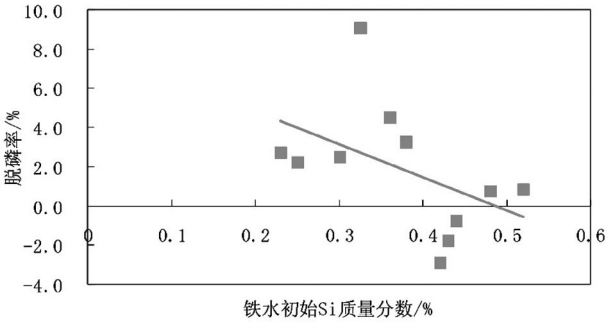


图4 铁水初始 w[Si] 对脱磷的影响

这是因为，磷的氧化产物在铁液中不能稳定存在，P_2O_5 必须与CaO等强碱性氧化物结合才能形成稳定的化合物进入渣相被脱除。由于 SiO_2 与CaO的结合能力比 P_2O_5 强，所以当硅含量升高时，脱磷效果明显变差。

2.4 铁水温度对脱磷的影响

选取成分相近温度不同铁水，加入等量EC灰(1 000 kg)，反应时间充足，研究铁水温度对脱硅脱磷的影响，反应结束后铁水中硅和磷达到平衡[4]。

理论上，脱硅脱磷是放热反应，铁水温度低有利于脱硅脱磷，在脱硅脱磷终点平衡状态下，铁水温度越低，平衡线越高。

实际生产中硅和磷终点平衡状态见图5，铁水温度在1 200 ℃时硅磷达到平衡曲线最低，即达到脱磷目标值需脱硅最多；铁水温度在1 300 ℃时硅磷达到平衡曲线最高，即达到脱磷目标值需脱硅最少。这是因为铁水温度1 200 ℃时，铁水温度低于脱硅脱磷剂熔点，造成反应没有完全进行，所以达到平衡时硅和磷含量均较高。在实际生产过程中铁水温度应控制在1 320 ℃左右，以保证脱硅脱磷剂充分熔化。

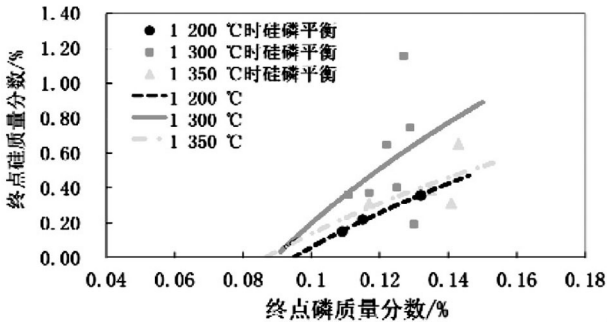


图5 不同铁水温度下脱硅脱磷终点平衡状态

4 结论

(1) 通过研究，在铁水预处理工序达到脱除铁水中部分硅和磷的目的，需要达到以下要求：使用转炉EC灰作为氧化剂，铁水初始 w[Si] ≤0.4%，铁水温度在1 320 ℃左右，处理过程中渣碱度控制在2.5～3.0之间；

(2) 利用包钢现有条件，利用KR工序脱除部分硅和磷可以实现，但对铁水成分、温度、渣碱度均有要求，较难达到。

参 考 文 献

[1] 汪大洲. 钢铁生产中的脱磷[M]. 北京：冶金工业出版社，1984.

[2] 陈兆平，夏幸明，蒋晓放. 转炉渣在宝钢铁水预处理中的应用[A]. 北京：2001中国钢铁年会论文集(上卷)[C]. 2001.

[3] 郭上型，郭湛. 应用转炉渣对铁水预脱硅脱磷的实验研[J]. 上海金属. 2006，28(4)：31－35.

[4] 罗志国. 利用转炉渣的铁水预处理脱磷过程模拟[D]. 沈阳：东北大学，2003.