

金属化球团连续炼钢生产工艺流程的探讨

重庆钢铁设计研究院 徐义新

【摘要】 根据金属化球团的特点,推荐如下的连续炼钢工艺,直接还原—熔化分离—半钢预处理—单段逆流槽式连续炼钢—炉外精炼—连铸。

【关键词】 直接还原 连续炼钢 炼钢

现代钢铁工业发展的两大课题是生产超纯净钢和大幅度简化工艺流程,向专门化、连续化、自动化和高速化方向发展。只有使从矿石到钢坯的整个生产过程连续化,才有可能充分利用连续操作方式的优点。现根据金属化球团的特点和连续炼钢工艺流程的优点,提出了如下的金属化球团连续炼钢生产工艺流程:

直接还原→熔化分离→预处理炉(或称前炉)→单段逆流槽式连续炼钢炉→炉外精炼→连铸→连轧

该流程是将矿石经破碎制成球团后,再直接还原成金属化球团、熔分、炼钢、连铸到连轧的各个工序直接连接、连续汇集成一个整体,进行同步化生产。直接还原是矿石处于固态的情况下,还原反应温度发生在低于矿石熔点以下,准确地停留在 $\text{FeO}-\text{Fe}$ 相的一端,去除其中最大量的与铁化合在一起的氧,为此金属化球团将含有矿石中的所有脉石和杂质,经熔分后脉石和杂质被分离去除,由于没有脉石的还原和氧化过程,从而避免了它给熔炼过程增添的许多复杂性和给熔炼过程带来的很多弊病。由此缓和了原料供给纯度降低、产品需求纯度要高,又要大幅简化工艺流程三者之间存在的严重矛盾,就此可以扩大其对各种品位铁矿石的适用范围。

1 直接还原

世界上优质废钢资源日益缺乏,铁矿石的储量中绝大多数是贫矿。我国贫、杂、难选

的红铁矿占铁矿石总储量的二分之一,所以,直接还原铁生产技术日益受到重视。90 年代以来,世界上直接还原铁产量以每年 10% 的幅度逐年增长。

为了得到低熔点的半钢熔液,保证半钢熔液的流动性和便于贮存,以及考虑到在连续炼钢过程中碳是唯一的发热元素,以此满足提高钢液温度和造渣等需要的热量,同时,为了达到生产多品种钢的目的,所以,就需要高而稳定的含碳量。要求球团的金属化率和含碳量稳定、均一、波动小、且能灵活、准确的加以调整、能极其准确的予以控制在任何一个数值。但含碳量与碳的存在形态相比,首先在于使碳以 Fe_3C 的稳定形态存在于球团中,当碳以铁的碳化物出现时,为熔池内的半钢熔液提供碳才是非常有效的。

根据理论应存在一个点,在该点金属化球团中的碳对除了造渣留下足够的 FeO 以外的残余 FeO 的还原是充分的,该点相应于平衡的金属化球团其值约为 96% 等效金属化,超过这一点的多余的碳将与熔池的铁结合。熔毕碳是当量金属化率的函数,熔毕碳受球团中的含碳量所控制,球团中每提高 1% 的碳,可允许降低 6% 的金属化率。

在直接还原法中,竖炉是最先进、最经济、最成功的工艺。具有生产技术成熟、设备可靠、生产率高、单炉产量大、年产量可达 180 万 t 左右,产品成本低,投资少,对环境污染轻等优点。具有使用任何质量的煤气进行操作的灵活性,最低的热能消耗,最佳的原料

利用。球团是均质的,金属化率高,具有均一的金属化率,误差为 $\pm 0.6\%$ 。可以极其准确地将含碳量调控在 $0.5 \sim 3.0\%$ 之间的任何一个值,误差为 $\pm 0.2\%$,且以 Fe_3C 形式存在。粉末率低,具有硫、磷含量极低($0.002\% \sim 0.01\% \text{S}$ 和 $0.007\% \sim 0.04\% \text{P}$)的特点等等。

在分析对比了竖炉和其他直接还原法的优缺点后,认为对于连续炼钢工艺流程来说、直接还原法选择以气体作为还原剂的竖炉是比较理想的。

目前国内使用的能源中煤占有很大的比重,为了解决煤炭运输不便,利用效率低,热效率低和环境污染严重等一系列问题,应实现煤的气化和液化。而且若能在煤的气化过程中设法回收利用煤中的有用成分—副产品,则煤气成本就能降低到可以被人们接受的程度。最近报导,德士古水煤浆制气技术取得了重大突破,煤造气技术的商业化为煤造气生产直接还原铁提供了现实的可能。

2 熔化分离

熔化分离炉炉型可以是多种多样的,不可能用单一的炉型去满足不同原材料、各种铁矿石特性的需要。钒钛金属化球团熔化分离工艺详见《中国科技发展精典文库》编号1490《攀枝花钒钛金属化球团熔化分离工艺的探讨》一文。

熔化分离炉中在铁水含碳量未饱和时,球团的熔化速度极大,总趋势是含碳量高,熔化速度快。金属化球团熔化分离过程中仅有少量的还原作用,球团是不含需要回收稀有金属元素的普通铁矿石,冶炼中仅是回收金属铁、完全用不上电弧那样的高温。因而在炉顶密闭的,在炉身下部四周熔池渣面上方设几排烧咀,射向熔池中心部位的竖式矿热炉内进行埋弧渣电阻热熔炼,能建立好的熔化条件。只要熔渣层有足够的热容量,又有烧咀连续不断的加热,就能连续不断地,及时地熔化从上部落入熔渣层中的金属化球团。

3 单段逆流槽式连续炼钢

金属化球团经熔化分离后所有的脉石大部分被去除。半钢熔液连续不断地流入预处理炉内。此时,若半钢熔液硫含量高,则可进行喂丝或喷粉脱硫处理。为了精确控制半钢熔液的温度,可进行再加热,根据熔炼金属的特性,对温度的要求等因素,可考虑选用等离子弧加热或烧咀加热等加热设备。从而可以定时、定量、定温的满足槽式连续炼钢炉的吹炼需要,保证整个工艺流程“连续、正常、稳定”地进行生产。这样可以获得硫、磷含量极低,硅、锰含量很少,碳含量约在 2.5% 左右的半钢熔液。这就大为减轻了槽式连续炼钢炉炉渣的冶金任务,就可大幅度地减少渣量,吹炼稳定。喷溅现象消除,炉衬侵蚀少,寿命长,氧气利用率已接近达到 100% 。使得在初始原料条件相同的情况下,连续炼钢炉炉膛温度比顶吹氧气转炉高 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 左右,它使我们在连续冶炼过程中有了很大的机动性和灵活性,掌握了冶炼过程的主动权。

在逆流法中,随着炉渣对钢流的逆向流动,金属流中磷、硫等杂质元素不断地向熔渣中转移,这个过程始终不会停止。也就是说,在槽式炉头部(半钢熔液入口处)含有大量杂质的初始半钢熔液与终渣相接触,该炉渣仍具有很大去除杂质的能力。而在槽式炉终端尾部(钢液流出口处)与终点钢液相接触的又是纯净的初始新渣。渣—钢逆流法具有极高的精炼效率,可达到极高的脱磷、脱硫效率。由于吹炼过程不受 Si 、 Mn 等因素的影响,使得即使在吹炼一开始的高 C 区域,仅需少量的炉渣,就可使半钢熔液顺利地进行脱 P ,而且碳高达 1% 时,就已将磷、硫分别脱去大部分,半钢熔液流到炉子中段部时, P 已降到很低。再向前流动,主要是脱碳,调整控制碳至所炼钢种规格值,这就为冶炼过程中的最终控制——调整钢液成分争得了必要的时间和空间。为此可以把吹炼过程分为二个区段、第一区段称为主吹氧阶段,其目的是把碳、磷

等杂质降到预定数值。第二区段为补充吹氧阶段,亦可称为校正吹氧阶段,其目的是对钢液成分(主要是碳)进行必要的终点控制和调整,使其达到所炼钢种的规定数值。半钢熔液不断地流入,符合要求的钢液不断地流出,每一流股的吹炼过程类似于转炉的一个吹炼周期。所以,连续炼钢过程也可以说类似于转炉冶炼周期的周而复始地,连续不断地往复循环的过程,整个过程中的各种变化是很有规律的。

这种连续炼钢生产方法,是在球团的化学成分已知情况下进行的。由于海绵铁纯度高(仅含碳、没有金属杂质、硫、磷含量也很少),成分均匀,质量稳定、化学组成几乎是固定不变的。主要是脱碳和调控碳,附带脱硫、磷,没有其他元素的相互干扰和影响。加之采用顶、底复合吹炼以后,吹炼命中率会很高,从而使得炼钢操作工从开始连续地加入球团时,就能预测炼钢终点的钢液成分。这就为生产多品种钢和连续炼钢过程的动态自动控制创造了良好的条件,生产操作的连续性可以得到更有效而可靠的保证。所以,使用只含碳的半钢熔液更可保证整个连续炼钢过程的顺利进行,就此可以说应用金属化球团的连续炼钢是连续炼钢法中最简单、易行的连续炼钢法。

槽式炉分上下二部分,下半部为耐火砖衬熔池炉体,放置在可开出式活动小车上,以利于快速更换熔池,二小车交替使用,上半部为可升降的水冷钢管炉罩。另一种方法可将上半部可升降水冷钢管炉罩悬挂在活动架上,当下半部熔池炉体需要更换时,将炉罩移离槽式炉上方,再用吊车吊换熔池炉体。

4 炉外精炼

目前,炉外精炼逐渐向简单、专用化方向发展。使其变成为单一功能的专用精炼设备,在不同的精炼容器中分别完成不同的精炼任务,以便最经济、最有效地发挥不同精炼工艺设备的作用。

半钢熔液经槽式炉吹炼后达到了钢种规格要求的含碳量时,流入钢水罐内进行合金化,并进行吹氩搅拌。随后钢液在钢水罐与中间罐之间进行钢流真空脱气处理。同时,中间罐内的钢液可进行再次加热(如等离子弧加热)和吹氩搅拌,还可喂丝脱硫,微调钢液含碳量和合金元素。由此得到的是纯洁度很高,硫、磷、有害气体、非金属夹杂物含量都很低的钢液。可严格控制钢液的过热度,可对钢液温度进行微调,使钢液在中间罐内的温度接近并稍高于液相线温度,而且十分均匀,在浇铸过程中保持微小的温度波动,使真正的等温浇铸变成了现实,这对连铸工序极为有利。

5 连续铸钢

实现炼钢——连铸——热连轧生产流程,连铸必须具备的基本条件:(1)生产无缺陷的铸坯,铸坯质量要达到高度的稳定,无清理率要达到 90% 以上。(2)能高度稳定可靠地进行联合作业。(3)各工序之间要实行计算机综合系统管理。其核心问题在一切工艺过程都要稳定。

在采用连续炼钢——连续铸钢工艺流程后,由于工序串连,彼此衔接,生产操作连贯、均衡,把炼钢操作和连铸操作紧密协调和配合起来,使炼钢炉能做到定时、定量、定温的供给连铸机所需要的钢液,满足了连铸的需要。连铸要采取防止表面裂纹,内部缺陷、夹杂物等一系列措施,确保连铸坯合格率。

现在几乎所有的优质钢和特殊钢都可以采用连铸工艺,连铸机连续化程度已经超过了炼钢和轧钢工艺。不少钢厂做到了连铸机全年无事故,连铸机整炉浇铸率达到 99%,在一个星期内进行不断流地连续浇铸,在连浇过程中能够改换断面,改变钢种,其连续化程度已经能够满足连续炼钢生产工艺的要求。多年之前,日本一些钢厂就已达到在一套 4 流方坯连铸机上连续浇铸 39 天,连浇 1129 炉的纪录。也有进行了 14 个月中连浇

6646 炉钢水不漏钢的纪录。一些钢厂已达到象轧钢机那样对连铸操作实行在中央控制室进行全部自动遥控操作。只要很好的吸取现有世界上已有的连铸技术,连铸机就能满足连续炼钢——连铸——连轧这一连续生产工艺流程的要求。

6 过程控制

金属化球团连续炼钢工艺各工序必须采用计算过程控制和在线检测系统。日本钢铁工业计算机过程控制,遍及每一道工序,包括从订货到产品出库的物料管理,质量管理,能源分配,过程操作等。

为了确保整个流程线上的机组不因局部设备事故而造成全线停产,减少设备维修和保养费,为此在整个流程线上的关键设备的关键部位必须设置设备诊断检测装置,如自动称量,液面恒定控制指示器、炉墙厚度监视报警系统和快速气体取样分析器等等。以便有计划地、及时地、更有效地进行检修和管理,保证整个工艺流程安全、可靠地运行。

纵观全流程,由于作为初始原料的金属化球团的纯度高,质量稳定、成分均匀、化学成分几乎是固定不变的。也就是说是一种精料,这就使得整个工艺流程的生产全过程也将是一个精料过程,是一个精制、精炼过程,是一个高纯洁度、高质量、高效率的过程。整个工艺过程中的可变因素少,避免了各种工

艺操作因素的相互干扰,从而大大有利于整个工艺流程达到高度的稳定性。

整个系统可采用过程控制系统进行多回路分散控制,采用以大型计算机和几台小型计算机相结合的形式,将过程计算机和管理计算机有效地结合起来,建立前后一贯的综合控制管理系统。

7 结语

金属化球团的连续炼钢生产工艺流程是一种最理想的冶金生产工艺流程。这个工艺流程在原理上是合理的,流程上是简捷的,是一种多、快、好、省的冶金生产工艺流程。

由于取消了原料、半成品、成品等的反复装卸和周转工序,整个系统装卸、运输设备,厂区占地、厂房建筑和基建投资大大减少、劳动生产率大大提高,吨钢综合能耗得到降低,精炼效率,热效率和金属收得率高,炉气回收充分,炉衬寿命长,可获得优异的综合技术经济指标。日本某钢铁厂由烧结、炼铁、炼钢到轧成材,采用直线流水作业线,全线由计算机控制、取得了很好的效果,节省劳动力 44%,成品率提高 22%,作业率提高 13%,节能 21%,计算机投资效益约为 300%。

精料对于连续冶炼生产工艺流程具有更加突出、更加重大的意义,连续炼钢是金属化球团的必由之路,是唯一正确的道路。

(上接第 51 页)

加入 3~4ml 酒石酸:以含 P 为 0.014 为例,吸光度 30 分钟以内都是 0.160,吸光度稳定不变。

冬季由于受气温的影响,显色液在加酒石酸前应在温度较高的地方,放置 5 分钟以上。

实验表明:酒石酸在 3ml 以上吸光度稳定一致,本文选 4ml 酒石酸。

e 显色液的稳定性

实验表明:在常温下吸光度在半小时以

内不变。

表 1 样品磷的分析结果

试样	原结果	测得值(n-5)
YSBC25691-93	0.014	0.0141
内样 1 #	0.025	0.0246
内样 2 #	0.0161	0.0163
内样 3 #	0.0325	0.0320

参考文献

1. 鞍钢钢铁研究所.《钢铁与原料分析》上册
- 2.《实用冶金分析——方法与基础》. 辽宁科学技术出版社