

10 t 电渣炉冶炼工艺与二次电流摆动控制的应用

霍振全¹ 常立忠² 梁素霞³

(1 邢台机械轧辊集团股份有限公司, 邢台 054025; 2 钢铁研究总院, 北京 100081; 3 邢台技师学院, 邢台 054001)

摘 要 根据电渣冶金过程摆动控制原理和摆动控制的冶金模型, 采用计算机智能 PID 算法跟踪控制熔炼曲线, 对邢台机械公司 10 t 电渣炉二次电流进行摆动控制后, 电极熔化速率和重熔周期趋于稳定一致, 电渣锭质量得到明显改进, 使一级品率由原来的 75% 提高到 90%。

关键词 电渣重熔 二次电流 摆动控制 应用

Electroslag Remelting Technology of 10 t Ingot and Application of Secondary Current Swing Control

Huo Zhenquan¹, Chang Lizhong² and Liang Suxia³

(1 Xingtai Machinery and Mill Roll (Group) Corp Ltd, Xingtai 054025;

2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 3 Xingtai Technician College, Xingtai 054001)

Abstract According to principle of swing control in electroslag remelting process and metallurgy model of swing control and melting curves using computer intelligent PID calculation method to trace and control, the quality of electroslag remelting ingot improved obviously as secondary current swing control for a 10 t electroslag remelting unit at Xingtai Machinery was carried out to get constant electrode remelting rate and period, of which the first class rate increased from original 75% to 90%.

Material Index Electroslag Remelting, Secondary Current, Swing Control, Application

邢台机械轧辊集团有限公司的冷轧辊生产线, 在引进美国 Consarc 公司生产的 15 t ESR 电渣炉的基础上, 相继投产了 3 台由东北大学设计的 10 t ESR, 用来生产冷轧辊毛坯。生产实践中, 进行了 10 t ESR 电渣炉冶炼工艺的改造, 提出了电渣炉冶炼新工艺——摆动控制工艺。

1 ESR 熔炼摆动控制的冶金原理

1.1 浸入深度对电渣冶炼的影响

实际生产中, 自耗电极在渣池的浸入(插入)深度是影响电渣锭表面质量与内部质量最直接因素, 同时也是 ESR 熔炼过程中可以有效控制的因素。因此, 电极的浸入深度成为 ESR 熔炼工艺首要考虑的因素。不同的浸入深度对金属熔池的影响为:

(1) 电极浸入过浅, 即离开渣液面会造成拉弧现象, 使熔渣中的气体含量增加, 增加易氧化元素的烧损, 从而影响到钢锭的气体和夹杂物含量。同时, 使电极和渣面之间产生放电现象, 破坏稳定的电渣过程, 增大钢锭的偏析, 影响电渣锭的质量。

(2) 电极浸入过深, 将会增加自耗电极与结晶器壁的放电效果, 从而使自耗电极末端呈一种锥形,

电极底端的不平坦, 势必会造成钢液滴不能以随机的形式从电极上滴落, 造成钢锭的不均匀性。同时, 在结晶器与自耗电极的双重冷却作用下, 造成渣皮厚度的增加, 也加剧了金属熔池液相区弯月面冷却效果的不均匀, 引起钢锭表面质量的不稳定性, 造成皱皮、裹渣等缺陷。

(3) 电极稳定在熔渣的浅埋入区域, 此时电极的极间距最大, 金属熔滴经过渣池的有效行程也大, 熔滴的渣洗效果充分, 不仅可以获得良好冶金效果, 而且可以最大限度的将电能转化为冶炼的热能, 提高了电渣炉的熔炼生产效率。

要稳定地实现自耗电极浅浸入, 在电渣重熔实际生产过程中, 很难做到。因为电渣重熔是一个比较复杂的冶金过程, 随着重熔过程的进行, 渣温、渣阻等因素不断变化, 电极的浅浸入很快被破坏。Consarc 公司的生产经验证明, 电渣重熔过程中, 如果电极能够稳定在浅层区域内, 随着金属熔滴的滴落、渣池的不断热运动, 熔渣的液面将产生微小的波动, 炉口电压将会有规律的波动, 即摆动 (Swing)^[1]。对炉口电压进行摆动控制 (Swing control), 不仅可以实现稳定地控制电极的浸入深度, 而

且通过电极在浅渣层区域上升和下降,提高自耗电电极冶炼的动力学条件。在对 10 t ESR 的工艺改造过程中发现,对熔炼的二次电流进行摆动控制,同样也可以实现稳定地控制电极的浸入深度。

电极在浅渣层区域有规律的上升和下降,间接地反映出渣阻的变化;实现摆动控制后,使渣阻的变化稳定到一个范围内,从而间接有效地控制渣阻。

1.2 摆动控制的冶金模型

ESR 熔炼过程实践表明,在应用摆动控制的情况下,电极的浸入深度可实现在 0 ~ 7 mm 范围内。因此重熔电极的下端部圆锥体将变小,特别是对于大吨位、填充比 d/D (自耗电电极直径/结晶器内径) 大电渣炉熔炼,随着自耗电电极直径的增大,端部的金属熔滴源数目增多,使电极端面成为一个准平面。当电极端部在浅埋入为平面时,渣池的高温区将扩展至整个电极端部的下部,金属熔滴从每个熔滴源以一种随机的方式,更加均匀的滴落。同时因其电极的浸入深度浅,金属熔滴更加细小,增加了金属熔滴的比表面积,改善了电渣冶炼的冶金效果。

摆动控制的另一个特点,自耗电电极在浅渣层区域内实现上升和下降,既可以最大限度的发挥电弧的热效应,又可稳定地实现渣阻的变化控制(摆动控制)。其冶金物理模型如图 1。

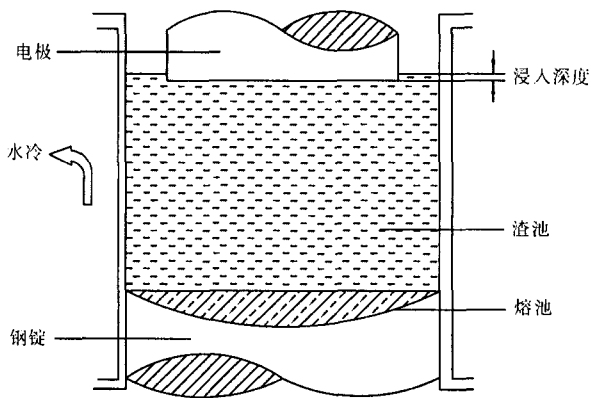


图 1 摆动控制的冶金模型

Fig. 1 Metallurgy model for swing control

2 摆动控制工艺过程的实现

在实际生产中,熔炼变压器的短网很容易受到外界因素的干扰,使炉口电压或二次电流发生波动,从而破坏电渣重熔的稳定过程。如果对熔炼的炉口电压或二次电流进行摆动控制^[2-4],可以实现电极的浸入深度控制,进而实现渣阻的闭环控制,使整个

电渣重熔的冶炼过程趋于稳定,提高电渣锭的质量。

在实际电渣冶炼中,15 t 电渣炉(ESR)的冶炼工艺主要是通过电子秤计算电极熔速,按熔速工艺曲线调节电流,实现熔速控制;采用模拟和积分电路,对炉口电压进行摆动控制,实现电极浸入深度的控制。电渣锭内部和表面的质量均可达到一级标准,是一种比较完善的熔炼控制工艺。而 10 t 电渣炉(ESR)因设备因素,冶炼工艺采用熔炼功率递减,控制电极熔速,往往因外界的干扰,电渣锭的质量不稳定;采用计算机智能 PID 算法跟踪控制熔炼曲线,对二次电流进行摆动控制后,实现熔化速度和摆动控制,即双重闭环控制,显著改善了电渣锭内部和表面的质量。

10 t ESR 具体冶炼工艺如下:

(1) 采用石墨电极化渣,交换金属电极在 ESR 熔炼初期,主要进行的是 Ramp-Up 控制阶段,即功率上升期。重熔电压和二次电流逐步提高至最大,这时熔炼功率升到最大,以快速熔化炉渣、提高渣温、稳定渣阻。

(2) 进入正常冶炼(Normal)控制阶段,根据工艺预先设定控制曲线(递减功率和熔化速度曲线),采用计算机智能 PID 算法跟踪控制熔炼曲线,控制电压和电流,间接的实现熔化速度的控制。采用二次电流的摆动控制,实际二次电流值与设定值的差值 ΔI 经放大后,输给伺服控制器,控制电极的给进速度,使电极稳定而有规律的上升下降,从而实现电极浸入深度的控制,即渣阻的闭环控制。

摆动控制的优点在于可以有效的实现渣阻的闭环控制,并结合熔速的控制,使电渣重熔有良好冶金效果和凝固结晶效果。

3 应用效果

以邢台机械轧辊公司 10 t 电渣炉为例,主要设备及生产工艺参数如下:

冶炼钢种及化学成分见表 1;变压器容量:3 150 kVA;冶炼工艺:功率递减;渣系(%):60 CaF₂ + 20 CaO + 20 Al₂O₃;渣量:500 kg;二次电流摆动控制:电流上下限波动范围 ± 250 A。

投产初期,采取功率递减工艺控制熔炼速率,未对二次电流进行摆动控制,以 20 支电渣锭^[2]进行统计分析(表 2)。

由表 2 中数据可以看出,钢锭的探伤合格率为 85%,且还有 20% 的辊坯有未超标缺陷,1 级品率为 75% (合格 x 表示有未超标缺陷存在)。

表 1 10 t 电渣炉电极的化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of electrode for 10 t ESR unit /%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
86CrMo7	0.82~0.90	0.18~0.40	0.33~0.50	≤0.018	≤0.020	1.85~2.35	0.21~0.40	≤0.25	0.07~0.15
9Cr3MoV	0.91~0.95	0.53~0.70	0.23~0.40	≤0.018	≤0.020	3.05~3.45	0.21~0.40	≤0.25	0.12~0.20
XT-30A	0.79~0.86	0.23~0.40	0.23~0.40	≤0.018	≤0.020	3.05~3.20	0.18~0.27	0.60~0.80	<0.10
XT-30B	0.79~0.86	0.63~0.90	0.23~0.40	≤0.018	≤0.020	3.05~3.20	0.18~0.27	0.60~0.80	<0.10
XT-30C	0.79~0.86	0.63~0.90	0.23~0.40	≤0.018	≤0.020	3.05~3.20	0.18~0.27	≤0.30	<0.10
XT-50C	0.81~0.86	0.63~0.80	0.23~0.40	≤0.015	≤0.015	4.85~5.15	0.41~0.60	0.60~0.80	0.12~0.20

表 2 未用二次电流摆动控制冶炼的 10 t 电渣锭质量
Table 2 Quality of 10 t ESR ingot remelting without secondary current swing control

炉次	材质	探伤情况	表面质量	等级品	冶炼周期/h	炉次	材质	探伤情况	表面质量	等级品	冶炼周期/h
9-221	XT-30C	合格	差	3	15.5	9-231	XT-30C	合格	差	1	15.0
9-222	XT-30C	合格	良	1	14.5	9-232	XT-30C	不合格	良	1	13.0
9-223	9Cr3MoV	合格 x	良	1	14.0	9-233	XT-30C	合格	良	1	14.0
9-224	9Cr3MoV	合格	良	1	13.0	9-234	XT-30C	不合格	差	3	17.5
9-225	9Cr3MoV	不合格	良	1	14.0	9-235	XT-30C	合格	良	1	15.0
9-226	XT-30C	合格	良	1	16.0	9-236	XT-30B	合格	差	3	16.0
9-227	XT-30C	合格 x	差	3	16.0	9-237	XT-30B	合格	良	1	14.0
9-228	XT-30C	合格 x	差	3	14.5	9-238	XT-30B	合格	良	1	14.0
9-229	XT-30C	合格 x	差	1	14.5	9-239	XT-30B	合格	良	1	14.5
9-230	XT-30C	合格	良	1	14.5	9-240	XT-30B	合格	良	1	13.0

表 3 用二次电流摆动控制冶炼的 10 t 电渣锭质量
Table 3 Quality of 10 t ESR ingot remelting with secondary current swing control

炉次	材质	探伤情况	表面质量	等级品	冶炼周期/h	炉次	材质	探伤情况	表面质量	等级品	冶炼周期/h
9-351	XT-50C	合格	差	3	15.0	9-361	XT-50C	合格 x	良	1	15.0
9-352	XT-50C	合格	良	1	14.5	9-362	XT-50C	不合格	良	3	15.5
9-353	XT-30A	合格	良	1	15.0	9-363	86CrMoV7	合格	良	1	14.0
9-354	XT-30A	合格	良	1	14.5	9-364	86CrMoV7	合格	良	1	15.0
9-355	XT-30A	合格	良	1	15.0	9-365	86CrMoV7	合格	良	1	15.0
9-356	XT-30A	合格	良	1	15.0	9-366	86CrMoV7	合格	良	1	16.0
9-357	XT-50C	合格	良	1	15.0	9-367	XT-50C	合格 x	良	1	14.0
9-358	XT-50C	合格	良	1	14.5	9-368	XT-50C	合格	良	1	15.0
9-359	XT-50C	合格	差	1	15.0	9-369	XT-50C	合格	良	1	14.5
9-360	XT-50C	合格 x	良	1	14.5	9-370	XT-50C	合格	良	1	15.5

后对冶炼生产工艺进行了改进,在熔炼功率递减的基础上,采取了二次电流摆动控制方式,电渣锭质量得到明显改进(表 3)。

统计分析如下:采取新工艺后,探伤合格率达到 95%,1 级品率达到 90%,电渣锭表面质量明显改善,熔化速度趋于稳定一致。

4 结论

(1)摆动控制是实现电渣冶炼渣阻闭环控制的一种间接方法,特别适合计算机自动控制,完全可以满足 10 t 电渣炉的冶炼。

(2)电渣重熔的冶炼工艺采用摆动控制,无论是炉口电压摆动还是二次电流摆动,均可获得良好表面和内部质量,应用效果明显,是一种准确而行之

有效的控制方式。

参考文献

- 1 铸钢电渣炉冶炼工艺改进 QC 小组. 10 t 电渣炉电流摆动控制冶炼法. 邢台机械轧辊集团股份有限公司, 2003
- 2 马善凯. 关于电渣炉表面摆动控制问题的研究. 东北重型机械学院学报, 1995, 19(2): 121
- 3 余强, 姜周华. 电渣炉智能控制系统的开发与应用. 2005 年全国电渣冶金学术年会论文集, 沈阳, 2005, 9: 66
- 4 李宛州, 王京春, 林艳生. 15 t 康萨克电渣炉电压摆动控制系统的改进. 特殊钢, 2005, 26(5): 42

霍振全(1971-),男,工程师,1995 年河北理工学院钢铁冶金专业毕业,从事电渣冶金研究。

收稿日期:2006-05-16