

南钢 100 t UHP EAF-LF(VD)-CC 生产 GCr15 轴承钢的工艺实践

刘 立¹ 赵俊学¹ 崔雅茹¹ 李 凯² 马征宇²

(1 西安建筑科技大学冶金工程学院,西安 710055; 2 南京钢铁联合股份有限公司,南京 210035)

摘 要 南京钢铁公司采用 100 t 高阻抗超高功率电弧炉-100 t 钢包精炼炉-5 流 150 mm × 150 mm 方坯连铸-连轧工艺生产 GCr15 轴承钢。GCr15 轴承钢生产结果统计表明,通过炉料中配入 55% ~ 70% 铁水,电弧炉出钢时碳含量 0.22% ~ 0.24%、磷含量 0.004% ~ 0.006%、硫含量 0.040% ~ 0.043%;精炼渣成分(%):53 ~ 58CaO、13 ~ 16SiO₂、15 ~ 20Al₂O₃、3 ~ 5MgO,碱度 2.3 ~ 3.3;精炼时全程吹 Ar 搅拌,67 Pa VD 处理 ≥ 20 min,连铸全程保护浇注,使真空处理后 GCr15 轴承钢平均氧含量为 10 × 10⁻⁶,铸坯中最低氧含量为 7 × 10⁻⁶。

关键词 GCr15 轴承钢 EAF-LF(VD)-CC 氧含量

Practice of Process for Bearing Steel GCr15 Produced by 100 t UHP EAF-LF(VD)-CC Flow Sheet at Nanjing Steel

Liu Li¹, Zhao Junxue¹, Cui Yaru¹, Li Kai² and Ma Zhengyu²

(1 School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055; 2 Nanjing Iron and Steel United Co Ltd, Nanjing 210035)

Abstract Bearing steel GCr15 is produced by 100 t high impedance UHP EAF steelmaking - 100 t ladle furnace refining - 5 strand 150 mm × 150 mm billet concasting - continuous rolling process at Nanjing Iron and Steel Co Ltd. The statistic results of bearing steel GCr15 production data showed that with charging 55% ~ 70% hot metal, controlling end point carbon 0.22% ~ 0.24%, phosphorus 0.004% ~ 0.006% and sulphur 0.040% ~ 0.043% in liquid steel at EAF tapping, ladle refining by slag (% :53 ~ 58CaO, 13 ~ 16SiO₂, 15 ~ 20Al₂O₃, 3 ~ 5MgO) with basicity 2.3 ~ 3.3 and whole period Ar stirring, 67 Pa VD treating ≥ 20 min, concasting with shielding practice in whole period, the average oxygen content in bearing steel GCr15 after VD treatment was 10 × 10⁻⁶, and the lowest oxygen content in cast billet was 7 × 10⁻⁶.

Material Index Bearing Steel GCr15, EAF-LF(VD)-CC, Oxygen Content

南钢电炉厂工艺流程为:100 t UHP EAF(偏心底出钢)→100 t LF(VD)→CC→铸坯轧制为 Φ20 ~ 30 mm 棒材及 Φ10 ~ 15 mm 线材,电弧炉主要技术参数见表 1。

1 电弧炉冶炼

冶炼 GCr15 轴承钢的炉料为 30% ~ 45% 废钢, 55% ~ 70% 铁水,通过增大兑入铁水的比例,有效降低了钢中残余元素和氢含量,电弧炉出钢碳含量维持在 0.22% ~ 0.49%,磷含量 0.004% ~ 0.006%,硫含量 0.040% ~ 0.050%,铜含量为 0.12% ~ 0.14%(表 2)。

出钢温度控制在 1 680 ℃ 以上,有利于保证精炼钢水的温度和脱氧脱硫等工艺操作。

2 LF 精炼

降低夹杂物的数量也就是降低钢种的氧含量^[1],改善夹杂物的性质和形态,则主要取决于精

表 1 电弧炉主要技术参数

Table 1 Main parameters of electric arc furnace

项目	参数
熔炼周期/min	45
日平均炉数	27
出钢量/t	100
炉料组成	废钢 + 铁水
电极直径/mm	550
电耗/(kWh · t ⁻¹)	410
电极消耗/(kg · t ⁻¹)	1.3
氧耗/(m ³ · t ⁻¹)	48
产量/(万 t · a ⁻¹)	70
出钢方式	偏心底出钢
投产年份	1990

表 2 电弧炉钢出钢时主要化学成分/%

Table 2 Main chemical composition of EAF steel at tapping /%

C	Mn	Si	S	P	Cu
0.22 ~ 0.49	0.03 ~ 0.05	0.01 ~ 0.04	0.040 ~ 0.050	0.004 ~ 0.006	0.12 ~ 0.14

联系人:赵俊学,教授,西安建筑科技大学冶金学院,西安 710055

炼渣的成分。适当提高渣的碱度可以提高炉渣吸附 Al_2O_3 的能力,可使钢中平衡氧降低,而且可提高硫在渣钢之间的分配比,有利于脱氧和脱硫。精炼渣碱度控制在 2.30 ~ 3.34。GCr15 钢精炼渣成分见表 3。LF 主要技术参数见表 4。

表 3 GCr15 轴承钢精炼渣主要成分/%

Table 3 Main ingredient of refining slag for bearing steel GCr15 / %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
53 ~ 58	13 ~ 16	15 ~ 20	3 ~ 5

表 4 LF 主要技术参数

Table 4 Main parameters of ladle furnace / %

项目	参数
额定处理量/t	100
电极直径/mm	400
钢包直径/mm	3 200
自由空间/mm	400
变压器容量/MVA	18
升温速度/(°C · min ⁻¹)	6
电极消耗/(kg · t ⁻¹)	0.6

电弧炉出钢时加入部分 FeAl 脱氧,出完钢后抵 LF 位根据钢水中氧含量立即喂 Al 线进行沉淀脱氧。LF 双层透气砖压力控制在 $(4.2 \sim 4.5) \times 10^5$ Pa,并保持底部氩气流量在 300 ~ 330 L/min,促进钢渣之间的反应和 Al_2O_3 生成物上浮。为防止二次氧化,精炼过程保持钢液不裸露,并控制铝含量,LF 初始 Alt 约为 0.127%,LF 精炼完毕后 Alt $\geq 0.060\%$,其它成分和温度(LF 吊包温度在 1 580 ~ 1 610 °C)合格后吊包上 VD 处理。

VD 处理时间 25 min 以上,真空保持时间 ≥ 12 min,真空度小于 67 Pa,静搅时间 ≥ 15 min,采用双透气砖吹 Ar 搅拌(静搅流量 50 L/min)可有效去除 Al_2O_3 夹杂。目前真空处理完毕后钢水中氧含量为 $(9 \sim 14) \times 10^{-6}$,氮含量在 $(32 \sim 40) \times 10^{-6}$ 之间。

3 连铸

南钢连铸设备为 150 mm × 150 mm 铸坯的 5 流连铸机(表 5),主要优化工艺措施有:

(1)在钢包→中间包采用长水口保护浇铸;钢包下水口与长水口之间采用氩封;中间包加覆盖剂;中间包→结晶器采用浸入式长水口;结晶器采用轴承钢专用保护渣。

(2)采用中间包连续测温和控制,中间包温度控制在 1 475 ~ 1 490 °C,中间包过热度第 1 炉 30 °C

表 5 方坯连铸机主要技术参数
Table 5 Main parameters of billet concaster

项目	参数
中间包容量/t	25
铸坯断面/mm × mm	150 × 150/150 × 180
流数/流	5
铸(拉)坯速度/(m · min ⁻¹)	1.2 ~ 2.2
铸坯定尺长度/m	10 ~ 12
矫直方式	三点矫直
二次冷却方式	气-雾冷却
电磁搅拌	M-EMS + F-EMS
连铸机平均作业率/%	>90
连铸机连浇铸炉数/炉	6 ~ 9
平均浇铸时间/min	50
生产能力/(万 t · a ⁻¹)	70

以下,连浇炉次过热度 ≤ 25 °C。

(3)二冷段使用气雾冷却。拉速控制在 1.2 ~ 2.2 m/s,并采用三点矫直方式。

(4)电磁搅拌采用外置式 M-EMS,置于结晶器中下部,通过铸流内钢水的运动来均匀温度,消除过热,有效改善铸坯的中心偏析,析出气体及促使夹杂物上浮,形成细小的等轴晶带,并能使铸坯获得良好的表面质量^[2]。

通过以上的主要工艺优化措施,铸坯中的氧含量最低可控制到 7×10^{-6} ,氮含量最低控制在 39×10^{-6} ,夹杂物的控制效果也比较明显,A、B、C、D 类夹杂物 ≤ 1.5 级,总量控制 ≤ 2.5 级。中心偏析 ≤ 2 级,中心疏松 ≤ 2 级。

4 结语

南钢电炉厂采用 100 t HUP-EAF-100 t LF 钢包精炼炉→100 t VD→5 机 5 流合金钢连铸机(断面 150 mm × 150 mm 及 150 mm × 180 mm)的工艺生产轴承钢,通过不断改进和优化冶炼精炼和连铸工艺,平均氧含量在 10×10^{-6} ,最低达到 7×10^{-6} ,平均氮含量在 42×10^{-6} ,最低达到 39×10^{-6} ,冶金效果好,质量完全达到 GB/T18254-2000 标准要求。

参考文献

- 于平,陈伟庆,冯军,等.高碱度渣精炼对轴承钢夹杂物的影响.特殊钢,2004,25(4):41
- 周建男.钢铁生产工艺装备新技术.北京:冶金工业出版社,2004

刘立(1983-),男,硕士研究生,2007 年西安建筑科技大学冶金工程专业毕业,炼钢炉外精炼和工艺优化研究。

收稿日期:2008-05-16