

· 工艺技术 ·

## 100 t 转炉-LF(VD)工艺冶炼轴承钢的氧含量控制

刘跃 吴伟 刘浏 赵继宇 吴建鹏 李小明 王建国  
(钢铁研究总院工艺所,北京 100081) (武汉钢铁集团公司,武汉 430080)

**摘要** 通过铁水预脱硫-100 t 顶底复吹转炉-吹 Ar-LF(VD)-方坯连铸工艺生产轴承钢的实践,得出冶炼终点钢水碳含量为 0.2%~0.6%时,钢水氧含量在  $50 \times 10^{-6}$  到  $150 \times 10^{-6}$  之间;经出钢时脱氧、吹氩、LF(VD)精炼后,中间包钢水中的全氧含量为  $(14 \sim 16) \times 10^{-6}$ ,铸坯中的全氧量  $< 12 \times 10^{-6}$ 。分析表明,加强熔池搅拌,使钢渣充分反应,控制转炉下渣量  $< 5 \text{ kg/t}$  钢,加强吹氩搅拌,控制 LF 顶渣碱度在 2.0~2.5 之间,(FeO) + (MnO) 小于 0.5%,可使轴承钢中全氧量进一步降低。

**关键词** 100 t 顶底复吹转炉 轴承钢 氧含量 控制

## Control of Oxygen Content in Bearing Steel GCr15 Steelmaking by 100 t Converter-LF(VD) Process

Liu Yue, Wu Wei and Liu Liu  
(Center Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)  
Zhao Jiyu, Wu Jianpeng, Li Xiaoming and Wang Jianguo  
(Wuhan Iron and Steel Group Corp, Wuhan 430080)

**Abstract** Through practice of bearing steel producing by hot metal pre-desulfurization - 100 t top and bottom combined blown converter - Ar stirring - LF(VD) - billet concasting process, it was obtained that with melting end point carbon between 0.2% and 0.6%, the oxygen content in steel was between  $50 \times 10^{-6}$  and  $150 \times 10^{-6}$ , by deoxidation in tapping, Ar stirring and LF(VD) refining, the total oxygen content in molten steel in tundish was between  $14 \times 10^{-6}$  and  $16 \times 10^{-6}$  and was less than  $12 \times 10^{-6}$  in cast billet. The analysis results show that it is available to further decrease the total oxygen content in bearing steel by intensifying bath stirring to make steel-slag enough react, and controlling BOF tapping slag amount less than 5 kg/t steel, intensifying Ar stirring, and controlling LF top slag basicity between 2.0 and 2.5 and (FeO) + (MnO) less than 0.5%.

**Material Index** 100 t Top and Bottom Combined Blown Converter, Bearing Steel, Oxygen Content, Controlling

国外已将轴承钢氧含量控制在  $(5 \sim 8) \times 10^{-6}$ 。而我国轴承钢质量较好的生产厂 2001 年平均氧含量为  $9.9 \times 10^{-6}$ <sup>[1]</sup>。因此,还须进一步降低国产轴承钢中的氧含量。

### 1 冶炼工艺

转炉冶炼轴承钢的工艺流程为:铁水预脱硫→复吹转炉→吹氩站→LF→VD→方坯连铸机。

高炉来的铁水在脱硫站进行处理,满足铁水硫含量小于 0.003 5% 的要求。冶炼设备为 2 座 100 t 的顶底复吹转炉,铁水装入量为 100 t,出钢量为 90 t 左右。转炉冶炼采用高拉碳操作,终点碳含量不小于 0.2%,采用双渣法操作,即冶炼前期造好头批渣后,倒掉头批渣。出钢时钢包全程吹 Ar,出钢 1/5 时按下列顺序加 Al 块、FeMnSi、碳粉、FeCr(HC),出钢 4/5 时加入合成渣,出钢时采

用挡渣帽和挡渣塞操作。LF 精炼采用白渣操作,VD 操作钢水在小于 67 Pa 的真空处理时间大于 15 min。连铸操作时,保护浇注,防止钢水的二次氧化,连铸机为 2 台 5 机 5 流方坯连铸机。

### 2 冶炼过程钢中氧含量的控制

#### 2.1 转炉冶炼终点钢水氧含量的控制

为了降低轴承钢水中的氧含量,应保证转炉冶炼终点钢水氧含量尽可能低。图 1 给出冶炼轴承钢时吹炼终点钢中氧含量实际测定值。从图中可以看出,冶炼炉次的钢水碳氧积距平衡值<sup>[2]</sup>还有一定的差距。因此,应该加强熔池搅拌,使钢渣充分反应,促进反应接近碳氧平衡,从而降低钢水的氧含量。

为了使冶炼终点渣钢间更易接近平衡,降低钢水中氧含量,冶炼后期增大搅拌强度( $\geq 0.06$

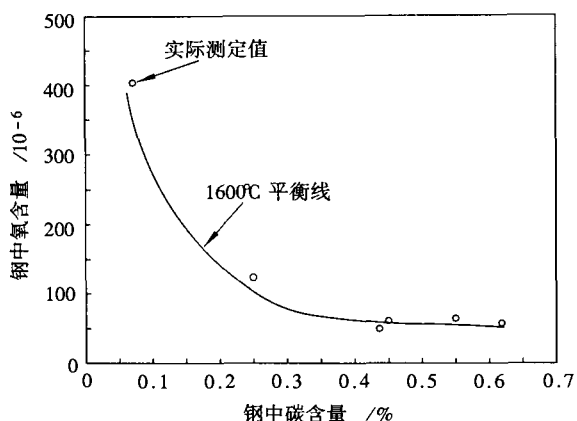


图 1 100 t 转炉冶炼终点钢水的碳含量与氧含量之间的关系

Fig. 1 Relation between oxygen content and melting end point carbon content in molten steel of 100 t converter

$\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ )。从图 1 还可以看出,冶炼终点钢水碳含量为 0.2% ~ 0.6% 时,钢水氧含量在  $(50 \sim 150) \times 10^{-6}$ 。本试验用铝脱氧,出钢时钢水氧含量太高,要得到全氧含量较低的成品铸坯,脱氧时用铝量较大,产生的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂多,对于轴承钢的质量影响较大。同时,钢中酸溶铝过高,容易造成水口结瘤、堵塞的现象。因此,提高转炉冶炼终点钢水的碳含量对于提高轴承钢的质量是很重要的。

### 2.2 转炉出钢过程及吹氩站钢水氧含量的控制

出钢过程钢水的脱氧主要用铝脱氧。图 2 给出 Ar 站测定的钢水的活度氧含量,图中的 1600 °C 钢中铝-氧平衡线由铝的脱氧反应<sup>[2]</sup> 计算得出。

从图 2 可知,对于 Ar 站钢水中氧含量距所计算的 1600 °C 时钢中铝-氧的平衡线<sup>[2]</sup> 相差较多,

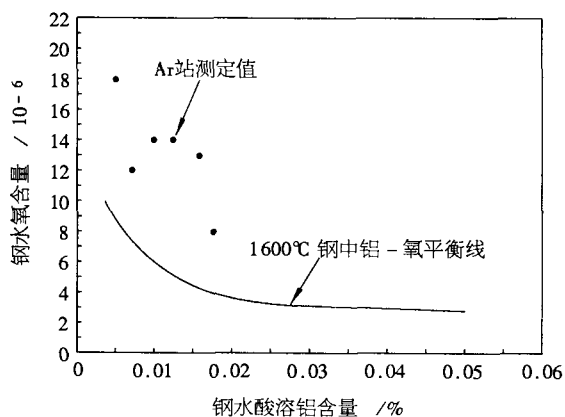


图 2 钢中氧含量与酸溶铝之间的关系

Fig. 2 Relation between acid-soluble aluminium and oxygen content in steel

钢中的铝-氧远未达到平衡。因此,要降低 Ar 站钢水中氧含量,要强化钢包钢水的动力学条件,加强钢包底吹搅拌强度和保证一定的底吹时间。

从图 2 还可以看出,在铝、氧接近平衡时,钢中酸溶铝越高,钢中氧含量越低。

表 1 转炉终点、出钢后钢水、炉渣成分及操作参数

Table 1 Compositions of steel and ingredient of slag at melting end point and after tapping and converter operation parameters

炉次	终点[C] / %	终渣(TFe) / %	下渣量	出钢后 [Als] / %	喂铝线 / kg
414952	0.261	30.06	较少	0.021	22
414953	0.291	16.91	较多	0.011	22
414954	0.509	16.66	较少	0.011	11
414955	0.392	27.05	较多	0.007	15.2
414956	0.331	18.84	较多	0.019	57

表 1 给出一些冶炼轴承钢炉次转炉终点、出钢后钢水成分。从理论分析可得,转炉冶炼终点碳含量高的炉次,出钢时钢中氧含量较低,出钢时加入的铝块和氩站喂铝线量是相同的,出钢后钢水酸溶铝含量应该是相同的。但从表中可知,对于 414952 和 414953 炉次,冶炼终点钢水碳含量差不多,出钢时钢水氧含量基本相同,出钢时加铝块和氩站喂铝线量是相同的,但出钢后钢水中酸溶铝含量相差较多。这说明出钢时转炉下渣量对于钢水氧含量影响较大。因此,对于转炉的冶炼操作应尽量降低冶炼终点炉渣 (FeO) 含量和减少转炉下渣量,控制转炉下渣量小于 5 kg/t 钢。

### 2.3 LF 精炼过程钢水氧含量的控制

表 2 为不同炉次 LF 离站钢水及炉渣成分。从表中可以看出,LF 化清样中的酸溶铝含量较高,两个过程样酸溶铝含量有所降低,LF 离站时钢中酸溶铝含量又有所增加。钢中酸溶铝含量的不同变化,与在不同时刻渣中碱度和氧化性有很大关系。炉渣碱度为 1.96 ~ 2.40 时,炉渣碱度越

表 2 LF 离站钢水及炉渣成分

Table 2 Compositions of steel and ingredient of slag at finishing LF refining

炉次	[Als] / %	[S] / %	(TFe) / %	(MnO) / %	CaO + MgO / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>
414952	0.016	0.01	0.94	1.53	1.96
414953	0.009	0.013	0.68	0.10	2.39
414954	0.019	0.016	0.85	0.07	2.20
414955	0.015	0.012	0.82	1.88	2.11
414956	0.024	0.008	1.01	0.094	2.40

低,钢中的酸溶铝含量越高。

用线性回归的方法,得到 LF 钢水酸溶铝含量与炉渣碱度和炉渣氧化性之间的关系。

$$[\% \text{Als}] = -0.017 15R - 0.002 1(\% \text{FeO} + \% \text{MnO}) + 0.058 72 \quad (r=0.63) \quad (1)$$

$$(1.9 < R < 2.5; 0.9 < (\% \text{FeO} + \% \text{MnO}) < 3.0)$$

式中:  $[\% \text{Als}]$  为钢中酸溶铝含量;  $R = \frac{(\text{CaO}) + (\text{MgO})}{(\text{SiO}_2) + (\text{Al}_2\text{O}_3)}$  为炉渣碱度。

从(1)式也可以看出,渣中氧化性越低,钢中酸溶铝含量越高。为了降低钢水中氧的含量,应尽量造白渣,减少渣中  $(\text{FeO}) + (\text{MnO})$  的含量。

### 2.4 VD 精炼过程钢水氧含量的控制

在 VD 操作结束后,测定了钢水的氧活度。图 3 为钢水中酸溶铝含量与钢水中氧活度值之间的关系。由图中可知,钢水中酸溶铝含量与钢水中氧活度值之间成反比例的关系。即钢水中酸溶铝含量越高,钢水中氧活度值越低,钢水中氧含量越低。

表 3 为中间包钢水及 VD 离站炉渣成分,从表 3 可见,在真空的条件下,炉渣氧化性低的时候,

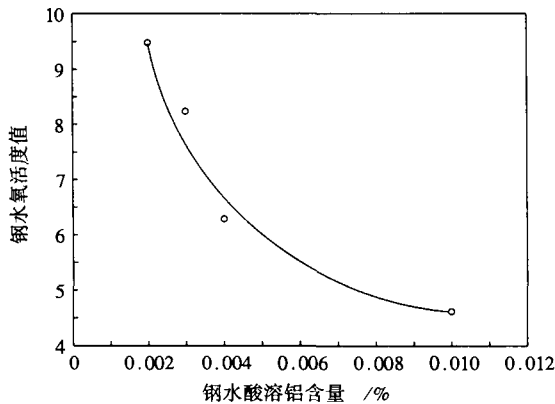


图 3 VD 处理时钢水中酸溶铝含量与氧活度之间的关系

Fig.3 Relation between acid-soluble aluminium and activity value of oxygen in molten steel during VD treatment

表 3 中间包钢水及 VD 离站炉渣成分

Table 3 Compositions of steel in tundish and ingredient of slag at finishing VD treatment

炉次	$[\text{Als}]$ /%	TO / $10^{-6}$	$[\text{S}]$ /%	(TFe) /%	(MnO) /%	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}$
414952	0.003	16	0.004	1.11	0.14	1.84
414953	0.005	15	0.006	0.76	0.40	1.73
414954	0.007	14	0.004	0.48	0.03	2.23
414955	0.005	15	0.002	0.56	0.09	1.81
414956	0.004 9	15	0.002	0.5	0.04	1.77

候,钢水中酸溶铝含量较高,氧含量较低。炉渣碱度在 2.0 时,钢水中酸溶铝含量较高。因此,要降低钢水中氧含量,则要降低炉渣的氧化性和控制炉渣碱度。以上炉次,通过连铸时中间包夹杂物的上浮,可使铸坯全氧量控制在  $12 \times 10^{-6}$  之内。

### 3 结论

(1) 从冶炼炉次的钢水碳氧积看,距碳-氧平衡值还有一定的差距。因此要加强熔池搅拌,使渣钢充分反应,促进反应接近碳-氧平衡,降低钢水的氧含量,并控制转炉下渣量小于 5 kg/t 钢。

(2) Ar 站钢水中氧含量距 1 600 °C 时钢中铝-氧的平衡线相差较多,而 VD 钢水氧含量接近于 1 600 °C 时钢中铝-氧的平衡线,铝-氧平衡较好。因此,要降低 Ar 站钢水中氧含量,必须加强钢包底吹搅拌强度和保证一定的底吹时间。

(3) 应控制 LF 和 VD 顶渣碱度在 2.0 ~ 2.5,  $(\text{FeO}) + (\text{MnO})$  含量小于 0.5%,以便进一步降低钢中氧、硫含量。

### 参考文献

- 1 王忠英,韩建准,王重海. GCr15 轴承钢冶炼工艺分析与讨论. 特殊钢, 2003, 24(1): 33
- 2 魏寿昆. 冶金过程热力学. 上海: 上海科学技术出版社, 1980, 286

刘 跃(1958-),男,高级工程师,1982 年武汉工学院毕业,从事炼钢工艺、耐火材料研究。

收稿日期:2005-06-06

## 欢迎订阅 2006 年《特殊钢》

《特殊钢》是中国金属学会特殊钢分会和大冶特殊钢公司主办的综合性技术类双月刊。

邮发代号:38-183 订价:12.00 元/期 72.00 元/年 全国各地邮局均可订阅