

60 t AOD 全铁水精炼 400 系不锈钢热补偿技术的工艺实践

叶凡新 冯文甫 郭志彬 王晓亮 曹红波 吴广海
(邢台钢铁有限责任公司炼钢厂, 邢台 054027)

摘要 在铁水直兑 60 t AOD 精炼 1Cr13 钢等 400 系不锈钢工艺过程中, 由于加入大量的铬铁合金、渣料、返回废钢等材料, 所需热量占熔池的 15% ~ 40%, 严重制约着生产顺利进行和质量改善。通过工业实践研究了 60 t AOD 枪位(1.5 ~ 3.5 m)对 CO 二次燃烧比的影响, 铬铁中硅含量(1% ~ 6.5%)对石灰消耗和综合提供热量的影响, 以及烘烤时间(0.5 ~ 4.5 h)对合金温度的影响。结果表明, 60 t AOD 氧枪枪位控制在 3 m 时 CO 二次燃烧的比例可提高至 20%; 铬铁中硅含量为 4% 时综合功效最大; 合金最佳烘烤时间为 2 ~ 3 h。

关键词 60 t AOD 热补偿 二次燃烧 合金烘烤 工艺实践

Process Practice of Thermal Compensation Technology for Refining 400 Series Stainless Steels in a 60 t AOD with Hot Metal

Ye Fanxin, Feng Wenfu, Guo Zhibin, Wang Xiaoliang, Cao Hongbo and Wu Guanghai
(Steelmaking Works, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 064027)

Abstract During refining process of steel 1Cr13 etc 400 series stainless steels in a 60 t AOD unit with direct charging hot metal, due to adding large amount of materials including ferrochromium alloy, slag-forming addition and return scrap, the required heat accounts for 15% ~ 40% of the total heat of bath, that seriously restricts smooth refining and improving liquid quality. The effect of 60 t AOD lance level (1.5 ~ 3.5 m) on CO post-combustion ratio, the effect of silicon content (1% ~ 6.5%) in ferrochrome on lime consumption and comprehensive supply of heat and the effect of baking time (0.5 ~ 4.5 h) on alloy temperature are studied by commercial production practice. Results show that with controlling 60 t AOD oxygen lance level at 3 m the CO post-combustion ratio increases to 20%; with 4% silicon content in ferrochrome the comprehensive work efficiency is maximum; and the time of alloy baking for 2 ~ 3 h is optimum.

Material Index 60 t AOD, Thermal Compensation, Post-Combustion, Alloy Baking, Process Practice

AOD 是氩氧脱碳炉 (Argon Oxygen Decarburization) 的简称, 它依托于侧吹良好的动力学条件, 通过提高过程温度和降低 CO 气体分压的方式实现“脱碳保铬”。但是, 在实际生产过程中无论是采用电弧炉还是脱磷铁水冶炼, AOD 的热量都存在一定的欠缺, 不仅对 AOD 发挥“脱碳保铬”功能造成较大的影响^[1], 同时也对炉衬的安全运行、生产秩序的稳定等均有不利影响^[2]。本文主要阐述邢台钢铁有限责任公司 (简称邢钢) 在采用脱磷铁水直兑 AOD 生产 400 系不锈钢时, 通过采用热补偿技术来弥补冶炼过程温度的要求, 减少 Cr 元素的氧化, 从而达到降低渣料、硅铁等物料消耗以及提高炉龄的目的。

1 AOD 使用脱磷铁水精炼 400 系不锈钢热量的调研

1.1 脱磷铁水直兑 AOD 精炼 400 系不锈钢工艺简介

邢钢 AOD 采用脱磷铁水直兑精炼 400 系不锈钢时, 分为氧枪脱碳期和中、低碳脱碳区。氧枪脱碳期采用氧枪 + 侧枪共同吹氧的模式进行脱碳, 期间加入全部的铬铁合金以及渣料, 将铁水中的碳含量

脱至 0.3% ~ 0.5% 后进入中、低碳脱碳期^[3], 而后只使用侧枪通过调整氧气与惰性气体比例完成深脱碳, 直至碳含量达到钢种目标要求。

1.2 AOD 的热量欠缺分析

由于脱磷铁水中不含铬元素, 需要在氧枪吹氧脱碳过程中加入大量的铬铁合金、渣料, 加之消耗返回废钢、炉衬散热等因素造成温度热量欠缺高达 15% ~ 40%。以 1Cr13 钢种为例, 按照表 2 所列的入炉成分和物料加入量、氧枪吹炼结束后目标温度为 1 650 °C 时测算, 其热量缺口在 640 °C, 如表 3 所示。随着吹氧脱碳的进行, 碳与铬元素的竞相氧化

表 1 AOD 设备参数
Table 1 Parameters of AOD unit

项目	参数
公称容量/t	60
侧枪支数/支	3
侧枪氧气流量/(m ³ · min ⁻¹)	8 ~ 60
氧枪枪孔数/个	3
氧枪马赫数	2
氧枪氧气流量/(m ³ · min ⁻¹)	60 ~ 150
氧枪工作气压/MPa	0.7 ~ 1.5

表 2 1Cr13 钢 AOD 精炼铁水、合金及渣料参数
Table 2 Parameters of hot metal, alloy and slag materials for AOD refining of steel 1Cr13

温度/℃	脱磷铁水		合金、渣料的加入量/t		
	铁水碳含量/%	铁水量/t	铬铁	石灰	返回废钢
1 350	3.5	48	13	4.5	4

表 3 1Cr13 钢 AOD 精炼热量收支数据/℃
Table 3 Heat budget data for steel 1Cr13 in AOD refining /℃

物理、化学热			降温				目标温度	温度欠缺
铁水温度	铁水碳升温	铬铁中 C、Si 升温	合金降温	石灰降温	返回废钢降温	炉壳、烟尘散热		
1 300	350	250	450	180	160	100	1 650	640

温度开始升高,如果热量得不到满足就发生高达 3%~5% 的铬元素氧化。铬元素的氧化会导致发生石灰、硅铁等原辅料加入量增加、钢水中铬元素继续氧化的恶性循环。

2 热补偿技术应用的生产实践

2.1 CO 二次燃烧技术的开发和应用

在 AOD 吹氧脱碳过程中碳和氧反应主要生成 CO 气体,碳完全燃烧的比例很少^[4]。同时 AOD 的冶炼周期较长,CO 气体回收作为燃烧能源的价值不高,一般通过烟道内燃烧与水冷的方式转换为蒸汽能。如表 4 所示,若将 CO 气体完全燃烧生成 CO₂ 气体,放热量将会增加约 2 倍。

但是,对于 CO 二次燃烧技术大多是采用专用氧枪设备^[5],需进行额外投资和建设。根据对现有的氧枪设备条件、功能参数(如表 1)以及 AOD 的精炼特性,在装入量为 60 t、氧枪流量为 100 m³/min(对应工作氧压在 1.3 MPa)时测试了 AOD 不同枪位下 CO 二次燃烧的比例,数据结果如图 1 所示。在逐步提高氧枪枪位时 CO 二次燃烧的比例成线性增加,但是过高的枪位对炉衬砖寿命、设备安全运行造成影响。故此,氧枪枪位控制在 3 m 时能够使 20% 左右的 CO 进行二次燃烧,可向熔池增加约 150 ℃ 热量。

表 4 反应温度和生成 CO、CO₂ 对氧化铁水中 1% C 时熔池升温的影响/℃

Table 4 Effect of reacting temperature, forming CO and CO₂ on bath temperature increase by oxidation of 1% C in liquid /℃

反应温度	[C] + 1/2O ₂ = CO	[C] + O ₂ = CO ₂
1 200	84	244
1 400	83	240
1 600	82	236

2.2 使用适当硅含量的铬铁

相比于 C 元素来说硅元素的发热值要高,也有关于采用加入硅铁的方式实现快速提温来弥补热量不足的报道^[6],该种方式需要额外增加硅铁的消耗成本。而所使用的铬铁中均含有硅元素,此部分硅元素一般作为杂质不参与成本计价,同时 AOD 精炼不锈钢的特性就是吹氧过程中加入铬铁合金,硅元素可以通过氧化实现放热的功效。但是,硅元素氧化所生成的 SiO₂ 需要增加石灰来平衡碱度,会导致发生过程脱碳效率低、炉衬寿命短等问题^[7]。

图 2 为实际生产过程中所使用的不同硅含量铬铁所对应的石灰消耗以及所提供的综合热量,随着铬铁中硅含量逐步增加,石灰消耗呈现先降后升的趋势,尤其是当铬铁中硅含量超过 5% 以上时,石灰消耗等呈现大幅度增加,功效适得其反。综合测算,使用含硅量为 4% 的铬铁时性价比较高,可

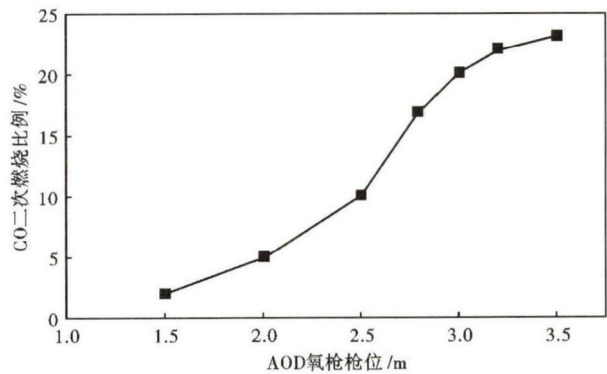


图 1 60 t AOD 枪位对 CO 二次燃烧比例的影响,氧枪流量 100 m³/min,工作氧压 1.3 MPa

Fig. 1 Effect of 60 t AOD lance level on CO post-combustion ratio, with oxygen rate 100 m³/min and working pressure 1.3 MPa

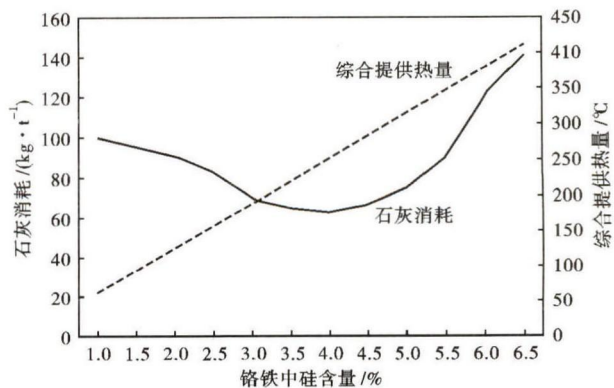


图 2 铬铁中硅含量对石灰消耗、综合提供热量的影响
Fig. 2 Effect of silicon content in ferrochrome on lime consumption and comprehensive supply of heat

向熔池内提供约 200 ℃ 的热量。

2.3 合金烘烤

合金烘烤技术是指利用燃烧气体或者废气余热作为热源来对合金进行预热,提高物体的有效物理热,同时达到降低初炼炉温度以及去除合金中水分的目的。该项技术需要额外建设专用的烘烤炉,同时对于炉均合金用量较大的脱磷铁水直兑 AOD 的工艺来说,建设费用、投资额度以及场地占用等均较大。

邢钢通过对现有场地以及设备功能利用,开发了使用转炉煤气+钢包烘烤器系统作为合金烘烤的方式。该方式下投入 3 个钢包,一个装料两个在线烘烤。由于钢包内所加合金为堆积存放中,底层合金温度热量吸收缓慢(图 3),烘烤时间不宜过长。故此,采用钢包烘烤合金时烘烤一般为 2~3 h,综合温度能够向熔池提供 200~300 ℃ 热量。

3 热补偿技术应用效果分析

在通过采用 CO 二次燃烧技术、使用适当硅含量铬铁、合金烘烤等热补偿技术后(具体参数如表 5

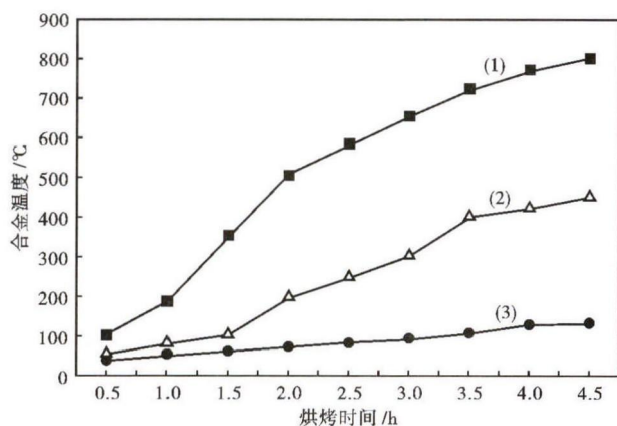


图 3 烘烤时间对上层(1)、中层(2)和底层(3)合金温度的影响

Fig. 3 Effect of Baking time on temperature of top layer (1), middle layer (2) and bottom layer (3) alloy

表 5 60 t AOD 热补偿技术应用前后工艺参数

Table 5 Process parameters for 60 t AOD before and after application of thermal compensation technology

热补偿技术	关键参数	应用前	应用后
CO 二次燃烧	氧枪枪位/m	1.5~2.5	2.8~3.3
铬铁中 Si 含量	硅含量/%	≤3.0	3.5~4.5
合金烘烤	烘烤时间/h	-	2~3
	铬铁温度/°C	25	200~300

表 6 1Cr13 钢热补偿技术应用前、后 AOD 精炼指标对比
Table 6 Comparison between AOD indexes for steel 1Cr13 refining before and after application of thermal compensation technology

热补偿技术	石灰消耗/ (kg·t ⁻¹)	硅铁消耗/ (kg·t ⁻¹)	冶炼周期/ min	还原后 S 含量/%
应用前	85	20.2	75	0.015
应用后	66	12.3	65	0.005

所示),脱磷铁水直兑 AOD 冶炼 400 系不锈钢时 AOD 的热量得到满足,AOD 的生产难度、物料消耗均明显降低,同时钢水 S 含量等质量问题也得到明显改善,如表 6 所示。

4 结论

(1)随着 AOD 精炼时氧枪枪位的提升,CO 二次燃烧比例呈上升趋势。通过工业生产实践,其枪位控制在 3 m 时 CO 二次燃烧比例能达到 20%。

(2)采用高硅含量的铬铁实现向熔池提温的方式可达到快速升温、减少硅铁消耗的目的,但是硅元素过高反而造成石灰消耗的增加,影响过程脱碳以及炉衬寿命。实践证明,铬铁中硅的最佳含量为 4%。

(3)通过工业生产实践表明,采用钢包烘烤合金的方式可行,该项技术最佳的烘烤时间控制在 2~3 h。

参考文献

- [1] 黄希祐. 钢铁冶金原理[M]. 北京:冶金工业出版社,2005:357-358.
- [2] 冯聚合. 铁水预处理与钢水炉外精炼[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:206-213.
- [3] 冯文甫,雷学东,曹红波,等. 铝镇静钢浇余渣在 AOD 炉冶炼的应用[J]. 炼钢,2015,31(3):9-12.
- [4] 金水利. 氧气转炉冶炼初期二次燃烧流场 PIV 测试研究[D]. 包头:内蒙古科技大学,2007.
- [5] 刘志昌. 氧枪[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:40.
- [6] 胡汉涛,池和冰,黄宗泽,等. AOD 全铁水冶炼不锈钢的配料模拟[J]. 钢铁研究学报,2008,20(10):6-8,12.
- [7] 冯文甫,叶凡新,马富平,等. 60 t AOD 精炼使用炉料级铬铁冶炼 400 系不锈钢的生产实践[J]. 特殊钢,2015,36(6):36-38.

叶凡新(1983-),男,硕士(2009年北京科技大学),工程师,2006年河北理工大学(本科)毕业,不锈钢工艺技术研究。
E-mail:fanxin1325@sina.com

收稿日期:2016-07-11