

110 t UHP EAF-LF-RH-CC 流程生产 GCr15 轴承钢的工艺实践

汪国才 龚志翔

(马鞍山钢铁股份有限公司特钢公司, 马鞍山 243000)

摘要 马钢特钢公司生产 GCr15 轴承钢的流程为 110 t UHP EBT EAF-120 t LF-RH- Φ 380 ~ Φ 600 mm 圆坯连铸工艺。通过控制 EAF 终点 $[C] \geq 0.10\%$, 下渣量 $\leq 2.0 \text{ kg/t}_{\text{钢}}$, 出钢用铝铁预脱氧; LF 终渣 ($\%$): 50 ~ 60CaO, 5 ~ 6MgO, 8 ~ 15SiO₂, 15 ~ 20Al₂O₃, RH 67 Pa 时间 $\geq 10 \text{ min}$, 连铸结晶器、铸流、凝固末端电磁搅拌等工艺措施, 使钢中总氧含量- $T[O] \leq 8 \times 10^{-6}$, Φ 130 mm 材中 A、B、C、D 夹杂物 ≤ 1.0 级, Ds 夹杂 0 级, 满足对产品冶金质量的要求。

关键词 110 t UHP EAF-LF-RH-CC GCr15 轴承钢 氧含量 工艺实践

Process Practice for Production of Bearing Steel GCr15 by 110 t UHP EAF-LF-RH-CC Flow Sheet

Wang Guocai and Gong Zhixiang

(Special Steel Co, Ma'anshan Iron and Steel Co Ltd, Ma'anshan 243000)

Abstract The flow sheet for production of bearing steel GCr15 at Special Steel Co, Masteel is 110 t UHP EBT EAF-120 t LF-RH- Φ 380 ~ Φ 600 mm round bloom CC process. By using the process measures including controlling EAF end $[C] \geq 0.10\%$, slagging down quantity $\leq 2.0 \text{ kg/t}$ steel, using ferro-aluminium to pre-deoxidize in tapping, LF end refining slag ($\%$): 50 ~ 60CaO, 5 ~ 6MgO, 8 ~ 15SiO₂, 15 ~ 20Al₂O₃, RH 67 Pa keeping $\geq 10 \text{ min}$ and electromagnetic stirring with M-EMS, S-EMS and F-EMS, the total oxygen content in steel- $T[O]$ is $\leq 8 \times 10^{-6}$ and in Φ 130 mm round products the rating of A, B, C and D series inclusions is ≤ 1.0 , and the rating of Ds series is 0, all meet the requirement on metallurgy quality of products.

Material Index 110 t UHP EAF-LF-RH-CC, Bearing Steel GCr15, Oxygen Content, Process Practice

轴承钢中夹杂物是影响轴承钢疲劳寿命的主要因素之一,而钢中全氧含量是衡量轴承钢中夹杂物数量的重要指标^[1-3]。因此,最大限度的降低轴承钢中全氧含量进而去除夹杂物是提高轴承钢疲劳寿命的有效途径。

有关试验结果表明,当钢中氧的质量分数降至 20×10^{-6} 、 15×10^{-6} 和 8×10^{-6} 时,其疲劳寿命分别是电弧炉大气下熔炼钢(氧的质量分数为 30×10^{-6}) 的 1.5、2.0、3.0 倍,接近电渣重熔钢的水平。而轴承钢 GCr15 中的氧主要是通过精炼和真空处理来去除的^[4-5]。

为了降低轴承钢中的氧含量,提高轴承钢的使用寿命,马钢特钢公司于 2012 年开始低氧轴承钢 GCr15 冶炼工艺的探索,通过不断的实践,冶炼工艺和产品质量都取得了较好的效果,钢中氧含量控制在 8×10^{-6} 以内。

1 主要装备

马钢特钢公司是一条以电弧炉、精炼、连铸、精品棒材等为主的短流程精品生产线。主要工艺装备包括:110 t 超高功率电弧炉 1 座、120 t LF 精炼炉 2

座(三工位)、RH 真空脱气炉 1 座(双工位)、五机五流圆坯连铸机 1 台。其关键技术和设备从意大利 SMS-Concast、德国 SMS-Mevac、意大利 Danieli 等公司引进,代表了当今世界先进的工艺技术装备水平,可以满足用户对中高端产品在质量、性能上的需求。马钢特钢公司生产轴承钢的主要装备参数如表 1 所示。

2 工艺路线

马钢特钢公司采用 110 t EAF-LF-RH-CCM 工艺生产 GCr15 轴承钢,以达到去除夹杂、脱氧的目的,主要工艺路线如图 1 所示。具体如下:

(1) EAF 冶炼

控制出钢碳含量 $\geq 0.10\%$, 采用偏心炉底出钢,下渣量小于 $2.0 \text{ kg/t}_{\text{钢}}$, 出钢采用铝铁预脱氧;

(2) LF 精炼

为了尽可能降低钢中的氧含量,采用高碱度渣精炼。LF 终渣成分如表 2 所示;同时采用扩散脱氧的方式,使钢中的不稳定氧化物降低至 1.5% 以下。

(3) RH 精炼

高真空度下保持 10 min 以上,确保夹杂物充分

表 1 马钢特钢公司轴承钢生产主要装备参数

Table 1 Main parameter of units for production of bearing steel at Special Steel Co, Masteel

装备	项目	参数
EAF	电弧炉公称容量/t	110
	电弧炉平均出钢量/t	120
	变压器容量/MVA	100
	炉壁氧枪数量/把	6
LF	额定处理容量/t	120
	最大处理容量/t	130
	最小处理容量/t	80
	钢液升温速度/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	≥ 4.5
	电极直径/mm	450(UHP)
RH	真空槽内径/mm	1 732
	浸渍管内径/mm	500
	顶枪加热范围/ $^{\circ}\text{C}$	20 ~ 1 450
	极限真空度/Pa	67
CCM	流数	5
	矫直方法	3 点矫直
	浇铸方式	浸入式浇铸
	电磁搅拌	M + S + F-EMS
	浇铸断面/mm	$\Phi 380$ 、 $\Phi 450$ 、 $\Phi 600$
	二次冷却	气雾
	钢包回转台	钢包回转台带有升降和称重系统
	中间包车	中间罐车带有升降和称重系统

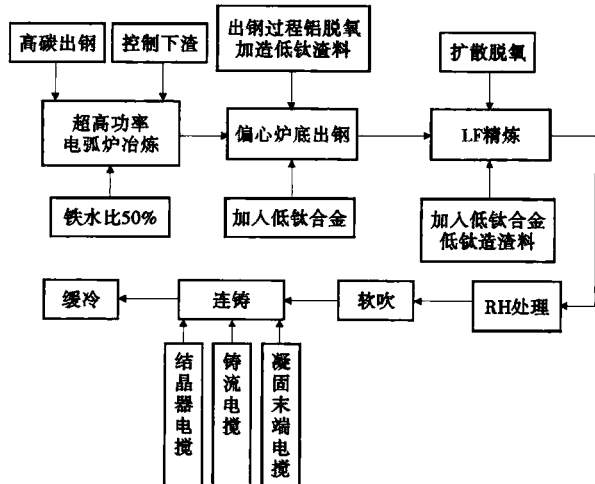


图 1 马钢特钢公司 GCr15 轴承钢生产工艺路线

Fig. 1 Flow sheet for production of bearing steel GCr15 at Special Steel Co, Masteel

表 2 LF 精炼终渣组成 /%

Table 2 Ingredient of LF refining end slag /%

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
50 ~ 60	5 ~ 6	8 ~ 15	15 ~ 20

上浮,同时降低钢中的氮、氢含量;精炼完成后保持适当时间的软吹,软吹氩强度以渣面微动不露钢液面为宜,保证钢水的纯净度和可浇性。

(4) 连铸

连铸采用低拉速浇注;采用结晶器、铸流、凝固末端3段电磁搅拌,搅拌频率为2 ~ 10Hz,电流在

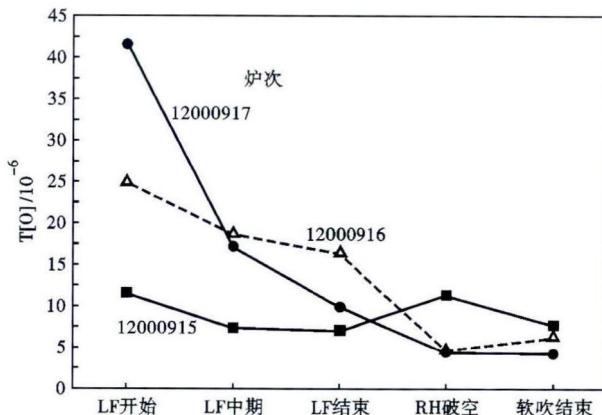


图 2 GCr15 轴承钢各工序钢液 T[O] 的变化

Fig. 2 Change of T[O] of bearing steel GCr15 in steelmaking sequence

300 ~ 1 000 A。

3 冶炼过程氧含量的变化

为了研究 GCr15 轴承钢中夹杂物的形成以及变化规律,对 GCr15 轴承钢电弧炉炼钢全过程取样,通过各种检测方法分析了 GCr15 轴承钢中的 T[O] 变化。

3.1 冶炼过程氧的变化规律

在一定程度上,钢液中的总氧量 T[O] 代表了氧化物夹杂的数量,其值大小一般作为钢液纯净度非常有效的评价指标。试验各工序钢液 T[O] 平均值变化如图 2 所示。

从图 2 看出,在 LF 精炼中期,钢液中 T[O] 降低至 $\leq 17 \times 10^{-6}$,再经过 RH 精炼软吹氩后,钢中 T[O] 均 $\leq 8 \times 10^{-6}$,具体 LF-RH-软吹后钢中 T[O] 稳步下降的分析如下:

(1) 对于 12000915 炉,LF 处理前,钢液中 T[O] 为 12×10^{-6} ,LF 精炼中期为 7.3×10^{-6} ,精炼末期为 7.0×10^{-6} ,几乎不变;RH 破真空后钢中 T[O] 为 11.2×10^{-6} ,软吹结束后钢中 T[O] 为 7.6×10^{-6} 。

LF 精炼后钢液中的 T[O] 下降 5×10^{-6} ,下降率为 41.7%,表明 LF 精炼脱氧效果明显。LF 精炼结束后钢水进入 RH 工位进行真空处理,RH 破真空后,T[O] 反而增加 4×10^{-6} ,说明在初始氧含量已经很低的情况下 RH 过程可能将渣中的夹杂物卷入钢水中。然后在软吹阶段,T[O] 又下降了 3.6×10^{-6} ,降低率为 32.25%。这主要是由于在软吹阶段钢水中的氩气小气泡将钢水中的夹杂物带入渣中,从而降低了钢水的全氧含量。

(2) 对于 12000916 和 12000917 炉,尽管 LF 处理前全氧含量较高(主要是电弧炉终点碳含量控制

表3 12000916 炉次 $\Phi 130$ mm GCr15 轴承钢成品夹杂物检验结果Table 3 Examination results of inclusions of bearing steel GCr15 $\Phi 130$ mm round products, heat 12000916

批次	A		B		C		D		Ds
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
121000380101	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0
121000380401	0	0	0.5	0	0	0	1.0	0	0
121000380201	0.5	0	0.5	0	0	0	1.0	0	0
121000380203	0	0	0	0.5	0	0	1.0	0	0
121000380501	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0
121000380301	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0

有所不同),但是随着精炼的进行,氧含量逐步降低。特别是RH处理前氧含量较高(与12000915炉相比),经过RH真空处理后,两者的氧含量明显降低,说明氧高的情况下RH的脱氧作用明显;而经过软吹后,两者的氧含量反而有轻微上升,这说明在氧含量极低的情况下软吹效果不明显,特别是如果软吹控制不好反而会引起氧含量增加。

3.2 夹杂物评级

将炉号为12000916的连铸坯热轧以后,取样对其夹杂物进行评级。结果如表3所示。

从表3看出,采用EAF-LF-RH-CC工艺生产的GCr15轴承钢夹杂物控制较好,满足了产品质量的要求。

4 结论

(1)马钢特钢公司采用超高功率电弧炉作为初炼炉,通过控制EAF出钢碳含量 $\geq 0.10\%$ 、降低下

渣量 ≤ 2.0 kg/t_钢,减少了初炼钢水的氧含量,为后部工序的处理提供了基础。

(2)在LF工序,采用高碱度精炼脱氧方式,使钢液中的氧含量降低至 $\leq 17 \times 10^{-6}$,实现了较好的脱氧效果。

(3)在RH精炼工序,通过高真空下保持较长时间,使氧含量进一步降低。GCr15钢经软吹氩后钢的T[O] $\leq 8 \times 10^{-6}$ 。

(4)通过对轧材夹杂物分析,发现其中的夹杂物控制较好, $\Phi 130$ mm钢材中A、B、C、D夹杂物 ≤ 1.0 级,Ds夹杂物0级。达到了用户对产品质量的要求。

参考文献

- [1] 杨虎林,何平,翟玉春.高品质轴承钢超低氧含量和非金属夹杂的控制的进展[J].特殊钢,2013,34(2):16-19.
- [2] 艾新港,包燕平,吴华杰,等. RH工艺生产轴承钢脱氧和去除夹杂物研究[J].钢铁,2009,44(7):43-46.
- [3] 巩飞,董大西,刘勇,等.低氧含量GCr15轴承钢生产工艺实践[J].特殊钢,2010,31(6):50-52.
- [4] 钟顺思,王昌生.轴承钢[M].北京:冶金工业出版社,2000.
- [5] 陈亚平,袁志琳. FBT-LF-VD-CC工艺冶炼GCr15轴承钢氧含量的控制[J].广东科技,2012,21(7):152-153.

汪国才(1977-),男,硕士,高级工程师,2001年安徽工业大学毕业,炼钢、连铸技术研究。E-mail:guocai_wang@163.com

收稿日期:2013-06-17

下期要目

- | | |
|---|------|
| 145 t RH 真空精炼装置内钢液循环流动特性的水模型研究 | 朴峰云等 |
| 插入浸渍圆筒底吹氩钢包内钢液搅拌行为的水模型研究 | 张德慧等 |
| 三流非对称连铸 18 t 中间包流场的物理和数学模拟 | 王红娜等 |
| 100 t 钢包底吹氩工艺优化的物理模拟 | 田恩华等 |
| 气泡尾流去除钢液中夹杂物机理的水模型研究 | 杨虎林等 |
| 37Mn5 钢 $\Phi 210$ mm 圆坯连铸凝固影响因素的数学模拟分析 | 孙向东等 |
| 防止超低碳铝镇静钢大方坯连铸水口堵塞的工艺实践 | 马富平等 |
| 大功率电力机车车轴用 EAIN 钢的生产工艺实践 | 王玉玲等 |
| 40 t T 型 6 流中间包结构优化对高碳钢中夹杂物的影响 | 王勇等 |
| 降低 150 t LF 精炼电耗的生产实践 | 裴凤娟等 |
| 酸溶铝含量对硅镇静钢夹杂物特征及水口堵塞的影响 | 郑万等 |