

EAF 留碳操作生产中、高碳钢的工艺实践

秦 军

(新疆八一钢铁股份公司板带指挥部, 乌鲁木齐 830022)

摘 要 在 70 t EAF-LF-CCM 流程生产 50CrVA、60Si2Mn、77Mn 等中、高碳钢时, EAF 炼钢过程采用 20% ~ 30% 热装铁水, 控制供氧强度, 二元渣碱度 1.8 ~ 2.8 可有效进行留碳操作。生产统计表明, EAF 留碳操作终点 C 为 0.25% ~ 0.53%, P 为 0.006% ~ 0.015%, 钢水温度 1 593 ~ 1 625 °C。EAF 留碳操作虽使冶炼周期延长 5 ~ 10 min, 但 LF 喂丝量降低 1/2 以上, 显著降低冶炼成本和提高钢水质量。

关键词 EAF 中、高碳钢 留碳操作 脱磷

Practice for Process of EAF Carbon Pick-up Operation for Production of Medium and High Carbon Steels

Qin Jun

(Xinjiang Bayi Iron and Steel Co Ltd, Wulumuqi 830022)

Abstract It is available to carry out carbon pick-up operation by using 20% ~ 30% hot metal charging, controlling oxygen blown rate and 1.8 ~ 2.8 basicity of binary slag for production of medium and high carbon steels such as 50CrVA, 60Si2Mn and 77Mn during EAF steelmaking with 70 t EAF - LF - CCM flow sheet. The production statistical data showed that with EAF carbon pick-up operation the end C of steel was 0.25% ~ 0.53%, P was 0.006% ~ 0.015%, and temperature of steel 1 593 ~ 1 625 °C. Although EAF carbon pick-up operation prolonged steelmaking period for 5 ~ 10 min, the LF feeding wire amount decreased more than 1/2, it obviously decreased melting cost and increased steel quality.

Material Index EAF, Medium and High Carbon Steel, Carbon Pick-up Operation, Dephosphorization

1 留碳操作及其优点

留碳操作工艺是指冶炼中、高碳合金钢时, 通过操作工控制吹氧量与吹氧方式, 在完成脱磷和足够的脱碳纯沸腾量以后, 把粗炼钢水中的碳控制在出钢时达到冶炼钢种要求的下限以下 0.02% ~ 0.06% 的技术, 这种工艺在出钢过程中可少增碳或者不增碳。目前超高功率电弧炉冶炼的一个特点就是采用 TPC (terminal process control) 工艺^[1], 也叫不留碳工艺。即通过提高供氧强度, 把碳和磷氧化到一个较低的水平, 使温度、成分在同一时间内达到出钢要求, 来缩短冶炼周期, TPC 技术的 EAF 一般出钢终点 [C] ≤ 0.20%。所以与 TPC 技术相比, 留碳操作工艺具有以下优点:

(1) EAF 粗炼钢水出钢的终点碳可以控制在 0.20% ~ 0.80% 之间, 可以减少增碳剂碳粉的使用量, 减少钢水由于增碳剂带入的气体和夹杂。

(2) 出钢前粗炼钢水的溶解氧浓度 [O] 可控

制在 200×10^{-6} 以内, 就可以将 [P] 脱除在 10×10^{-6} 以下, [N] 可以控制在 40×10^{-6} 以下。

(3) 由于钢中 [C] × [O] 的积在一定的温度下是一个常数, 所以留碳操作可以减少 EAF 粗炼钢水中的溶解氧的含量, 相应的减少脱氧剂的使用量, 提高合金的回收率, 降低钢水中氧化物的总数, 减轻后道工序脱氧的负担, 在与不留碳操作的同比条件下, 可以大幅度的提高钢水的质量。

与不留碳操作相比, 该操作的冶炼周期延长 5 ~ 10 min。

新疆八一钢铁股份有限公司经过 6 年的工艺实践, 目前 70 t DC-EBT-EAF 在热装铁水的条件下, 已经全面实现了留碳操作生产优质中、高碳合金钢, 在提高产品质量和降低生产成本方面, 产生了巨大的经济效益。

2 工艺控制要点

2.1 留碳操作

70 t DC EBT EAF^[2] 生产的主要钢种为:

77Mn、60Si2Mn、50CrVA、45、65、65Mn、GCr15 等。

电弧炉的留碳操作必须增加冶炼废钢原料中的配碳量,一般总配碳量在 1.4% ~ 2.5% 之间。70 t EAF 配碳有 3 种方式,即冶金焦炭、生铁、热装铁水 3 种。多年实践表明,冶金焦炭配碳有以下缺点:

(1) 焦炭带入 [N]、[H] 等气体;(2) 配碳量不稳定,难以达到目标值;(3) 带入的灰分中硫含量高,冶炼周期较长,留碳操作很难实现与后道工序之间的时间匹配。

生铁配碳具有脱磷困难和冶炼周期较长的缺点,也不适合留碳操作的要求,所以热装铁水是实现留碳操作的最佳选择。

2.2 热装铁水的比例

(1) 在不减氧操作的情况下,根据冶炼钢种的碳含量来决定是否采用高比例热装铁水(30% ~ 48% 的铁水装入量),高比例热装铁水的优点是冶炼电耗低,不足之处是要求高的脱磷等操作技能。

(2) 减氧操作的低比例热装铁水,一般热装比例在 20% ~ 30% 之间。其优点是脱磷留碳操作易于掌握,缺点是冶炼电耗较高。

2.3 留碳操作工艺对于炉渣的碱度要求

由于电弧炉脱碳反应的大部分是通过炉渣传递氧化铁来实现的^[3],炉渣的碱度和渣中氧化铁的活度对于脱磷反应有着决定性的作用,所以留碳操作工艺的三元渣碱度要求一般在 1.8 ~ 2.8 之间,实践中钢的不同成分要求与炉渣碱度的对应关系见表 1。

表 1 钢的不同成分要求与炉渣碱度的对应关系

Table 1 Relation between different composition requirement for steel and basicity of slag

化学成分/%		炉渣碱度 (CaO/SiO ₂)
[P]	[C]	
≤0.020	0.20 ~ 0.40	1.8 ~ 2.2
≤0.015	0.20 ~ 0.40	2.0 ~ 2.2
≤0.010	0.20 ~ 0.40	2.0 ~ 2.4
≤0.010	0.40 ~ 0.80	2.2 ~ 2.8
≤0.020	0.40 ~ 0.80	2.2 ~ 2.4

3 讨论分析

3.1 脱碳量和脱碳速度的确定

冶炼过程中,钢中溶解的大部分 [H]、[N] 小气泡,在压力的作用下,会进入电弧炉脱碳反应产

生的 [CO] 气泡内,在上浮出钢液后去除。实践表明,氧化期每分钟脱碳速度在 0.03% ~ 0.08% 之间,纯脱碳量 > 30% 的脱气效果最好。

3.2 留碳的基本分析和操作

电弧炉炼钢过程中,当 [C] > 0.8% 时,脱 [C] 的限制环节是供氧强度,[C] < 0.8% 时,脱 [C] 速度随 [C] 浓度的下降而降低。当 [C] 在 0.2% ~ 0.8% 时,脱 [C] 的主要制约因素是 [C] 向反应界面的扩散速度^[3],把供氧强度控制在一个合适的范围内,并且控制发泡剂碳粉的喷入量,来控制渣中氧化铁的浓度,可实现脱碳反应微弱的进行,脱磷反应的正常进行,达到留碳脱磷的目的。

操作工艺是:

(1) 采用第 1 批废钢入炉后,立即从炉顶兑入铁水,兑入铁水后氧枪伸入留钢留渣与兑入铁水组成的局部熔池吹氧,在此阶段供氧强度控制在 1 ~ 1.14 m³/(min · t) 之间,送电 3 min 左右,炉料中大部分的 [Si]、[Mn] 和部分的 [P] 首先氧化,同时达到脱碳的温度开始脱碳。其优点是熔化期的脱 [C] 量占总配 [C] 量的 30% ~ 40%,为留碳操作提供了计算依据。

(2) 熔清后不喷发泡剂碳粉,供氧强度保持在 0.9 ~ 1.14 m³/(min · t) 之间,进行吹渣脱磷操作,直到脱碳反应开始后(以除尘弯管里出现碳氧反应的黑色火焰为标准),开始喷入碳粉造泡沫渣,泡沫渣化的马恩果尼效应对于提高钢-渣界面的化学反应能力十分有利。在这一阶段,输入最大功率的电能使钢液升温,由于温度的限制,脱磷的反应将会优先进行。

(3) 在脱碳反应进行到计算的时间后(此时间可以根据热装铁水的配碳量与氧气的消耗来确定),调整吹氧量,供氧强度保持在 0.66 ~ 0.85 m³/(min · t) 之间,在冶炼电耗达到测温要求后,测温取样,如果温度低于取样要求,继续通电提温,供氧强度保持在 0.66 ~ 0.85 m³/(min · t) 之间,进行造泡沫渣埋弧提温的操作,喷入碳粉的量控制在 30 kg/min 左右,防止渣中氧化铁的浓度超过 20%。

实践证明:在碱度 > 2.0 时,供氧强度 < 0.85 m³/(min · t) 时,脱碳反应由强变弱,而脱磷反应由弱变强,当供氧强度 < 0.58 m³/(min · t) 时,吹渣操作无明显的脱碳反应。在送电达到目标要求

后,进行测温取样,如果成分合适,温度不合适,继续上述的操作,直到温度达到出钢的要求为止。在上述的操作中,如果出现明显的脱碳反应,应该立即降低供氧强度,并适当增大喷碳的速度,达到留碳的目的。

3.3 留碳操作中出现的問題及解决方法

(1)留碳过高需要脱除部分的碳。留碳过高时的脱碳操作,供氧强度保持在最大,两支自耗式氧枪直接把氧气大角度吹入钢液中,利用气-液两相间的脱碳反应搅动熔池,同时进行通电操作,以加强直流电产生的磁场对熔池的搅拌作用。诱发[C]向钢-渣界面传递的界面反应,避免渣中的氧化铁富集,防止发生每分钟脱0.10%碳的剧烈脱碳反应。在脱碳反应开始后,可以根据熔池温度,采取停电或者降低输入功率进行调节。根据脱碳量的吹氧控制计算公式(1)^[4],利用当时吹入的氧气量即可以掌握钢液的留碳量。一般情况下,[C]>0.20%时,每吹入10 m³的氧气可脱除0.01%的碳。

$$V=0.107 I\alpha \quad (1)$$

式中:V-脱[C]速度/%;I-供氧强度/(m³·min⁻¹·t⁻¹);α-氧气利用率(取40%~92%)。

(2)留碳操作中出现磷高的现象主要有两种原因:

①加入足够量的石灰,一次取样分析时[P]低,在炉温达到出钢温度后,二次取样出现[P]升高的现象,[P]高于出钢成分的要求。这是由于在电弧炉冶炼过程中存在冷区,局部熔池存在的软熔现象。软熔现象造成1540~1580℃取样期间,局部软熔区的[P]向熔池反应界面没有迁移或者迁移速度过慢造成的。在这种情况下,渣中氧化铁≤20%,供氧强度在0.58 m³/(min·t)以下的吹渣操作反应向脱磷的反应方向进行,喷碳的操作对于炉渣回磷的影响不明显。

②炉渣碱度不够,造成熔化期和氧化期前期尽管强化脱磷的操作也不能达到出钢[P]的要求。在这种情况下,最有效的留碳脱磷操作是补加石灰,为了快速成渣和脱磷的目的,采取补加石灰,同时补加50~120 kg的萤石和50~100 kg的氧化铁皮,以满足脱磷的要求,这样在低的吹氧条件下就可以达到脱磷留碳的目的。

(3)留碳操作出现磷高碳高的现象。出现这

种情况按照先脱磷后脱碳的顺序操作。补加渣料或者吹渣操作先去磷。熔池温度>1540℃时,供氧强度保持在1.1 m³/(min·t)以下,供氧强度超过此值,脱碳反应会抑制脱磷反应的进行。

4 实践结果

采用留碳操作生产中、高碳钢,降低了合金与脱氧剂的使用量,减少了增碳带入钢液的气体和夹杂,促进了LF生产的高效化。LF的喂丝量比工艺要求减少了1/2以上,各项直观消耗比工艺要求减少1/3,表2是EAF留碳操作生产中溶解氧与碳含量的实际测量对应关系,表3是冶炼弹簧钢时留碳操作终点成分控制的情况。

表2 EAF钢水中不同碳和氧的实际测量对应关系(1600℃)

Table 2 Relation between different carbon content in EAF molten steel and analyzed oxygen (1600℃)

[C]/%	[O]/10 ⁻⁶
0.10~0.20	130~170
0.20~0.30	130~145
0.30~0.50	70~90
0.50~0.60	60~70

表3 EAF留碳操作终点成分的控制与钢水温度的统计
Table 3 Statistical data of end composition and temperature of molten steel with EAF carbon pick-up operation

炉数	[C]/%	[P]/%	温度/℃
14	0.25~0.53	0.006~0.015	1593~1625

5 结论

(1)热装铁水生产中、高碳钢的留碳操作工艺,可有效提高产品的质量和降低生产成本。

(2)留碳操作的炉渣二元碱度在1.8~2.8之间。

参考文献

- 王中丙.现代电炉-薄板坯连铸连轧.北京:冶金工业出版社,2004:33
- 秦军.70 t EAF-LF冶炼低、中碳钢快速脱硫的工艺实践.特殊钢,2006,27(4):57
- 俞海明.电弧炉炼钢过程中临界碳的实测和脱碳操作实践.特殊钢,2004,25(3):54
- 王新成.电弧炉脱[S][P]和[Zn][Pb]的操作实践.特殊钢,2005,26(4):44

秦军(1974-),男,工程师,1995年重庆大学毕业,从事电弧炉炼钢与连铸工艺研究。

收稿日期:2006-05-06