

首钢 80 t LF 辅助工艺装备的应用

杨卫中 罗伯钢 周德光 王 坚

首钢第三炼钢厂, 北京 100041

摘 要 介绍了首钢第三炼钢厂 80 t LF 辅助工艺装备的不断优化与完善, 如喂线机、电极接换平台、电极下滑平台车、吹氩增压系统、定氧仪和定氢仪等装置的应用, 大大提高 LF 炉生产品种钢的能力, 品种钢的数量由单一品种发展到目前的 118 个钢号, 品种钢的比例由 2001 年的 25.6% 提高到 2004 年的 56.4%。实践证明, 通过辅助工艺装置的应用, 保证了两座 80 t LF 炉功能的充分发挥, 产生了较大的经济效益和社会效益。

关键词 80tLF; 喂线; 电极; 定氧; 定氢; 吹氩

首钢第三炼钢厂拥有 3 座公称容量为 80 t 的氧气顶吹转炉、4 台 8 流方坯连铸机, 原设计生产能力年产钢坯 240 万 t。投产的前几年, 以生产普碳钢为主, 占总产量 90% 以上。1998 年调整产品结构, 全面优化工艺装备, 引进国外先进技术和关键设备, 建成两座 LF 钢包精炼炉, 一座 VD 真空脱气装置, 4# 铸机改造为 130 方坯品种铸机, 2# 铸机改造为 4 机 4 流可换断面的全自动矩形坯品种铸机, 形成了 2 条从铁水脱硫—转炉冶炼—LF 精炼(VD 炉真空脱气)—品种连铸机的优质钢生产线。但随着冶炼品种比例的不断增大, 因 LF 处理周期偏长等因素, 使其成为了限制性环节, 品种与规模、产量与质量之间的矛盾也十分突出。因此, 要想提高生产效率, 制造优质高效的产品, 必须树立 LF 精炼是一项系统工程的思想, 按照系统论的原理科学合理地整合精炼系统, 有效配置主辅设备。通过在 LF 系统装配喂线机、电极接换平台、电极下滑平台车、定氧仪、定氢仪和增压泵吹氩系统等装备, 实现工艺设备合理配置, 优化工艺过程。

目前 LF 的生产能力在保证上述 2 条优质钢生产线的同时, 还能为新改造的 3# 品种铸机提供部分钢水, 并且其产品质量不断提高, 品种钢产量由 1995 年的几千吨逐年增加, 2003 年品种钢产量为 134.16 万 t, 占总产量的 44.52%, 2004 年品种钢产量为 172.5 万 t, 占总产量的 56.37%。首钢第三炼钢厂已成为首钢优质线、棒材供坯的生产基地。

1 80 t LF 主要工艺设备及参数

从意大利达涅利公司引进的双工位 LF 钢包精炼炉 2 座, 变压器额定功率为 14 MVA, 最大电极工作电流 46 kA, 电极直径 $\phi 400$ mm, 电弧长度 60~90 mm, 加热炉盖由水冷排管式炉盖和预制式中心小炉盖组成, 使电极极心圆直径达到 $\phi 700$ mm, 钢水升温速率 3~5 $^{\circ}$ C/min。另外, 在加热炉盖上设置了加料孔、喂线孔、检查样门、取样孔盖和除尘孔等。每座 LF 炉配有: 3 台双孔喂线机; 钢包采用 2 块狭缝式底部透气砖; 1 台定氧仪和 1 台定氢仪。

2 喂线机的应用

为配合 LF 的精炼, 应用的喂线技术是将钢液脱氧、脱硫、增碳、易氧化元素合金化、夹杂物变性、成分微调所需的材料制成线状物(实心线或包芯线), 藉用喂线机的机械力量将其以一定的速度穿越钢渣面达到钢液深部的一种精炼技术。首钢第三炼钢厂的每座 LF 配有 3 台双孔喂线机, 型号 WX-4BF, 其主要特性参数: 喂线根数为 2 根, 喂线规格 8~16 mm, 主机行速 14 m/min, 行走电机型号 Y90L-4, 1.5 kW, 喂线电机型号 Y100L1-4, 2.2 kW。

喂线时, 可双孔同时喂, 也可单孔喂。分布在双座包工位和在线加热位, 在线加热位的喂线机主要用于喂 S 线, 钙铝铁、硅钙钡或硅钙包芯线, 产生的烟尘由包盖除尘系统排出; 双座包工

位的喂线机主要用于喂 Al 线和含 Ti、B 或 C 的包芯线，各种喂线使用情况见表 1。

表 1 喂各种包芯线和铝线的使用情况

线名称	规格/mm	芯粉重/(g·m ⁻¹)	喂线速度/(m·s ⁻¹)	元素收得率/%
CaSi 包芯线	φ10	130±5	4~6	Ca 12~25
CaAlFe 包芯线	φ10	125±5	4~6	Ca 6~15
TiFe 包芯线	φ13	510±5	3~5	Ti 70~80
BFe 包芯线	φ13	520±5	3~5	B 80~90
硫磺包芯线	φ10	120±5	4~5	S 40~70
C 包芯线	φ10	80±5	4~5	C 80~95
Al 线	φ10	210	3~4	Al 80~98

喂线机设备具有简单、投资少、工艺安全可靠、钢液降温少、无环境污染等优点，它的应用提高了合金元素的收得率，微调了成分，缩短了 LF 在加热位的时间和精炼周期，从而降低了钢的成本，提高了钢的质量。如精炼冷墩钢 ML15Al 时，用喂 Al 线代替人工加铝粒调成分 Al 时，可节约铝 30% 以上，然后喂 CaSi 包芯线处理，可使钢中脆性的 Al₂O₃ 夹杂变性，生成低熔点的易于上浮的钙铝酸盐夹杂，有利于净化钢水，减少水口堵塞，提高钢的质量。钢包喂 CaSi 线从工艺上达到两个目的，即喂线后获得较高的钙回收率以及浇铸前钢水中理想的含钙水平。

3 电极接换平台和电极下滑平台车的应用

LF 在转炉和连铸之间起到承上启下的协调作用，适宜的钢水成分、温度是连铸机浇铸过程控制拉速，保证连铸坯质量，提高多炉连浇炉数的重要前提条件之一。LF 是采用 3 根石墨电极进行加热，加热时电极插入渣层中采用埋弧加热法。在连续生产过程中，浸入渣中的电极与渣中氧化物反应不断消耗，导致电极长度不够，需要进行下滑电极和接换电极操作，打乱了 LF 的正常操作，影响其产品质量，并给正常的生产组织带来不利。

改造前：下滑电极操作采用空钢包上加钢板作为下滑电极平台，由天车将该平台吊至钢包车上，开至加热工位，进行下滑电极操作，然后将其吊出，处理时间一般需要 10~15 min 左右。接换电极操作是用天车吊电极在电极备用装置上接好电极，然后用天车将需要更换的电极从 LF 吊出放在电极备用装置上，再将接好的电极用天车回装 LF，整个过程一般需要 20~30 min。这两

个操作均要天车配合，而且常常因长时间被占用，导致下炉钢水无法按时进站，LF 周期紧张，成分、温度控制不稳定，软吹氩时间不足，吊包晚点，连铸被迫降低拉速，中间包钢水液面低下渣，过热度波动大，断浇等严重后果。为了保证 4# 品种铸机与 LF 的周期配合，只好将 4# 机浇钢流数由 8 个流减少到 6 个流，这样产量与质量均受到 LF 的制约。

为了改变上述现象，在确保 LF 精炼钢水质量的基础上，提高产量。2003 年，在每座 LF 增设电极下滑平台车和接换电极平台等设备改造，改造后可以灵活掌握下滑电极与接换电极时机，减轻了天车的负担，缩短下滑与接换电极操作的时间，接换或下滑 1 根电极只需要 2~3 min。电极能满足长时间的连续生产，充分发挥了 LF 的功能。同时软吹氩时间也得到了延长，由过去的 8~10 min 延长至 10~15 min，保证夹杂物有充分上浮的时间，提高了产品质量。LF 常炼品种硬线 80# 钢改造前后主要指标对比见表 2。

表 2 LF 精炼 80# 改造前后主要指标对比

项目	改造前	改造后	差值
铸机浇钢流数/流	6	8	+2
LF 炉周期/min	55.3	52.5	-2.8
加热时间/min	26.8	20.4	-6.4
吊包温度/℃	1531.3	1524.5	-6.8
加热工位时间/min	45.6	38.7	-6.9
软吹时间/min	9.7	13.8	+4.1
单炉冶炼电耗/kWh	3941	2978	-963
最高连浇炉数/炉	28	41	+13
结束成分 S 含量/%	0.0108	0.0076	-0.0032

目前 4# 机又由 6 流浇钢增加到 8 流浇钢，提高生产效率和产量，月产品种钢达 7.2 万 t 的水平。LF 品种钢离站成分控制 C±0.01%，Si±0.02%，Mn±0.02% 所占的比例达 96.4%，为连铸

提供温度均匀, 成分稳定, 优质纯净的钢水效果, 确保了产品质量。

4 定氧仪和定氢仪的应用

为了适应生产洁净钢的需要, 对精炼过程中钢中的氧、氢等气体的变化进行测量, 指导精炼过程控制, 确保其产品质量。首钢第三炼钢厂使用上海贺利氏电测骑士有限公司提供的定氧仪和定氢仪。

定氧设备型号为 Multi-Lab celox, 实践证明与传统的测氧法相比有如下优点:

(1) 设备简单, 不需要取样、制样设备;

(2) 把定氧头插入钢水中, 约 5~10 s 就可产生稳定的氧电势供检测仪表指示和记录, 分析过程简单;

(3) 能直接测出钢水的氧活度, 更适合精炼情况, 因为钢水和钢渣间的化学反应关系是氧活度的平衡而不是浓度的平衡;

(4) 能测出钢水中的溶解氧量, 由于后者与脱氧平衡有直接关系, 更有利于确定脱氧剂的加入量而改进脱氧操作。

如齿轮钢 20CrMnTiH 在 LF 精炼前进行定氧操作, 要求控制氧活度 $\leq 10^{-5}$, 精炼过程调 Ti 前定氧, 要求控制氧活度 $\leq 8 \times 10^{-6}$, 提高了 TiFe 中 Ti 的收得率, 并降低钢中的全氧含量, 目前达到全氧含量 $\leq 2.5 \times 10^{-5}$ 的水平。

氢是钢产生许多缺陷和造成失效的原因。氢的最有影响之一是发纹, 它们出现在 200℃ 以下, 导致钢结构裂隙断裂, 夹杂物周围和马氏体或偏析区容易形成裂纹, 在 Mn, Cr, Ni, Mo 钢中容易形成。

浸入式直读定氢仪的型号为 Multi-Lab Hydrys V3.0, 测量氢的原理不同于诸如用于温度和氧含量测量的浸入探头和测枪, 测量时间需要 45~75 s, Hydrys 探头和测枪包含气管, 而不是电气导体, 配置的探头基本上由起泡管和多孔罩组成, 氮载流气体通过气动导管和喷枪的吹管从气动装置泵出, 并通过多孔罩收集起来, 多孔罩允许通过气体气泡, 但是不允许通过熔化金属。通过测枪和气动导管的吸管, 载流气体流回气动装置, 在气动装置中, 它的氢气分压力通过传导检测器(TCD)在线检测。

定氢(Hydrys)系统是由 Electro-Nite 开发, 用于控制钢水中的氢, 对于过程控制和产品的技术

条件是理想的; 快速、精确的测定为控制和优化与限制钢水中的氢相关的工艺提供了机会; 为了解和消除吸氢的主要原因提供了最有效的工具。通过现场应用确定了影响吸氢的因素, 得出结论:

(1) 大气水分是吸氢的主要因素之一, 特别是出钢过程与大气接触, 通过渣吸入和扩散, 通过吸潮的添加剂吸入;

(2) 添加石灰、白云石等溶剂会增加钢中的氢含量, 石灰容易吸收大气中的湿气, 经常造成氢含量高的主要原因;

(3) 碱性渣保持水分的倾向大, 流体渣将其更多的氢传输给钢水;

(4) 加铁合金时氢会增加, 应将合金储存在干燥环境中以减少氢含量;

(5) 成分氧或硫高能减少吸氢, 因此低氧低硫钢更容易吸氢;

(6) 高温增加氢在钢液中的溶解度, 喂硅钙线进行钙处理后会增氢;

(7) 惰性气体搅拌, 可以达到去氢的目的;

(8) 真空脱气装置是最好的去氢设备。

如 35~42CrMo 合金结构钢对白点特别敏感, 轧制成大圆钢后出现白点的机率比较高, 最高达 35.6%。通过采用定氢仪对精炼过程进行定氢测量, 指导精炼操作, 加强对原材料的管理, 优化精炼工艺等系列措施, 出现白点的机率明显降低, 2005 年 3~5 月生产的 35~42CrMo 共 126 炉, 成材后均未发现白点缺陷。

5 吹氩增压系统的应用

钢包底吹氩是 LF 精炼工艺的关键, 良好的吹氩搅拌是 LF 精炼的特点。氩气搅拌有利于钢-渣之间的化学反应, 它可以加速钢-渣之间的物质传递; 有利于钢液的脱氧、脱硫反应的进行, 还可去除非金属夹杂物, 特别是对 Al_2O_3 类型的夹杂物上浮去除更为有利; 同时加速钢液中的温度与成分均匀, 能准确地调整化学组成, 而这对优质钢是必不可少的要求。而对透气效果的影响除与透气砖的材质性能等有关外, 供气系统的压力也是至关重要的。为解决因钢水温度低而在钢包底吹砖缝结合有冷钢层影响底吹效果的问题, 第三炼钢厂在精炼吹氩系统中增加一套氩气增压装置, 增压泵能够自动把氩气加压后储存在储气罐中备用。当 LF 使用压力为 0.8 MPa 的氩气

进行预吹氩操作时，有底吹不通情况发生，精炼操作工可以手动打开控制阀门使用储气罐中加压氩气进行底吹，当吹通后再将氩气切换至 0.8 MPa 氩气进行底吹。

5.1 主要设备参数

增压系统设备包括：1 台 ZW-0.8/8-20 型无润滑氩气增压压缩机，型式为单级双缸复动水冷式，排气量(吸入状态) 0.8(-5%) m³/min，进气/排气压力 0.8 MPa/2 MPa，电动机型号 Y225M-6 (IP23)，电动机型式为三相异步电动机，电动机功率/电压为 37 kW/380 V；1 个储气罐，容积 2 m³，耐压强度 2.5 MPa；气动活塞切断阀，公称压力 4.0 MPa，讯号压力 0.5 MPa，允许压差 4.0 MPa，切断时间 1~2 s。

5.2 工作原理

ZW-0.8/8-20 型无润滑氩气增压泵通过专用控制台采用自动常开工作模式控制其运行，当储气罐内气体压力大于设定上限值(1.7 MPa)时，增压泵自动停机；当储气罐内气体压力小于设定下限值(1.4 MPa)时，增压泵自动起动，储气罐内常备增压氩气供精炼各工作点使用。

5.3 使用效果

通过应用增压系统，取消顶吹氩操作，钢包底吹成率由 2002 年的 92.3% 提高到 2004 年 12 月的 100%，具体钢包底吹成率和倒管率见表 3，吹成率提高了 7.5%~11%；倒管率降低了

19%~28%。目前第三炼钢厂钢包底吹成率已能够满足 LF 精炼工艺要求，确保产品质量和生产顺行。

表 3 钢包底吹成率和倒管率

时间/年	底吹成率/%	倒管率/%
2002	92.3	32.5
2003	96.7	26.3
2004	99.8	5.4

6 结 语

近年来，首钢第三炼钢厂围绕完善工艺技术升级，前后实施多项攻关措施，尤其是对 80 t LF 辅助设备与技术的改造和完善，保证了两座 80 t LF 功能的充分发挥，产生了实实在在的经济效益和社会效益。产品由原来的单一品种转变为包含优质硬线钢、大规格预应力钢丝、钢绞线用钢、优质软线、优质焊条、焊丝用钢、冷镦钢、矿用钢、合结钢、齿轮钢、弹簧钢、轴承钢等 118 个牌号。2001 年实物产量 265.4 万 t，其中品种钢只有 43 个牌号约 68 万 t，所占比例为 25.6%。到了 2004 年钢坯产量增加到 306 万 t，双高产品达 172.48 万 t，双高产品比为 56.4%，其中拳头产品占双高产品的比例为 78.5%，市场竞争能力显著增强。

Application of 80 t LF auxiliary equipment in Shougang

YANG Weizhong, LUO Bogang, ZHOU Deguang, WANG Jian

No.3 Steelmaking Plant of Shougang, Beijing 100041, China

ABSTRACT Continuous optimization and perfection of 80 t LF auxiliary equipment in the No.3 Steel Making Plant of Shougang were introduced. The use of the injecting cord wire machine, electrode commutation platform, electrode glide platform machine, argon blowing supercharging system, hydrogen determinator and oxygen determinator etc, greatly increases the throuput of quality steel of LF. The amount of quality steel has been developed from simple to 118 kinds of steel grades at present and the proportions of quality steel has been increased from 25.6% in 2001 to 56.4% in 2004. It is proved that the sufficient exertion function of two 80 t LF is assured and economic benefits and society benefits are brought by the application of 80 t LF auxiliary equipment.

KEY WORDS 80 t LF; injecting cord wire; electrode; oxygen determination; hydrogen determination; argon blowing