

· 工艺技术 ·

淮钢特殊钢大型圆坯连铸工艺装备特点及实践

王忠英 仝太钦 刘兆方 孙志祥 叶梅珍
(江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司, 淮安 223002)

摘要 淮钢生产碳素、合金结构钢、锚链钢、轴承钢、齿轮钢及低合金高强度钢生产流程为 80 t 转炉-90 t LF-100 t RH-喂线-Φ380 ~ Φ600 mm 圆坯 CC 工艺。中间包容量 40 t, 自动控制弧形管式结晶器液面, 喷水 + 气雾 2 次冷却, M-EMS + F-EMS 电磁搅拌, 连铸机拉速 0.3 ~ 0.8 m/min, 年生产能力 120 万 t 圆铸坯。文中介绍中间包、结晶器、电磁搅拌、二次冷却的设备特点和相关工艺的优化和圆坯冶金质量的改善。

关键词 特殊钢 大型圆坯 连铸 装备 特点 工艺实践

Equipment Characteristics and Practice of Continuous Casting Process for Large Round Bloom of Special Steels at Huaigang

Wang Zhongying, Tong Taiqin, Liu Zhaofang, Sun Zhixiang and Ye Meizhen
(Huaigang Special Steel Co Ltd, Jiangsu Shasteel Group, Huai'an 223002)

Abstract The flow sheet of production for carbon and alloy structural steel, mooring chain steel, bearing steel, spring steel and HSLA steel at Huaigang is 80 t converter-90 t LF-100 t RH-wire feeding-Φ380 ~ Φ600 mm round bloom CC process. With 40 t tundish, auto control of liquid level in curved tube type mold, water spraying + fine spraying secondary cooling, M-EMS + F-EMS electromagnetic stirring and casting speed 0.3 ~ 0.8 m/min, the annual production capacity of round casting bloom is 1.2 million ton. The characteristics of equipment and relative process optimum including tundish, mold, electromagnetic stirring and secondary water cooling and the improvement of round bloom metallurgical quality are presented in this article.

Material Index Special Steel, Large Round Bloom, Casting, Equipment, Characteristic, Process Practice

江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司转炉特殊钢大圆坯连铸机是从达涅利公司引进, 于 2006 年 12 月投产, 主要生产钢种为优质碳素结构钢、合金结构钢、锚链钢、轴承钢、齿轮钢及低合金高强度钢等, 生产初期存在的主要缺陷为铸坯芯部裂纹和外部纵裂。为提高和改进大圆坯的质量, 对连铸设备、生产工艺进行研究, 并采取针对性的改进措施, 使大圆坯的内部、外部质量缺陷得到有效控制和改善。

1 工艺流程和设备参数

炼钢厂生产特钢的工艺流程为 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 → 大圆坯连铸^[1-3]。大圆坯连铸机主要技术参数如表 1。

2 主要工艺装备与技术特点

连铸机由 DANIELI 公司负责工艺设计和关键设备的详细设计, 关键设备和技术从 DANIELI 公司引进。中冶京城公司负责工厂设计和部分设备的详细转化设计。主要设备有: 钢包回转台旋转驱动装置、电动机械塞棒自动控制系统、结晶器、结晶器液位检测系统、结晶器电磁搅拌器、二冷喷淋与气-水

表 1 大圆坯连铸机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of large round bloom caster

项目	参数
机型	DANIELI-2BLC1406
连铸机流数/流	6
弧半径 R/m	14
矫直半径/mm	19/34
铸坯断面直径/mm	380, 450, 500, 600
流间距/mm	1 700
中间包容量/t	40
液面高度/mm	800
结晶器型式	弧形管式
铜管长度/mm	780
锥度	双锥度
结晶器液面控制	自动(Cs 137)
保护渣加渣方式	自动
振动装置	液压
振动行程/mm	0 ~ 20
振动频率/opm	25 ~ 250
二次冷却	喷水 + 气雾冷却
电磁搅拌	M-EMS + F-EMS
拉速范围/(m · min ⁻¹)	0.3 ~ 0.8
年设计能力/万 t	120

控制调节系统、末端电磁搅拌器、液压振动装置、拉矫机驱动装置与液压缸、火焰切割系统等。

2.1 钢包回转台

钢包回转台形状为H蝶形,在两个相互独立的钢包回转台臂上有钢包提升、下降装置,钢包提升行程为600 mm。安装可提升臂的优点是便于钢包与中间包之间的长水口保护浇注操作;控制、调节长水口的插入中间包钢水液面的深度;钢包水口不能自动打开时,便于钢包工烧氧引流。

2.2 中间包

中间包整体结构形状为三角形,该形状在中间包本体受热膨胀后可防止耐火材料附着在中间包本体上。内部设置挡渣坝、挡渣墙及水口稳流装置,确保中间包内合理的钢水流场(温度场、夹杂物上浮与分布场)。在中间包钢水注入点的两侧设置两个溢流口,其高度为850 mm,便于放渣、换渣操作,稳定和控制中间包覆盖剂的冶金效果;控制中间包的渣层厚,减少中间包钢水被污染的程度,提高连铸坯的洁净度。

2.3 电动机械塞棒系统

电动机械塞棒系统用于调节和控制中间包水口钢流,实现钢水自动浇注。开浇操作既可以由操作工手动完成,也可在操作工控制下由自动化系统完成。自动开浇通过顺序开启和关闭中间包水口完成,结晶器液位控制系统同时控制塞棒和拉矫机同步,一段时间后拉矫机按预定加速度运转,浇速达到预定值。自动浇注状态下,从液位控制系统接收到的信号经PLC处理后反馈到塞棒组件的控制电机上,浇注时浇速保持不变,通过塞棒控制结晶器钢水液面。

2.4 结晶器和足辊

管式结晶器在设计上考虑避免铜管因高温作用而产生永久性变形。否则,结晶器管变形后会造成长寿命明显缩短,并对铸坯产生较深的振痕和形状缺陷。为防止变形,高温作用下的铜管严格被限制在只能沿其纵轴上自由膨胀。

铜管与水套间隙保持在3.25 mm,保证水缝内的高速水流以降低铜管温度,避免产生水沸腾。同时,在足够水压作用下,可防止铜管壁温度过高会造成严重结垢,影响铜管的传热效果。

结晶器的自对中设计,在任何条件下都可以保证水缝绝对恒定。同时,水套安装在橡胶环上,可以在铜管上自由地进行自对中运动。

结晶器底部设有两排足辊,调节范围 ± 2.5 mm,足辊的作用是引导引锭杆进出结晶器,可以避免引锭杆划伤铜管,减少铜管磨损和降低浇注条件变化对铸坯质量造成的影响。同时,可提高铜管拉

钢量,提高铸机作业率。

2.5 液压振动台

振动台安装在冷却室外的铸机弧形半径的外侧,便于维修人员日常点检、维护和检修。振动通过液压缸完成,液压缸配有位置传感器,用以控制振动行程,其行程和波形在浇注期间可根据所浇钢种的技术参数而自动地改变。其位置传感器分辨率为0.005 mm,响应时间为0.45 ms。DANIELI 液压振动技术可以在浇注过程中修改振动频率、振动行程和振动模式以获得最佳的表面质量。实际振动曲线与理想曲线重叠,误差很小,高频、小振幅的振动参数,以保证凝固壳的充分润滑,减少振痕深度和裂纹的产生,获得稳定、良好的铸坯表面质量。

2.6 结晶器电磁搅拌系统

由 DANIELI ROTELC 公司设计制造的 M-EMS 为外置式,搅拌器线圈为3相、2极、低频旋转式,其供电电源为低频、逆变式变频器,提供了极好的搅拌器无功功率补偿,控制电流大小、电流频率和输出电流正弦波形。最大电流每相550 A,低频。输入功率LV,3相,50 Hz,最大,135 kVA(130 kW)。

使用结晶器 M-EMS 改善铸坯表面质量的作用主要在于:

(1) 钢水旋转产生的向心力可以除去凝固前沿的夹杂物。夹杂物上浮到弯月面中心可以防止进入凝固壳内,减少表面和次表面的夹杂物数量并且其沿钢坯中心断面分布更加均匀。

(2) 由于结晶器壁上的钢渣漂到弯月面中心并被收集起来,因此可防止钢渣粘接。

(3) 由于钢水运动除去凝固前沿的气泡,使次表面区域的气泡、针孔、气孔显著减少。

2.7 末端电磁搅拌系统

在固定扇形段距结晶器液面8.5~9.0 m位置处安装了F-EMS,搅拌线圈3相、2极、旋转连续/交替式,供电电源为逆变式变频器,提供了极好的搅拌器无功功率补偿,最大电流每相1100 A,低频。

2.8 二冷气雾冷却

二冷区域分为4个独立的冷却区域,每个区域由二极自动化系统单独控制。根据所浇注的圆坯的规格、拉速和钢种的不同,使用不同的冷却区域。表2为大圆坯连铸机二冷区域参数。

3 生产、质量情况与改进

3.1 生产钢种

目前生产钢种主要有优质碳素结构钢,代表钢

表 2 大圆坯连铸机二冷区域工艺参数

Table 2 Process parameters of large round bloom caster at secondary cooling zone

项目	冷却段长度/mm	喷嘴形式	喷嘴只数	最大水压/MPa	气压/MPa
1 区	300	水	2×8	0.6	-
2 区	1 400	气-水	6×4	0.6	0.20
3 区	2 000	气-水	6×4	0.6	0.20
4 区	2 000	气-水	6×4	0.6	0.20

号为 S48C、50Mn、45、20、20G、STPG370、B、JS20、JS35、JS45、CL60；合金结构钢，代表钢号为 40Cr、20CrMnTi、42CrMo、42CrMo4V、4130X、12Cr1MoVG、15CrMoG、25MnG、20MnG、St52.0、37Mn5、20Mn2、28Mn2、CM690、ASTM A350 LF-2、ASTM A105、S355K₂H；轴承钢，代表钢号为 GCr15、GCr15SiMn；低合金高强度结构钢，代表钢号为 16Mn、Q345D、Q345E、S355NL 等。连铸圆坯主要用于生产无缝钢管、环锻件和锻造齿轮坯、轴类件、法兰件、锚链扣件附件及其它机械零件等。

3.2 铸坯质量

按 YB/T4149-2006 和外方的保证值对 Φ380、Φ450、Φ500、Φ600 mm 四个规格的圆坯进行检验，结果分别如下：

(1) 铸坯尺寸公差

生产的 3 种规格铸坯实物尺寸按外方的保证值要求进行控制，具体见表 3。铸坯尺寸公差控制较好，达到保证值要求。

(2) 铸坯表面质量

按外方的保证值要求评判铸坯实物表面质量情况见表 4。

铸坯表面质量总体情况比较好，主要存在与保护渣和冷却相关的渣沟、渣坑和开裂问题。

(3) 铸坯低倍组织

按 YB/T4149-2006 中附录 A 连铸圆管坯低倍组织缺陷评级图检查铸坯低倍组织，见表 5。

铸坯低倍质量总体情况较好，98% 以上铸坯低倍无缺陷。但发现少量钢种的铸坯低倍存在皮下裂

表 3 大圆坯规格控制范围和实测值

Table 3 Control range and measured value of size of large round bloom

圆坯直径/mm	直径公差/%	不圆度/%	弯曲度		长度公差/mm
			单位弯曲度/(mm·m ⁻¹)	6 m 最长最大弯曲值/mm	
保证值	±1.25	≤1.5	≤5	25	0~+50
Φ380	-0.16~0.57	0.30~0.60	1.3~3.0	23	+(6~50)
Φ450	-0.13~0.51	0.30~0.55	1.2~2.8	22	+(1~50)
Φ500	-0.10~0.42	0.25~0.45	1.2~2.6	22	+(7~50)
Φ600	-0.15~0.41	0.22~0.43	1.0~2.9	21	+(9~50)

表 4 大圆坯实物表面质量

Table 4 Surface quality of large round bloom

规格/mm	表面无缺陷区比例/%	主要缺陷特征
保证值	≥98%	-
Φ380	98.3	表面纵裂与渣沟、渣坑
Φ450	99.1	渣沟、渣坑
Φ500	99.5	渣坑
Φ600	99.2	振痕深

表 5 大圆坯低倍组织/级

Table 5 Macrostructure of large round bloom /rating

圆坯规格/mm	中心疏松	缩孔	裂纹			皮下气泡
			中心	中间	皮下	
Φ380	0.5~1.5	0~4.0	0~3.0	0~1.5	0~1.0	0~1.0
Φ450	1.0~2.5	0~3.0	0~2.0	0~1.5	0	0
Φ500	1.0~2.5	0~2.5	0	0	0	0
Φ600	1.0~3.0	0~2.5	0	0	0	0

表 6 喷嘴气雾测试结果

Table 6 Measured results of fine spraying of nozzle

喷嘴型号	喷射角/°		流量/(L·min ⁻¹)		水流密度分布
	测试值	偏差	测试值	偏差	
1PM.021.30.21 (国产转化)	49	-11	1.87	+4%	基本对称
1PM.021.30.40 (国产转化)	51	-9	2.87	+20%	不对称
1PM.021.30.21 (外方提供)	55	-5	1.83	+2%	基本对称
1PM.021.30.40 (外方提供)	56	-4	2.72	+14%	基本对称

纹和芯部裂纹缺陷。

3.3 存在问题分析与改进

3.3.1 保护渣改进

出现的渣沟存在两种情况：

- (1) 直条渣沟，沿拉坯方向延伸，时断时续；
- (2) 螺旋渣沟，与拉坯方向成一定夹角。

铸坯存在的渣沟综合反应出铸坯在结晶器中存在冷却不均匀性问题，保护渣的熔化、润滑、结晶等性能需要进一步优化。为此，会同保护渣生产厂家，对保护渣性能开展相关研究、改进、调整工作，按钢种、断面确定了 8 种系列保护渣，以适用该厂大圆坯连铸生产的需要。

3.3.2 二冷喷嘴与布置的改进

根据铸坯表面开裂和皮下裂纹特征分析，主要是二冷冷却不均问题造成的。对外方提供的喷嘴和国产转化的喷嘴测试，确认外方提供的喷嘴和国产转化的喷嘴存在：

- (1) 使用喷嘴实际喷射角小于设计要求，两个喷嘴之间的铸坯部位存在无

表7 改进前后喷嘴参数对比

Table 7 Comparison of parameters of fine spraying nozzle before and after improvement

喷嘴布置	改进前			改进后		
	型号	流量/ (L·min ⁻¹)	喷射角/°	型号	流量/ (L·min ⁻¹)	喷射角/°
二区	1PM.021.30.40	2.4	60	D40206-04900-70510-BR	2.00	70
三区	1PM.021.30.21	1.5	60	D40206-04900-70440-BR	1.25	70
四区	1PM.021.30.21	1.5	60	D40206-04900-70400-BR	1.00	70

水覆盖死区,该区域铸坯坯壳薄、强度低,在热应力作用下容易出现开裂;

(2)喷嘴流量选型大,水压低,雾化效果变差;

(3)水流密度分布不对称,见表6。

在现有喷嘴布置不改变的情况下,对喷嘴型号重新选型,改进前后的喷嘴参数见表7。喷嘴改进后,喷嘴雾化效果良好,冷却均匀性明显得到改善,铸坯外裂与皮下裂纹问题得到消除。

外方设计喷嘴布置为内外弧和两侧交叉垂直的4个方向喷水冷却,在客观上也造成了铸坯冷却不均问题。为了改善冷却问题,有必要将原4个方向冷却增加到6个方向冷却,对喷嘴布置方式重新调整。

3.3.3 连铸钢水温度的控制

对存在芯部裂纹的CM690、Q345E等高Mn、高Al钢种炉号进行统计分析,主要为中间包前两炉,其过热度控制比较高。产生芯部裂纹的主要原因有:

(1)该类钢种铝含量比较高,钢水流动性比较差,生产班组为避免出现中间包水口絮瘤问题,人为高控开浇炉和中间包第二炉钢水过热度;

(2)在高过热度情况下,采取降低拉速操作,连铸二冷比水量相对较大,铸坯表面温度低,而凝固末端的芯部钢水仍然是高温区域,内外温差梯度较大,中心部位处于高温脆性区域,在热应力的作用下产生了芯部裂纹。

3.3.4 末端电磁搅拌参数的优化

在外方调试设备期间,按其提供的末端电磁搅拌参数生产45、25Mn钢,铸坯低倍存在白亮带问题。为了消除白亮带缺陷,针对不同钢种对连铸的配水、过热度、拉速和末端电磁搅拌等工艺参数进行综合、系统地优化,最终消除了较宽、较重的白亮带

缺陷。

4 结论

(1)准钢引进DANIELI公司的特殊钢大圆坯连铸机工艺装备性能优良,产品质量满足保证值要求。

(2)保护渣造成的圆坯渣沟问题,通过改进保护渣性能完全得到消除。根据不同钢种和断面建立相应保护渣采购标准体系,以满足特殊钢大圆坯连铸生产和保证产品质量的要求。

(3)大圆坯存在的外部开裂和皮下裂纹与使用的喷嘴参数变化与布置方式有关,通过对喷嘴重新选型、改进,铸坯冷却均匀性得到改善,消除了铸坯外裂缺陷。

(4)为消除白亮带问题,所开展的相关连铸工艺参数优化工作是有效可行的,此项工作还需要进一步细化。

参考文献

- [1] 王忠英,仝太钦,王前,等.准钢80 t BOF-90 t LF-RH-CC流程开发特殊钢的生产实践[J].特殊钢,2008,29(4):36-38.
- [2] 于桂玲,王忠英.轴承钢脱氧工艺优化[J].炼钢,2001,17(1):27-30.
- [3] 王忠英.轴承钢大方坯连铸工艺研究[R].北京:钢铁研究院博士后报告,2001.3.

王忠英(1967-),男,博士,教授级高级工程师,特殊钢产品研发及工艺研究和技术管理。

收稿日期:2013-02-22

欢迎订阅《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社