

· 工艺技术 ·

260 mm × 300 mm 合金钢连铸坯质量控制集成技术的开发和应用

何庆文^{1,2} 毛成杰² 王广连^{1,2} 王福明¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 莱芜钢铁股份有限公司特殊钢厂,莱芜 271104)

摘要 简述了莱钢 50 t EAF-LF(VD)-CC 流程中合金钢 260 mm × 300 mm 连铸坯质量控制集成技术的开发和应用效果。通过合理的铸坯纯净度和全程保护浇铸,二冷动态控制的二冷工艺设备设计,工艺设备精度参数群优化,热装工艺的铸坯质量在线预报判定系统等控制技术的开发,提高了铸坯质量,钢材酸浸低倍检验合格率由 2007 年的 97.50% 提高到 2009 年的 99.01%,铸坯合格率在 99.92% 以上,成材率由原来的 96.50% 提高到 96.80%,铸坯热装率由 45% 提高到 75%。

关键词 260 mm × 300 mm 连铸坯 合金钢 50 t EAF-LF(VD)-CC 流程 质量控制 集成技术

Development and Application of Quality Control Integration Technology for 260 mm × 300 mm Concasting Bloom of Alloy Steels

He Qingwen^{1,2}, Mao Chengjie², Wang Guanglian^{1,2} and Wang Fuming¹

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Special Steel Works, Laiwu Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The effectiveness of development and application of quality control integration technology for concasting 260 mm × 300 mm bloom of alloy steels produced with 50 t EAF-LF(VD)-CC flow sheet at Laiwu Steel is briefly presented. The quality of concasting bloom is improved by development of process control technologies including suitable bloom cleanliness and protection casting, secondary cooling equipment design for dynamic control of secondary cooling, precision parameters integration optimization, and on-line prediction and qualification system for bloom quality with hot charging process. The examination qualified rate of pickled macrostructure of rolled steel products increases from 97.50% in 2007 to 99.01% in 2009, the qualified rate of bloom is more than 99.92%, the yield of products increases from original 96.50% to 96.80%, and the hot charging rate raises from 45% to 75%.

Material Index 260 mm × 300 mm Concasting Bloom, Alloy Steel, 50 t EAF-LF(VD)-CC Flow Sheet, Quality Control, Integration Technology

莱钢特殊钢厂现有 50 t EAF-50 t LF(60 t VD)-CC(R11 m,3 机 3 流)短流程炼钢生产线 1 条,产能 55 万 t/a。主要生产优质碳素结构钢、合金结构钢、齿轮钢、轴承钢、管坯钢、锚链钢等品种。通过 260 mm × 300 mm 大方坯合金钢连铸机集成技术的应用,保证了无缺陷连铸坯的生产;实现了产品质量本质化控制;为品种结构调整、提高热送热装率提供了重要的技术支撑。

1 铸坯质量控制集成技术

1.1 铸坯纯净度控制

(1)高铁水比、集束氧枪供氧技术。电弧炉采用高铁水比(60%~70%)、集束氧枪供氧技术,开发 50 t 电弧炉高铁水比例冶炼操作模型,解决了电弧炉高铁水比例(≥50%)、大块度渣钢、铁水罐帮及罐铁料型、熔清碳高、磷高、钢中铜等残余元素高影响品种生产、炉渣粘稠、冶炼周期不稳定等问题。

(2)三位一体造渣+软吹控制。电弧炉出钢位

根据钢水终点碳含量加入足量的钢芯铝、低熔点精炼渣快速成渣;LF 精炼位采用高碱度渣和智能吹氩系统降低钢水中的氧含量、同时促进夹杂物的上浮吸收,钢液中喂入硅钙线对夹杂物变性处理;VD 精炼位采用高流动性精炼渣、智能吹氩弱搅拌工艺吸收细小夹杂物,利用智能吹氩系统保证软吹时的氩气流量和软吹时间;在线配置定氢、定氧仪,实现钢水气体含量的在线适时检测,为连铸提供低氧低夹杂物钢水。

(3)提高钢包自开率和中间包液面控制。针对影响钢包自开率的因素,调整了引流砂的成分和粒度,加强了对钢包水口的维护清理等,使钢包自开率稳定在 97% 以上。

连铸工序增大中间包容量,使钢液在中间包内有较长的停留时间,从而有利于夹杂物的充分上浮;增加中间包深度,降低了旋涡的产生,改善铸坯超声波探伤缺陷。中间包工作液位稳定在 750 mm 以上;提高钢水包自开率、保证钢水包换浇时可以实现中间

包液面变化小、稳定浇铸速度。设置挡渣墙,可将钢水注入区与浇铸工作区分开,钢水注入区定期放渣,保证浇铸工作区的液面稳定,又可避免钢液卷渣。

(4) 结晶器保护渣。不断优化结晶器保护渣,结合莱钢特钢厂连铸机的特点、拉坯速度和不同钢种化学成分特点,尤其对 Q235D 包晶钢,铝、钛、硼等含量比较高的钢种如 20CrMnTiH、23MnB、35MnB 等,结晶器保护渣的碱度、黏度、熔化温度等参数严格控制,保证铸坯表面质量。

(5) 注流保护。钢包到中间包采用长水口保护浇铸,在连接处加密封垫、通入氩气密封,防止吸气。连铸中间包采用空心颗粒无碳覆盖剂,具有良好的吸附上浮非金属夹杂物的作用;且该中间包覆盖剂熔点适宜,能够迅速形成三层熔融结构,可还原氧化物含量低,有效防止钢水二次氧化。

中间包到结晶器钢流采用中间包浸入水口加保护渣、在连接处加密封垫、通入氩气密封保护方式:
① 浸入式水口使用铝碳质,铝碳质水口对钢水适应性强,使用寿命长,减少了因换水口而造成的拉速波动,确保铸坯质量。
② 浸入水口插入深度控制在 110 ~ 130 mm。
③ 浸入式水口垂直对中,使结晶器中回流均衡,减小钢流直接冲击水口壁,使浸入式水口熔损均匀,减少水口更换次数,提高铸坯质量。

1.2 二冷动态控制的二冷工艺设备设计技术

在原有设备基础上,对二冷区进行了重置,把二冷区的宽窄面水路改造成上下段水回路,增加二冷回路个数,优化二冷各回路和长度,重新配置设计喷淋环以及重新对喷嘴进行了选型以满足方坯宽窄面的冷却。

采用二冷扇形段快速更换技术。不同断面二冷二段、三段考虑与主体设备共用进行设计,二冷一段、二段采用整体框架结构,强度大,可有效防止变形,保证对弧精度和辊间距精度。

采用线外分段精确对弧,在线整体吊装,保证对弧安装精度。浇铸不同的断面,二段、三段本体不动,只需更换所需喷淋架及喷嘴,并进行位置调整即可,二段喷嘴的更换可通过喷淋架的整体更换实现。

二冷一段、二段的喷淋架布置分别改为上下两区,分区控制,采用气雾冷却。二冷一段、二段的喷淋架的上下两区,各由一路二冷配水及配气管路系统控制调节,同时控制内外弧和两个侧弧的喷嘴。二冷三段采用三组环形喷淋架分别控制,采用气雾冷却。根据冶金准则,确定了各钢种的目标表面温度,将基于目标温度控制的动态二冷模型应用于铸

机生产。

1.3 工艺设备精度参数群优化控制

(1) 结晶器液压振动和总成参数。采用弧形、双振动单元液压振动台,提高结晶器振动的稳定性和精度,改善铸坯表面质量。实现振幅、振频、负滑脱率等振动参数的在线调整。参数优化选择振幅 2.5 mm、负滑脱率 30%。

结晶器总成参数主要包括:结晶器铜管上、下口尺寸,倒锥度;结晶器铜管与内水套的水缝尺寸及均匀性,结晶器水缝精度控制在 0.3 mm 以内;结晶器足辊辊缝及对弧精度。

(2) 连铸机整体对弧精度。设计制作了结晶器、二冷一段、二冷二段线外维修对弧台架,台架的设计充分考虑与线内安装定位结构的统一,从而保障线外对弧后,线内只需整体微调即可达到结晶器、二冷段、拉矫机的在线整体对弧精度要求。结晶器、足辊、二冷一段、二段、三段的整体对弧精度控制在 0.3 mm 以内。

(3) 二冷区辊子转动保证技术及喷嘴安装。采用上海莱博斯 A04 型 TURBOLUB 油气润滑系统。系统是完整的机电一体化系统,设有完整的 PLC 电控系统。所有辊子全部采用滚动轴承,润滑采用集中油气润滑方式,保证二冷系统支撑辊、导向辊转动灵活,同时确保密排辊辊缝、辊间距的精度。延长了二冷段的使用寿命,工人劳动强度与设备运行费用显著降低,避免了因辊子不转造成划伤等铸坯质量缺陷。

莱钢特殊钢厂因生产的钢种碳含量波动比较大,尤其 GCr15 轴承钢连铸生产时采用弱冷工艺,比水量较低,与其它低、中碳钢同一浇次生产时,需要兼顾选择喷嘴型号。二冷区自上而下选用喷嘴的喷射角逐渐减小,在保证喷嘴安装对中、到铸坯表面距离参数一定的前提下,铸坯表面冷却水覆盖面积逐渐减小,避免铸坯角部冷却速度过快。

(4) 电磁搅拌器。莱钢特钢厂大方坯连铸机采用结晶器电磁搅拌(M-EMS)和凝固末端电磁搅拌(F-EMS)技术。确定了中低碳钢如 20CrMnTiH、Q235D、23MnB 等钢种和高碳钢如 65Mn、B2、GCr15 等钢种的结晶器电磁搅拌和凝固末端电磁搅拌工艺参数^[1]。

(5) 结晶器液面控制系统。结晶器液面检测采用 Cs137,放射源通过结晶器内的钢水对接受器进行照射。实现对结晶器钢水液位进行自动控制,液面控制精度 ± 2 mm。

(6) 中间包连续测温系统。采用中间包钢水在

线连续测温系统,实现对连铸钢水连续测温。采用压缩空气对测温系统进行连续冷却。连续测温系统测温 and 手动测温相比误差控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

(7) 铸坯切割定尺系统。通过优化割嘴参数和割嘴到铸坯表面距离,合理设定切割氧压力 $1.0\text{ MPa} \leq P \leq 1.5\text{ MPa}$; 保证预热氧压力,控制火切枪切割速度;控制丙烯压力,保证到割嘴的压力 P 在 $0.03 \sim 0.05\text{ MPa}$; 保证了铸坯定尺准确,端面平整。

1.4 热装热送工艺的铸坯质量在线预报判定系统

(1) 铸坯凝固温度场动态热跟踪模型。模型将铸坯从结晶器弯月面到控制区末端划分为若干个切片,每个切片都是独立的信息单元,这些信息包括切片的中心温度、表面温度、位置等。然后将所有切片串起来,就可以动态地描述出整个铸流的温度场分布,为后面进行的铸坯质量预报提供温度场数据。

(2) 大方坯质量预报神经网络模型^[2]。针对莱钢特钢大方坯连铸生产过程中经常出现的角部内裂、中心裂纹、中间裂纹和中心偏析这4种内部缺陷来建立预测模型,从而确定输出层的节点数为4,分别为Y1(中心裂纹等级)、Y2(中间裂纹等级)、Y3(角部裂纹等级)和Y4(中心偏析等级)。

根据冶金理论分析铸坯产生以上4种缺陷的原因,并结合生产实践经验和该厂连铸大方坯生产中的数据统计分析,最终确定过热度、平均拉速、比水量、拉速波动量、出结晶器坯壳厚度、出结晶器表面温度等20个输入变量,建立20-20-4结构的神经网络模型。

(3) 大方坯质量在线预报系统。将连铸生产过程中采集的各种工艺参数送入网络的相应输入单元中,利用神经网络的前向计算得到铸坯缺陷的产生情况,显示在程序预报界面上。

2 应用效果

2.1 铸坯表面和内部质量

统计大量酸浸低倍试样结果表明,连铸坯表面裂纹、缩孔、夹杂、中心疏松等缺陷显著减少,连铸坯等轴晶区达到40%以上,如表1。

表1 电磁搅拌对260 mm × 300 mm 连铸坯等轴晶率的影响
Table 1 Effect of Electromagnetic Stirring on equiaxed crystal ratio of 260 mm × 300 mm bloom

钢种	中间包温度/ $^\circ\text{C}$	拉速/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	中心疏松/级	缩孔级别/级	等轴晶率/%
20CrMnTiH	1 536	0.7	1	1	42
40Cr	1 525	0.7	1	1	46
45	1 523	0.7	1	1	48

铸坯内部组织致密,表面质量好,完全满足热送热装轧材的使用要求。连铸坯轧材后钢材酸浸低倍一次检验合格率统计结果见表2。

表2 连铸坯轧材后钢材酸浸低倍一次检验合格率
Table 2 First examination qualified rate of pickled structure of products rolled from concasting bloom

年份	总炉数	不合格炉数						占全年炉数比例/%	
		裂纹				中心疏松	中心偏析		合计
		边部	角部	中间	心部				
2007	10 547	17	50	42	114	1	40	264	2.50
2008	10 067	9	24	25	53	1	30	142	1.41
2009	10 471	5	3	6	13	4	73	104	0.99

2.2 主要经济技术指标

(1) 铸坯合格率稳定在99.92%以上。(2) 成材率由原来的96.50%提高到96.80%。(3) 铸坯热送热装率2009年比2007年提高45%,达到75%。(4) 2007年吨钢质量异议损失0.53元、2008年吨钢质量异议损失0.21元、2009年吨钢质量异议损失0.16元。(5) 满足了采用260 mm × 300 mm 连铸坯生产直径140 mm以上大规格圆钢高附加值产品生产的质量要求。

3 结论

(1) 通过研究电弧炉高铁水比配料状态下的集束氧枪供氧技术、电弧炉除尘余热蒸汽应用于VD生产和LF、VD精炼采用三位一体造渣、钢液软吹智能控制、提高钢包自开率、稳定中间包液面等技术;采用中间包覆盖剂、结晶器保护渣和注流保护控制技术实现全程保护浇铸,提高了铸坯纯净度。

(2) 通过研究二冷动态控制的大方坯连铸二冷工艺设备设计技术和结晶器保护渣性能对铸坯质量的影响,对结晶器液压振动装置等工艺设备装配精度参数群优化控制,提高了铸坯表面、内部质量。

(3) 开发基于合金钢连铸坯热装热送工艺的铸坯质量在线预报判定系统,提高了铸坯热送热装率。

参考文献

- 何庆文,王宝,王福明,等.大方坯轴承钢中心偏析的成因及预防措施.钢铁,2009,44(8):39
- 王悦新,邱以清,刘相华.连铸坯质量判定专家系统的研发.黑龙江工程学院学报,2008,22(4):44

何庆文(1968-),男,博士,高级工程师,电弧炉炼钢、连铸工艺技术研究及产品质量控制。

收稿日期:2010-11-17