

贵钢 30t EAF - LF(VD) - CCM 工艺实践

潘江^{1,2},陈敏^{1,2},刘利¹

(1. 贵州大学 材料与冶金学院, 贵州 贵阳 550000; 2. 首钢贵阳特殊钢有限责任公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要:首钢贵阳特殊钢有限责任公司第一炼钢厂通过对 30t EBT 电弧炉、35t 精炼炉、一机一流连铸机生产的操作进行改进,成功实现了电弧炉、精炼炉、连铸机之间的顺利生产,可成功连浇 10 炉钢。同时对钢包、中间包进行改进和加强钢包的使用管理,在一炉钢的浇铸过程中,将中间包里钢水的温降控制 $\leq 15^{\circ}\text{C}$,连铸坯质量满足用户要求。

关键词: 30t EBT 电弧炉 精炼炉 连铸机 中间包 温度

中图分类号: TF76 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-6886(2011)01-0079-03

Practice of Process for 30t EBT EAF - LF(VD) - CCM at Guiyang Special Steel Co. Ltd

PAN Jiang, CHEN Ming, LIU Li

Abstract: Through improving the operation which to the 30t EBT EAF, 35t ladle furnace, the one strand continuous casting machine at No.1 steel plant, Gui Yang Special Steel Co. Ltd of Shou Gang Group, the success achieved electric arc furnace, ladle furnace, continuous casting machine between the smooth production, continuous casting 10 heats can be produced. Meanwhile, ladle, tundish to improvement and strengthen the use of management, in one heat casting process, the temperature drop of molten steel in the tundish control $\leq 15^{\circ}\text{C}$, the quality of billet met user requirements.

Key words: 30t EBT electric arc furnace; ladle furnace; continuous casting machine; tundish; temperature

首钢贵阳特殊钢有限责任公司第一炼钢厂,于 2005 年 4 月投产了一台一机一流弧型大方坯合金钢连铸机,与 30 t 电弧炉、LF(VD) 进行配合生产,经过几年的不断试验和改进,生产流程日趋稳定,产品质量稳步提高,生产的连铸坯质量完全能满足用户的要求。并经过不断完善现有产品生产工艺和进行新产品的开发,极大的提高了产品覆盖面,目前主要生产的钢有碳素结构钢(如 45 $^{\circ}$ 钢)、合金结构钢(如 40Cr、42CrMo)、弹簧钢(如 60Si $_2$ Mn)、齿轮钢(如 20CrMnTi)、轴承钢(如 GCr15)、钎具用钢(如 55SiMnMo)、易切削钢(如 1215、12L14)、工模具钢(如 T10、9Cr2Mo)等各种系列的钢种。

1 工艺流程及主要装备参数

首钢贵钢一炼钢厂中连铸生产线的工艺流程为: 30tEBT 电弧炉——35t LF 精炼炉(VD)——连铸——精整入库。主要装备及参数如表 1 及表 2 所示。

2 主要工艺要点

2.1 电弧炉、LF(VD) 精炼炉工艺

为了提高电弧炉的生产效率,缩短电弧炉冶炼时间,采用一支非自耗炉门氧枪,三支炉壁氧枪,炉门氧枪加辅助喷碳操作。出钢方式采用偏心底出钢,避免了将氧化渣出到钢包中。出钢时间约 3 min,在出钢过程中进行预

表 1 主要冶炼设备的工艺参数

项目	参数
电弧炉公称容量/t	30
电弧炉变压器容量/kVA	20 000
电弧炉座数	1
电弧炉平均出钢量/(t/炉)	35
电弧炉平均冶炼时间/min	100
LF 炉容量/t	35
LF 炉变压器容量/kVA	6 300
LF 炉座数	2
LF 炉升温速度($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	3~5
LF 炉平均精炼时间/min	110
VD 处理时间/min	40

表 2 连铸机工艺参数

项目	参数
铸机机型	柔性引锭杆全弧形连铸机
铸机流数	1 流
铸机半径/mm	15 000
铸坯规格/ mm^2	260×300, 300×400
结晶器电磁搅拌频率/Hz	2~10
结晶器电磁搅拌电流强度/A	300~600
拉速/($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	0.4~1.1
浇铸方式	全程保护浇铸
二冷比水量/($\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.10~0.50
铸机冶金长度/m	27.4

脱氧及合金化,加入顺序为脱氧剂、合金、造渣料。同时尽

可能在出钢完毕前将造渣料完全加入,以提高成渣速度,为精炼炉缩短精炼时间创造条件。

精炼炉采用白渣操作,控制渣中碱度 ≥ 2.5 ,实现钢水快速脱氧、脱硫、去夹杂。另外,为提高钢液洁净度,尤其是控制 Al_2O_3 夹杂物,在精炼过程中,按照工艺要求调好不同时期的Ar气流量,尽可能让 Al_2O_3 夹杂物在精炼过程中上浮去除,同时采用硅铝钡合金替代部份铝进行脱氧,减少 Al_2O_3 夹杂物的总量。吊包浇铸前进行钙处理,将高熔点的 Al_2O_3 夹杂物变性为低熔点的夹杂物,避免连铸水口结瘤,以利于连铸顺行。

2.2 连铸

2.2.1 保护浇铸

连铸过程中,在钢包——中间包——结晶器之间采用全程保护浇铸技术:其中在钢包——中间包之间采用长水口保护铸流;在钢包下水口与长水口之间采用氩气密封;中间包内加入中间包保护渣和保温剂进行钢水液面保护;在中间包——结晶器之间采用浸入式水口进行铸流保护;结晶器液面采用保护渣进行钢水液面保护。从而实现全程保护浇铸。

2.2.2 拉速

浇铸过程中保持中间罐内钢水温度稳定,是保证浇铸能顺利进行并能获得良好铸坯质量的前提;浇铸过程中,中间罐内钢水温度波动应尽可能控制在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内,以稳定浇铸速度,提高连铸坯质量。

2.2.3 二次冷却水

二次冷却是防止漏钢的关键,同时也是连铸坯质量好坏的关键点之一,第一炼钢厂连铸机采用3段式全气雾冷却控制方式,二次冷却水的水量是根据浇铸钢种、断面、拉坯速度以及中间包钢水温度,由PLC进行计算,并按PID闭环调节方式进行控制。

3 生产实践

3.1 生产匹配

在实际生产中,连铸每炉钢的浇铸时间约为 90 min ,与电弧炉、精炼炉冶炼周期不匹配。为了保证连浇,采用了以下措施:

1)采用连铸等待电弧炉的生产调度方法:即电弧炉出两炉钢,在第1炉钢真空处理完成,第2炉钢即将精炼完毕,同时第3炉钢在电弧炉中具备出钢条件后,即可吊包上连铸进行浇铸。

2)电弧炉采用一支炉门氧枪,三支炉壁氧枪,合理配料,以缩短电弧炉的冶炼周期。同时加大对操作人员的培训力度,提高操作技能,稳定操作工艺,经过长期实践,电弧炉的平均冶炼周期由以前的 120 min 缩短到目前的 100

min ;

3)提高操作人员的操作水平,在精炼炉进行快速调渣,提高合金调整、温度调整的命中率。因第一炼钢厂目前所冶炼的钢种中,合金含量高,并且客户对“S”含量要求很严格,在实际生产中,大部分炉回的精炼时间超过 120 min ,为解决这个问题,第一炼钢厂采用两座精炼炉配合使用。同时加大对操作人员的培训力度,提高操作技能,稳定操作工艺,经过长期实践,精炼时间可控制在 110 min 内。并且在每个浇次的后几炉钢中,配入低“P、S”原材料,以进一步降低电弧炉冶炼及LF炉精炼的时间,确保连浇顺行。

经过对电弧炉、精炼炉生产调度进行合理调整,加强对电弧炉、精炼炉操作进行标准化管理,使每炉钢的冶炼、精炼时间均处于可控范围内,连铸每个浇次的浇铸炉数从4炉提高到了10炉,生产效率大大提高,生产成本有了显著降低,直接吨钢冶炼成本下降超过 8% 。

3.2 质量控制

3.2.1 理论允许浇铸时间

根据克伦纳及塔曼经验公式:

$$T_{\max} = ((\lg G - 0.2) / 0.3) \times f$$

式中: T_{\max} ——每包钢水允许最大浇铸时间, min ;

G ——钢包钢水量, t ;

f ——质量系数,取 $f=10\sim 16$ 。

按 $G=35\text{ t}$, $f=12$ (优质钢),经计算 35 t 钢水允许的最大浇铸时间为 54 min 。

3.2.2 拉速与一炉钢水的浇铸完成时间的关系(以 $260\text{ mm}^2 \times 300\text{ mm}^2$ 为例)

表3 不同拉速下的浇铸时间(min)

钢水量 t	拉速(m/min)					
	0.5	0.6	0.65	0.8	0.9	1.0
35	115min	96min	88.5min	72min	64min	57.5min

根据表3显示,在钢水量为 35 t 情况下,生产 $260\text{ mm}^2 \times 300\text{ mm}^2$ 时,拉速必须达到 1.0 m/min ,才能有效进行浇铸,如果拉速减慢,将会因为浇铸时间过长,温降过大,中间包中钢液温度太低而断浇。

在生产初期,为了顺利进行连铸生产,采取了提高吊包温度、提高浇铸速度等办法,以保证能完整浇完每炉 35 t 的钢液。第一炼钢厂在长期的生产实践中,经过对大量连铸坯低倍检验结果及轧材进行分析比较后,发现提高拉速对铸坯内部质量带来较为严重的影响,以 $260\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 为例,当浇铸速度 $\geq 0.7\text{ m/min}$ 时,对所浇铸的连铸坯进行低倍检验,发现中心疏松和中心缩孔出现的机率大幅增加,同时中心疏松和中心缩孔的级别超过Ⅲ级的比例也大幅升高,浇铸速度对连铸坯的内部质量产生了巨大

影响。相应的,中心疏松和中心缩孔的级别超过Ⅲ级时,在轧制成材后,废品率极高。为此,必须减小连铸浇铸过程中的温降,稳定浇铸过程中中间包内钢水过热度,在保证顺利进行连铸的前提下,降低浇铸速度,以提高连铸坯质量。

3.2.3 解决方案

(1) 钢包、中间包使用管理

a) 为了减小连铸过程中的温降,加强对钢包、中间包使用管理是一个重点。因连铸浇铸时间长的生产特点,及与电弧炉、精炼炉匹配差的实际情况,连铸生产时必须要有四个钢包才能顺利进行生产。因此为了稳定浇铸过程中中间包内钢水的温度,要求这四个钢包必须均匀使用,同时利用模铸生产进行科学调配,尽可能使用热周转的红包,在使用非热周转的红包时,必须对钢包进行良好的烘烤,经过长期的摸索,要求在钢包包衬的烘烤温度达到 $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ 时,烘烤时间 $\geq 6\ \text{h}$ 。如在精炼末期钢包温降 $\leq 0.5\ ^\circ\text{C}/\text{min}$ 时,浇铸过程中中间包内钢水的温降可控制在 $10\ ^\circ\text{C}$ 以内。

b) 对中间包的烘烤温度进行有效控制:经过长期的摸索、改进,发现当中间包的烘烤温度控制在 $1\ 200\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 250\ ^\circ\text{C}$,并在此温度下保持 $1.5\ \text{h}$ 时,第一炉浇铸过程中中间包内钢水的温降大幅减小,有利于精确控制中间包内钢水的过热度。

(2) 设备

采用钢包、中间包加盖保温,以减少热辐射。在钢包、中间包中加入新型绝热材料,减少热传导。

(3) 吊包温度控制

因为连铸生产的特殊性,每炉钢浇铸时间约 $90\ \text{min}$,而在贵阳地区夏季的环境温度为约 $30\ ^\circ\text{C}$ 时,连铸平台的环境温度高达 $40\ ^\circ\text{C}$,在冬季连铸平台的最低环境温度仅为 $-2\ ^\circ\text{C}$ 。在每一包钢水的浇铸过程中,因季节不同,环境温度所影响的温降均不相同,为此,要求操作人员对不同季节的吊包温度进行 $2\ ^\circ\text{C} \sim 5\ ^\circ\text{C}$ 的微调,以在对质量影响较小的情况下顺利进行浇铸。同时,精炼时间的长短影响了钢包吸热的饱和程度,极大的影响浇铸过程的温降,需要对精炼时间进行控制,并根据精炼时间的长短对吊包温度进行 $2\ ^\circ\text{C} \sim 5\ ^\circ\text{C}$ 微调。

3.2.4 改进后连铸生产实际

经过长期的摸索,重点从以上几个方面进行改进和控制,第一炼钢厂的连铸浇铸过程中中间包的温降逐步降低,连铸坯低倍质量得到了稳步提高。

1) 浇铸过程中中间包温降;

2) 连铸坯低倍质量。

由图1,图2分析可知,在2006年生产中,温降在

$15\ ^\circ\text{C}$ 以内的炉回不到50%,而2006年一、二级坏的比例也较低,大部分月份低于80%,仅在9月份后高于80%,而且轧制的平均成材率仅为82.5%;在2007年和2008年的生产中,95%以上炉回的温降在 $15\ ^\circ\text{C}$ 以内,情况好于2006年。相应的,2007年及2008年的质量也好于2006年:2007年一、二级坏的平均比例 $\geq 95\%$,而2008年一、二级坏的平均比例 $\geq 98\%$ 。2007年和2008年轧制的平均成材率都 $\geq 94\%$ 。连铸坯的质量得到了比较有效的控制。

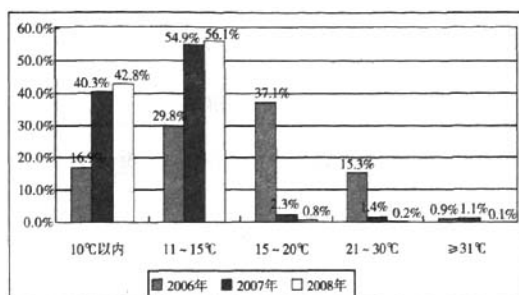


图1 一炉钢浇铸过程中中间包温降

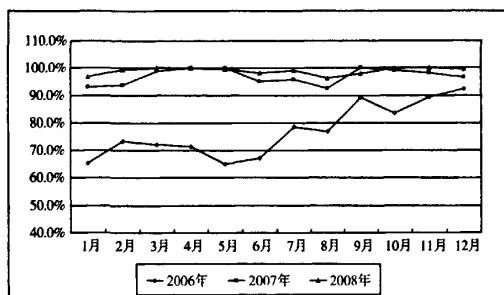


图2 一、二级连铸坯比例

4 结语

1) 采用30 tEBT 电弧炉+35 tLF 精炼炉(VD)+一机一流连铸机的生产流程完全能够实现。连浇炉数可达10炉。

2) 一机一流连铸机能够有效的进行每炉35 t钢水的浇铸。

3) 通过采取相应的措施,一机一流连铸机进行每炉35 t钢水的浇铸过程温降大部分($\geq 95\%$)能够控制在 $15\ ^\circ\text{C}$ 以内,连铸坯一、二级坏的比例 $\geq 98\%$,连铸坯的质量较好,完全满足用户的要求。

参考文献

- [1] 蔡开科等. 连续铸钢原理与工艺. 冶金工业出版社
- [2] 陈家祥等. 连续铸钢手册. 冶金工业出版社

作者简介:潘江(1970-),男,工程师,1993年北京科技大学冶金系毕业,贵州大学材料与冶金学院在职研究生,长期从事特殊钢的工艺、质量管理和产品研发等。

收稿日期:2010-11-26