

淮钢 80 t BOF - 90 t LF - RH - CC 流程开发特殊钢的生产实践

王忠英 仝太钦 王 前 王春波 丁 松

(江苏沙钢集团淮钢特钢有限公司, 淮安 223002)

摘 要 通过转炉采用高拉碳操作, 控制出钢 $[P] \leq 0.012\%$, 终渣碱度 2.8 ~ 3.5; 双挡渣工艺, LF 精炼渣碱度 ≥ 4 , $(TFe + MnO) \leq 1.0\%$; 应用低铝洁净钢精炼技术和含钡洁净钢生产技术专利; RH-MFB 真空处理, 连铸全程保护浇铸及二冷技术优化等措施, 淮钢开发了 127 个特钢新产品, 总氧含量 $(T[O])$: 轴承钢 $\leq 10 \times 10^{-6}$, 60Si2CrVAT 弹簧钢 $\leq 12 \times 10^{-6}$, CM490 锚链钢 $\leq 15 \times 10^{-6}$, 37Mn5 油井管坯钢 $\leq 18 \times 10^{-6}$, SAE1022A 冷镦钢和 15CrMoG 高压锅炉管坯钢 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 。

关键词 特殊钢 BOF-LF-RH-CC 流程 含钡洁净钢

Practice of Production for Development of Special Steel by 80 t BOF - 90 t LF - RH - CC Flow Sheet at Huai Steel

Wang Zhongying, Tong Taiqing, Wang Qian, Wang Chunbo and Ding Song
(Jiangsu Huai Steel Ltd Co, Shagang Group, Huai'an 223002)

Abstract With the operation measures such as BOF using catch carbon practice, controlling $[P] \leq 0.012\%$ at tapping, end slag basicity 2.8 ~ 3.5, double slag stopping operation, LF refining slag basicity ≥ 4 , $(TFe + MnO) \leq 1.0\%$, using low aluminium content refining technology and bearing barium cleanliness steel produced technology, RH-MFB vacuum treatment, complete protective casting and optimized secondary cooling technology, 127 different special steel designations have been developed at Huai Steel, the total oxygen content in bearing steel was $\leq 10 \times 10^{-6}$, spring steel 60Si2CrVAT $\leq 12 \times 10^{-6}$, mooring chain steel CM490 $\leq 15 \times 10^{-6}$, tube blank steel 37Mn5 for oil well $\leq 18 \times 10^{-6}$, cold heading steel SAE1022A and tube blank steel 15CrMoG for high pressure boiler $\leq 20 \times 10^{-6}$.

Material Index Special Steel, BOF-LF-RH-CC Flow Sheet, Bearing Barium Cleanliness Steel

江苏淮钢于 2004 年 4 月投产 1 条 80 t 转炉-90 t LF-6 机 6 流方坯连铸机生产线, 5 月即开始进行品种开发和结构调整, 到 2005 年 3 月已实现 100% 的优特钢生产, 2006 年 11 月 100 t RH 炉调试投产, 为品种开发提供了更有利的保证。在此介绍该生产线的主要装备、工艺特点及产品质量。

1 工艺流程及主要装备参数

淮钢流程为: 80 t 转炉冶炼 → 90 t LF 精炼 → 100 t RH 真空处理 → 喂线进行夹杂变性 → 方坯连铸。主要装备及技术参数如表 1 所示。

2 主要工艺特点

2.1 转炉冶炼控制

对转炉要求是控制出钢碳、磷含量和温度至规定范围, 并防止出钢过程下氧化渣。

出钢碳的控制是在综合考虑钢种碳含量、加入合金增碳量的基础上尽可能地提高出钢碳含量, 以降低冶炼终点钢液溶解氧, 提高合金和脱氧剂收得率及钢液洁净度, 为此采用高拉补吹操作工艺, 以提高出钢碳含量。

钢中磷含量取决于转炉终点磷含量和转炉下渣回磷量两个方面, 为保证成品磷 $\leq 0.018\%$, 控制出钢磷含量 $P \leq 0.012\%$, 转炉下渣回磷量 $\leq 0.006\%$ 。实际操作是根据铁水中磷含量和硅含量高低确定采用双渣操作或单渣操作, 一般磷 $\geq 0.12\%$ 和硅 $\geq 1.0\%$ 时采用双渣操作, 其余采用单渣操作。根据脱磷热力学要求炉渣高碱度、高氧化性、大渣量和低反应温度的条件, 脱磷的核心是在较低的温度下造出流动性良好的高碱性氧化渣。鉴于脱磷过程是在钢渣界面的 FeO 与钢中的磷反应, 在采用双渣操作时, 将吹炼初期温度低、FeO 和磷含量高的初渣倒出; 同时由于该渣中 SiO_2 含量也较高, 倒出后可有利于造高碱度的二次渣, 有利于进一步脱磷, 使脱磷率达 95%。在采用单渣操作时, 吹炼初期控制较高枪位, 保证炉渣中较高的 FeO 含量, 使其含量达到 18% ~ 25%, 以促使磷的氧化和石灰熔化, 尽快形成流动性良好的高氧化性和高碱度渣; 吹炼中期逐渐降低枪位, 促进碳氧反应, 控制合适温度, 确保炉渣不返干; 后期适当提高枪位, 补充一定的石灰量, 以保证炉渣高碱度和进一步降低钢中磷含量, 使终渣

表1 淮钢 BOF-LF-RH-CC 流程生产线主要装备及技术参数
Table 1 Main equipment and technical parameters of BOF-LF-RH-CC flow sheet at Huai Steel

主要装备	项目名称	技术参数
顶底复吹转炉	公称容量/t	80
	平均出钢量/t	90
	熔池深度/mm	1 293
	熔池直径/mm	4 080
	有效工作容积/m ³	79.7
LF 钢包精炼炉	冶炼周期/min	35
	公称容量/t	90
	平均处理钢水量/t	90
	变压器额定容量/MVA	18
	升温速度/(°C · min ⁻¹)	3~4
RH 真空处理装置	处理周期/min	30~40
	公称容量/t	100
	插入管内径/mm	450
	循环流量/(t · min ⁻¹)	95
	真空泵抽气能力/(kg · h ⁻¹)	600(67 Pa, 20 °C 干空气)
方坯连铸机	真空泵工作真空度/Pa	67
	极限真空度/Pa	20
	冷态抽气时间/min	<3.5(从1大气压抽至67 Pa)
	真空处理时间/min	15~20
	连铸机流数	6
	弧半径(R)/m	10.28/19
	铸坯断面/mm × mm	150 × 150, 200 × 200
	拉速范围/(m · min ⁻¹)	0.3~4
	连浇炉数	12~15 炉/中间包
	浇铸周期/min	32~36
	年产量/(万 t · a ⁻¹)	120

碱度控制在 2.8~3.5。

由于转炉终点渣中磷含量和 FeO 含量较高, 如出钢过程不能有效挡渣减少进入钢包的氧化渣量, 氧化渣中的磷随着钢水和炉渣脱氧, FeO 含量和炉渣碱度降低, 渣中的磷回到钢中。因此, 采用双挡渣工艺以减少氧化渣量, 并正在开发应用转炉出钢采用滑动水口控制下渣量的技术。

转炉出钢温度的控制是根据钢种、加入合金和渣料情况、出钢口、包况、生产节奏等酌情调整, 一般要求出钢温度 ≥ 1620 °C, 确保到 LF 的温度和合金熔化, 避免产生成分不均现象。

转炉操作的核心是依靠枪位调整, 控制熔池脱碳速度和炉渣氧化程度, 并通过加入辅助原料控制造渣工艺, 去除硫、磷等杂质。

2.2 LF-RH 双联精炼工序控制

通过采用 LF 白渣精炼, 实现钢水脱硫、脱氧, 生产超低硫钢和低氧钢, 并通过喂包芯线工艺实现窄成分控制。白渣精炼工艺要点是: (1) 挡渣出钢, 控制下渣量 ≤ 5 kg/t; (2) 钢包渣改质, 控制精炼渣碱度 $R \geq 2.5$, 渣中 (TFe + MnO) $\leq 1.0\%$; (3) 白渣精炼, 根据冶炼钢种的特点分别采用 Al_2O_3 -CaO-

SiO_2 系和 Al_2O_3 -CaO-CaF₂ 精炼渣, 控制精炼渣碱度 $R \geq 4$, 渣中 (TFe + MnO) $\leq 1.0\%$, 以保证脱硫和脱氧效果; (4) 控制 LF 内的气氛为弱还原性, 以避免炉渣再氧化; (5) 软吹弱搅拌, 避免钢液面裸露, 并保证熔池内具有较高的传质速度。

为提高钢液洁净度, 尤其是控制 Al_2O_3 夹杂比例及对其进行变性处理, 实现低过热度浇铸, 开发和应用了低铝洁净钢技术、含钡洁净钢及生产技术专利^[1]。该技术利用钡具有比铝强的脱氧能力, 比钙、镁大的密度、高的沸点、低的蒸汽压等特点, 将其加入钢中与 Al_2O_3 或 SiO_2 等形成复合夹杂, 调节夹杂物密度、熔点, 改善钢液对夹杂物的粘附性、浸润性及金属接触表面能, 从而使夹杂物易于排出; 同时, 钡是表面活性元素 (钡与钢液间的界面张力为 1626 MJ/m^2 , 比铝高约 1 倍), 易偏聚于晶界及相界, 能改变钢中碳化物及非金属夹杂的属性、形貌、数量、尺寸及分布, 强化晶界, 从而提高钢的强韧性。采用上述技术获得以下效果:

(1) 通过钡微合金化, 细化晶粒, 强化晶界, 显著提高钢的强韧性。

(2) 非真空处理情况下, 使钢中氧含量进一步降低, 弹簧钢氧含量 $\leq 12 \times 10^{-6}$, 齿轮钢氧含量 $\leq 20 \times 10^{-6}$, 达到与真空处理钢相同的氧含量效果, 但与相同条件的真空处理钢相比, 节省了真空处理费用。

(3) 通过钡的深度脱氧和夹杂物变性, 可显著提高钢洁净度, 优化夹杂分布, 使 Al_2O_3 为基的脆性氧化物夹杂变性为细小、均匀的塑性球形夹杂, 使氧化物夹杂中 Al_2O_3 的比例小于 40%, 钢中夹杂物污染程度显著降低。

(4) 使轴承钢和弹簧钢等钢种的疲劳寿命比相同氧含量的铝处理钢提高 20% 以上, 如采用本技术生产的氧含量为 8×10^{-6} 的轴承钢的疲劳寿命比相同氧含量的只经铝处理的同一钢种提高 63.5%^[2]。

(5) 降低钢中 Al_2O_3 夹杂和铝量, 有利于消除连铸水口结瘤。

淮钢 RH-MFB 真空处理装置具有: (1) 脱氢; (2) 自然脱碳、强制脱碳; (3) 真空脱氧; (4) 合金化, 精确调整钢水成分; (5) 提高钢水洁净度; (6) 调温 (化学加热)。经 RH 处理后, $[\text{H}] \leq 1.5 \times 10^{-6}$, 弹簧钢 $[\text{O}] \leq 10 \times 10^{-6}$, 齿轮钢 $[\text{O}] \leq 16 \times 10^{-6}$, 轴承钢 $[\text{O}] \leq 8 \times 10^{-6}$ 。

2.3 连铸工序控制

2.3.1 保护浇铸

钢包→中间包→结晶器采用全程保护浇铸技术,钢包→中间包采用长水口,在钢包下水口与长水口之间采用吹氩和密封垫保护,中间包加覆盖剂和保温剂;中间包→结晶器采用浸入式水口,并对中间包下水口与浸入式水口之间加密封垫;针对不同钢种特点,采用不同结晶器保护渣。

2.3.2 低过热度浇铸和配套技术

由于低过热度浇铸除使铸坯中心消除过热后完全凝固,缩短柱状晶区长度、发展等轴晶区,使坯芯成分均匀,避免中心偏析、疏松和裂纹等低倍缺陷的发展外,还具有提高生产率的作用,因此低过热度浇铸已越来越引起人们的关注。实现低过热度浇铸的关键是:(1)控制钢中夹杂物,防止低过热度浇铸过程的水口结瘤;(2)准确控制连铸过程中间包钢水温度稳定。

为控制钢中夹杂物的组成,普遍采用钙处理技术,但当钢中硫含量较高时,易形成 CaS 夹杂导致水口结瘤,并且钙处理形成的点状夹杂对轴承钢等是十分有害的。而采用低铝洁净钢技术可实现提高洁净度和优化夹杂物的双重目的。目前通过二次精炼可将钢液温度控制在 ± 5 °C 范围内,再加上低铝洁净钢控制夹杂物技术的采用,为低过热度浇铸创造了条件,一般控制过热度在 20 ~ 30 °C。

2.3.3 电磁搅拌及二冷制度优化

由于结晶器搅拌器(M-EMS)具有消除过热,促进等轴晶凝固的特点,为此根据不同钢种凝固和连铸工艺特点,选用不同的频率和搅拌电流。

对二冷配水有强冷和弱冷两种观点^[3],一种是采用比水量为 0.3 ~ 0.7 L/kg 弱冷抑制柱状晶生长,并配合低拉速以形成高等轴晶率的铸坯;二是采用高压水强冷(比水量可达 2 ~ 3 L/kg)促进柱状晶生长以减轻铸坯中心缺陷。针对准钢铸坯断面和拉速情况,对碳钢采用强冷高拉速工艺以形成全柱状晶结构,对其它钢种采用弱冷工艺。所有工艺均考虑钢坯在其液相线温度以下有一塑性骤减区,在此温度范围内,即使铸坯受到很小应力也会导致裂纹的产生,并沿晶界(柱状晶)扩展。因此,正确控制二冷段的冷却强度和喷淋水的均匀性,保护铸坯出二冷室到拉矫机前的表面温度在 950 °C 以上,可以有效防止铸坯内部裂纹的产生。

3 品种开发的主要成效和存在的问题

3.1 品种开发已取得的主要效果

2004 年 5 月至 2007 年 12 月,已累计开发新产品 127 个,主要特钢品种及质量情况如表 2 所示。

表 2 准钢 BOF-LF-RH-CC 流程生产的主要特钢产品及钢中氧含量

Table 2 Main products of special steel and oxygen content in steel produced by BOF-LF-RH-CC flow sheet at Huai Steel

品种	主要钢种	典型钢种质量特点
轴承钢	GCr15	T[O] ≤ 10 × 10 ⁻⁶
合结钢	40Cr(H)、45Cr、20CrMo(H)、35CrMo、SCM440、20CrMnTiH、40MnBH	20CrH 齿轮钢 T[O] ≤ 18 × 10 ⁻⁶
弹簧钢	60Si2Mn、60SiMnA、60Si2CrA、60Si2CrVA(T)、SAE5160H、38Si7、65Si7、50CrV4、SUP9、SUP9A、SUP7	60Si2CrVAT 弹簧钢 T[O] ≤ 12 × 10 ⁻⁶
锚链钢	CM490、CM690	CM490 锚链钢 T[O] ≤ 15 × 10 ⁻⁶
冷镦钢及硬线钢	SAE1006A、SAE1008A、SAE1010A、SAE1018A、SAE1022A、10B21、35ACr、40ACr、SWRH82B	SAE1022A 冷镦钢 T[O] ≤ 20 × 10 ⁻⁶
油井管坯钢	X42、37Mn5、30Mn2、28Mn2、25Mn2、33Mn2V、36Mn2V	37Mn5 油井管坯钢 T[O] ≤ 18 × 10 ⁻⁶
高压锅炉用管坯钢	20G、20MnG、25MnG、SA210C、T11、T22、12Cr1MoVG、15CrMoG	15CrMoG 高压锅炉管坯钢 T[O] ≤ 20 × 10 ⁻⁶

3.2 目前存在的主要问题及解决途径

(1) 现有转炉虽可采用挡渣球及挡渣锥防止大量氧化渣进入钢包,但与电弧炉偏心底出钢技术相比,其挡渣效果仍不理想,限制了钢液洁净度的进一步提高。

(2) 连铸过程由于钢包无下渣检测及控制技术,在浇铸过程极易发生钢包渣进入中间包的现象,影响到钢的质量。

(3) 下一步工作主要采用“无渣出钢转炉”专利技术,降低进入钢包中的氧化渣含量,提高钢水洁净度,以及装备和完善钢包下渣检测系统,防止钢包渣进入中间包及实现稳态浇铸。

4 结语

利用转炉冶炼具有原材料条件好、铁水纯净度和质量稳定性均优于废钢及生产效率高、消耗低等优点,并采用低铝洁净钢精炼和含钡洁净钢及生产技术专利等关键技术和连铸工艺优化,开发了部分特钢产品。为使该流程得到进一步优化,还需开发和应用无渣出钢转炉技术、钢包下渣检测及控制技术。

参考文献

- 1 王忠英,董书通,于桂玲.一种含钡洁净钢及生产方法.中国专利:ZL03153144X.8,2006
- 2 于桂玲,王忠英.轴承钢脱氧工艺优化.炼钢,2001,17(1):27
- 3 王忠英.轴承钢大方坯连铸工艺研究.钢铁研究总院博士后报告,2001,3:7

王忠英(1967-),男,博士后,教授级高工,副总经理,从事优特钢品种开发及工艺研究工作。

收稿日期:2008-01-06