

试验研究

轴承钢用精炼渣冶金性能分析

彭波¹, 刘丽丽², 温瀚³

(1 中冶国际工程技术有限公司, 北京 100028; 2 北京大学 工学院, 北京 100871;

3 首钢京唐公司 钢铁厂, 河北 唐山 063200)

摘要: 选择合理的三元精炼渣系, 利用三元相图分析轴承钢 GCr15 钢包精炼过程中成渣组分的变化规律, 并对钢包精炼过程中精炼渣的碱度和脱硫效果进行分析。结果表明: 在精炼过程中, CaO 含量基本不变, SiO₂ 的含量略有减少, 而 Al₂O₃ 含量稍有增加; 整个精炼过程中, 碱度逐渐升高, 在精炼结束后, 终渣碱度维持在 4.5 ~ 5.0; 在吨钢用量 9.31 kg 合成渣和 2.79 kg 埋弧渣的条件下, 精炼渣脱硫率达到 80%; CaO-SiO₂-Al₂O₃ 精炼渣系能够较好地去除钢中游离氧及氧化物夹杂, 钢材的全氧含量低于 12 × 10⁻⁶。

关键词: 轴承钢; 精炼渣; 组分; 碱度; 脱硫率

中图分类号: TF769

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2013)02-0038-03

1 前言

高质量的轴承钢要求高的纯净度和组织均匀, 即杂质元素和非金属夹杂少, 碳化物细小且分布均匀。精炼渣具有脱氧、脱硫、去夹杂的作用, 其性质直接影响 LF 精炼过程的冶金效果。当碱性还原渣同钢液密切接触时, 钢液中实际的氧、硫的数值大于同渣平衡的氧、硫的数值, 使钢液中的氧和硫向渣中扩散^[1]; 精炼渣中 CaO、Al₂O₃ 等成分能够与 Si、Al、Mn 等的脱氧产物结合成低熔点的化合物, 从而降低脱氧产物的活度, 强化脱氧反应; 由于精炼渣均由氧化物组成, 氧化物之间的界面张力小, 易于结合成低熔点化合物, 而钢液与脱氧产物间的界面张力大于渣和脱氧产物之间的界面张力, 精炼渣可以吸收脱氧产物, 使脱氧产物容易从钢液中排除。此外, 精炼渣融化后形成泡沫渣, 渣层覆盖钢液, 可有效防止气体吸入, 且有利于埋弧操作, 减轻电弧对钢包内衬和钢包盖的损害, 提高热效率^[2]。因此, 研究精炼渣成分变化及其对钢洁净度的影响, 对 LF 精炼作用的充分发挥具有重要意义。

要对轴承钢中夹杂物进行控制, 首先要对钢中夹杂物的种类、形貌进行定性分析。根据精炼工艺可知: 钢中可能存在 A 类硫化物夹杂、B 类氧化铝夹杂、C 类铝酸钙复合夹杂物以及镁铝尖晶石和氮化钛夹杂等^[3-4]。由于全程采用沉淀脱氧工艺, 炉渣对脱氧产物(主要是氧化铝)的吸附作用尤为重要, 通过氩气弱搅拌^[5]等手段可改善夹杂物上浮的动力学条件, 但是如果熔渣本身吸收夹杂物的性能不好,

使得夹杂物不能从钢水中彻底分离, 会恶化轴承钢的机械性能。因此, 精炼渣的组成、性质直接影响轴承钢的使用性能^[6]。本研究系统地讨论精炼渣成渣工艺和组成对成渣过程的影响作用规律, 并对精炼渣的碱度和脱硫效果进行系统探讨, 获得能够有效去除钢中硫和氧化物夹杂的精炼渣系。

2 生产工艺对精炼成渣的影响

2.1 精炼渣组成

传统的轴承钢精炼渣系主要是以 CaO-Al₂O₃ 和 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 的高碱度精炼渣系为主。由 CaO-Al₂O₃ 二元相图可知: 渣中存在低熔点的化合物 12CaO·7Al₂O₃^[7], 可通过调节精炼渣中 Al₂O₃ 含量降低熔渣的熔点, 改善合成渣精炼的动力学条件。SiO₂ 属于酸性氧化物, 不利于精炼渣脱硫, 但 SiO₂ 对熔渣的泡沫化性能有较大的影响。由 CaO-Al₂O₃ 二元系和 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 三元系表面张力图可知, SiO₂ 属表面活性物质, 其含量增加可降低表面张力, 促进发泡, 增加渣膜的弹性和强度。

在轴承钢 GCr15 的试制过程中, 精炼渣的组成如表 1 所示。

表 1 精炼渣组成 %

项目	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
合成渣	72 ~ 78	<5	8 ~ 10	5 ~ 8
埋弧渣	≥50	≤20	≤10	≥5

2.2 生产工艺对渣成分的影响

生产轴承钢 GCr15 精炼过程采用三元精炼渣系, 分别采取 LD+LF+CC 和 LD+LF+VD+CC 两种工艺生产。本研究以精炼渣系中的 3 种主要成分为研究对象, 探讨其在精炼过程中的变化规律。图 1 是不同成渣工艺路线从炼钢出钢到精炼结束过程中渣样成分变化规律。图 2 是不同成渣工艺路线精炼

收稿日期: 2013-03-06

作者简介: 彭波, 男, 1979 年生, 2005 年毕业于北京科技大学冶金物理化学专业, 硕士。现为中冶国际工程技术有限公司工程师, 从事钢包炉外精炼生产技术与管理及冶金项目的技术与管理工作。

过程二元碱度的变化规律。

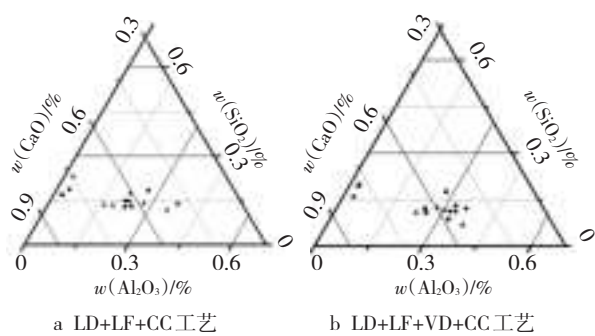
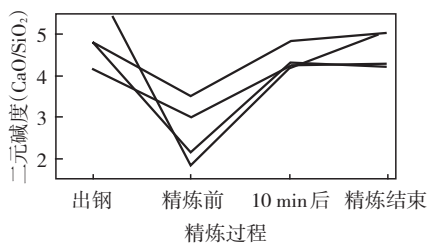
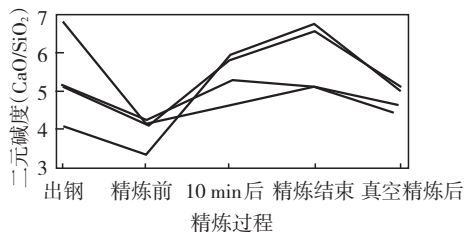


图1 不同成渣工艺路线精炼渣成分



a LD+LF+CC工艺



b LD+LF+VD+CC工艺

图2 不同工艺精炼渣二元碱度变化

从两种工艺路线来看,成渣的过程基本一致。主要分为两个阶段:

第1阶段从转炉出钢到精炼站之前,转炉冶炼采用高拉补吹操作,终点渣的碱度控制在3~3.5左右。出钢时采用挡渣塞挡渣出钢,出钢过程加入脱氧剂脱氧和合金化,并在炉后加入二元合成渣进行渣洗,以防止回磷。由于二元渣的加入,渣中CaO含量略有增加;转炉吹炼过程中未用含铝氧化物渣,出钢渣的Al₂O₃含量不高;炼钢结束用铝镇定,渣中的Al₂O₃有所增加;利用硅铁锰铁进行合金化,渣中的SiO₂含量有所提高。

第2阶段为钢包精炼炉造渣过程,此过程中加入了合成渣、埋弧渣以及渣脱氧剂铝和电石。在此过程中,渣中SiO₂和Al₂O₃的含量会有明显的降低。一方面在精炼过程中加入的脱氧剂铝会将渣中的SiO₂还原,钢水会有不同程度的增硅现象;另一方面,主要是精炼过程中加入渣料,稀释了渣中SiO₂和Al₂O₃的浓度。

造渣过程前10 min内形成白渣,精炼结束后控制终渣碱度为4.5~5.0。高碱度、流动性好、氧化性低的钢渣,利于钢渣界面反应,最大程度去除钢中的氧,并使钢中氧化物夹杂上浮,被精炼渣所吸收,

提高钢水的纯净度。

轴承钢从转炉出钢到精炼结束的成渣路线如图1所示。由图1可知:CaO在此过程含量基本维持不变;SiO₂的含量是减少的,这是由于钢水中有较多的酸溶铝的缘故;而渣中Al₂O₃含量是略有增加的,一方面随着钢包处理时间的延长,大颗粒夹杂物有充足的时间上浮,另一方面精炼结束后对钢水进行弱搅拌,使细小的夹杂物能相互碰撞长大,上浮后被精炼渣所吸附,最后对钢水进行钙处理,使Al₂O₃系夹杂物得到变性,有效避免堵水口情况的发生,保证生产的稳定顺行。

2.3 精炼过程碱度的变化规律

精炼渣应具有吸收脱氧产物Al₂O₃夹杂的能力,以便在钢液进行吹氩搅拌过程中最大限度地降低氧化物夹杂的数量。以日本山阳工艺为代表的高碱度(R=4.5)渣系精炼轴承钢,硫以及Al₂O₃夹杂含量都降到了很低的程度。

轴承钢精炼过程碱度的变化见图2,以二元碱度为例,由图2可知:LD+LF+CC工艺,到达精炼站的碱度在3左右,精炼造渣过程碱度上升很快,精炼结束后的碱度维持在4~5之间;而LD+LF+VD+CC工艺精炼过程的碱度能达到6~7的水平,经真空脱气后,二元碱度略有下降,最后基本也在4左右。

3 精炼渣脱硫效果

合成渣配合埋弧渣一起使用,造渣过程埋弧效果好,大大提高了LF炉的热效率,造渣10 min后,基本形成了w(FeO+MnO)<1%的渣系,且碱度较高,满足了脱硫的热力学条件,获得了良好的脱硫效果(见表2)。从表2可以看出:在平均吨钢用量为9.31 kg合成渣和2.79 kg埋弧渣的条件下,脱硫率达到80%左右,尤其在造渣开始的10 min内,脱硫效果明显,脱硫率达75%左右。

表2 精炼渣脱硫效果

炉号	精炼渣/(kg·t ⁻¹)		硫含量/%				脱硫率/%	
	合成渣	埋弧渣	S1	S2	S3	S4	η ₁₂	η ₁₄
1	9.31	2.79	0.029	0.014	0.008	0.003	51.72	87.65
2	9.31	2.79	0.024	0.005	0.003	0.003	79.16	87.50
3	9.31	2.79	0.037	0.009	0.008	0.008	75.68	78.37
4	9.31	2.79	0.038	0.009	0.004	0.004	76.31	89.47
5	9.31	2.79	0.028	0.007	0.006	0.006	75.00	78.57

注:S1、S2、S3、S4分别表示转炉出钢时、精炼前、精炼10 min后及精炼完成时的硫含量;η₁₂、η₁₄分别表示出钢到精炼前及出钢到精炼完成的脱硫率。

4 轴承钢中的氧含量

氧含量是衡量轴承钢质量水平的一个重要指标,对于铝脱氧的轴承钢而言,要求钢液中的溶解

氧含量 $<2 \times 10^{-6}$ 。因此,去除钢液中氧化物夹杂物就显得尤为重要。

轴承钢中的全氧包括溶解氧和夹杂物中的氧,故从两方面来讨论氧的去除。一方面,钢液中氧通过扩散进入精炼渣,因此要保证钢渣氧化性低,只有钢渣之间具有一定的氧势差,钢中的氧才能不断地向渣中扩散。精炼渣中的氧主要以FeO和MnO的形式存在,在轴承钢精炼过程的不同时期,取渣样,采用化学分析法分析各组分含量,FeO和MnO两者之和变化规律如图3所示。结果表明:在造渣过程中,由于脱氧剂的加入,渣中氧急剧下降,还原渣形成后,渣中氧稳定在1%左右。

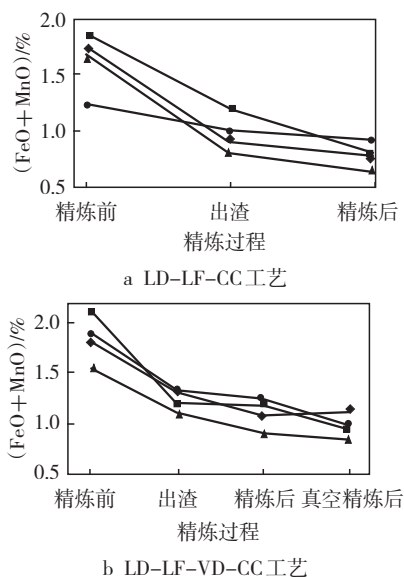


图3 不同生产工艺精炼渣中FeO+MnO含量

另一方面,通过以上工艺可知:精炼过程尽早形成流动性较好的高碱度白渣,吸收钢液中的非金属夹杂物(主要是 Al_2O_3),并且在生产过程中,尽量保证精炼后期有足够的吹氩去除非金属夹杂物的操作时间,以使轴承钢轧材上的全氧含量较低,提高轴承钢的抗疲劳寿命。

经过此改进工艺冶炼后的轴承钢,钢材上全氧含量均 $<12 \times 10^{-6}$,最低的全氧含量为 5×10^{-6} ,完全能满足轴承钢的生产要求。

5 结论

5.1 根据精炼设备条件,制定符合轴承钢生产的两种精炼工艺路线(LD+LF+CC和LD+LF+VD+CC);精炼过程选用CaO-SiO₂-Al₂O₃三元精炼渣系,并给出了精炼渣系的组成范围;在精炼过程中各组分的变化规律是,CaO含量基本维持不变,SiO₂的含量略有减少,而Al₂O₃含量稍有增加;采用LD-LF-CC和LD-LF-VD-CC工艺均能生产出合格的产品。

5.2 精炼过程中,碱度逐渐升高,精炼结束后,终渣碱度维持在4.5~5.0;在吨钢用量9.31 kg合成渣和2.79 kg埋弧渣的条件下,精炼渣脱硫率达到80%。

5.3 CaO-SiO₂-Al₂O₃精炼渣系能够较好地去除钢中的游离氧及氧化物夹杂,钢材上的全氧含量低于 12×10^{-6} 。

参考文献:

- [1] 赵沛,成国光.炉外精炼和铁水预处理实用手册[M].北京:冶金工业出版社,2004:354-376.
- [2] 倪冰.提高LF钢中夹杂物去除效果的研究和生产实践[D].沈阳:东北大学,2005.
- [3] Rocabois P, Lehmann J, Gatellier C, et al. Non-metallic inclusion entrapment by slags: laboratory investigation [J].Iron-making and Steel-making,2003,30(2):95-99.
- [4] 钟顺思,王昌生.轴承钢[M].北京:冶金工业出版社,2000:427-428.
- [5] 薛正良,王义芳.用小气泡从钢液中去除夹杂物颗粒[J].金属学报,2003(4):431-434.
- [6] 于平,陈伟庆,冯军,等.高碱度渣精炼的轴承钢中夹杂物研究[J].钢铁,2004,39(7):20-23.
- [7] 陈斌,姜敏,王新华.12CaO·7Al₂O₃炉渣与合金钢液的反应[J].钢铁研究学报,2008,20(10):13-16.

Analysis of the Metallurgical Performance of the Refining Slag for Bearing Steel Making

PENG Bo¹, LIU Lili², WEN Han³

(1 MCC International Incorporation Limited, Beijing 100082, China;

2 College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

3 Iron and Steel Plant, Shougang Jingtang Company, Tangshan 063200, China)

Abstract: The reasonable refining slag was chosen for the refining process of the bearing steel making, and the ternary phase diagrams was used to study the change rule of the slag component. Then, the metallurgical performance was investigated. The results showed that the amount of CaO was stable, SiO₂ decreased but Al₂O₃ increased slightly. Also the basicity increased during the refining process and maintained at the level of 4.5-5.0. The desulphurization capacity was 80% when the consumption of per ton steel was 9.31 kg synthetic slag and 2.79 kg arc-submerged slag. The results indicated that CaO-SiO₂-Al₂O₃ refining slag system can remove the free oxygen and oxide inclusion quickly and the total oxygen content of rolled production is less than 12×10^{-6} .

Key words: bearing steel; refining slag; component; basicity; desulphurization rate