

二次氧化对 GCr15 轴承钢夹杂物成分影响

徐建飞*, 王昆鹏, 王郢, 杨谱, 朱稳超, 王立涛, 陈廷军

中天钢铁集团有限公司, 常州 213011

Effect of Secondary Oxidation on the Composition of Inclusions in GCr15 Steel

Xu Jianfei*, Wang Kunpeng, Wang Ying, Yang Pu, Zhu Wenchao, Wang Litao, Chen

Tingjun

Zenith Steel Group Co., Ltd., Changzhou 213011

1. 前言

连铸二次氧化影响因素主要有空气氧化如长水口吸气、耐火材料向钢水中传递氧、冶金类炉渣对钢水的氧化如大包渣、中包渣、引流砂卷入到钢水中^[1-3]。二次氧化不仅会恶化钢水纯净度,还会影响钢水可浇性。为了减少浇铸过程钢水二次氧化,冶金工作者对长水口吹气、长水口与钢包下水口间接触方式、密封垫、中间包吹氩方式、中间包覆盖剂、中间包耐材、浸入式水口等进行了优化^[4-5],保护浇铸也取得了明显进步,但完全杜绝钢水氧化目前还很难做到。为了研究二次氧化对夹杂物成分影响,论文以铝脱氧轴承钢为研究对象,采用铁质取样器对 RH 破空后轴承钢钢水进行取样,同时取样前在不同铁质取样器中加入不同质量的铬质引流砂或 FeO 粉,以模拟钢水不同程度的氧化。通过分析钢水总氧和夹杂物成分,得到不同二次氧化程度对轴承钢夹杂物成分影响。

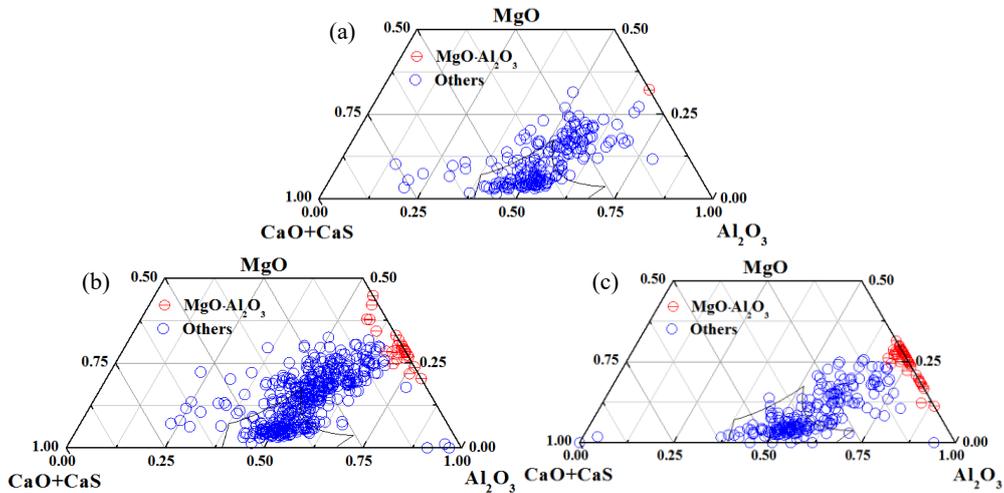
2. 实验材料和步骤

以工业生产的 3 炉轴承钢钢水为研究对象,这 3 炉分别标记为炉次 1、2、3,采用的炼钢工艺为 120t 转炉→LF 精炼→RH 真空→连铸。RH 真空处理后,采用铁制提桶式取样器对钢水进行取样,取样前在铁制提桶式取样器中放入一定量氧化性物质如铬质引流砂、FeO 粉,以模拟钢水不同程度的氧化。炉次 1 在 RH 破空后采用 3 个铁制提桶式取样器进行钢水取样,其中 1 个取样器不放任何物质,另 2 个取样器分别加入 15g 和 30g 成分以 SiO₂, Cr₂O₃, Fe₂O₃ 为主的铬质引流砂;炉次 2 在 RH 破空后采用 4 个铁制提桶式取样器进行钢水取样,其中 1 个取样器不放任何物质,另 3 个取样器分别加入 40g 铬质引流砂、2.5gFeO 粉、4gFeO 粉;炉次 3 在 RH 破空后采用 3 个铁制提桶式取样器进行钢水取样,其中 1 个取样器不放任何物质,另 2 个取样器分别加入 5g 和 10gFeO 粉。所有试样夹杂物均是采用 ASPEX 全自动扫描电镜分析,检测面积均为 111mm²。

3. 结果与分析:

鉴于夹杂物组分主要为 CaO, Al₂O₃, MgO, CaS, 定义夹杂物中 MgO 含量≥10%, (CaO+CaS)≤5%为 MgO·Al₂O₃ 夹杂物。图 1 为炉次 1 在不同情形下的夹杂物成分。当取样器中不放入任何氧化性物质,利用该取样器对 RH 真空结束后的钢水进行取样时,钢中夹杂物主要为钙铝酸盐。当取样器中放入 15g 铬质引流砂并采用该取样器进行钢水取样时,钢水进入到取样器中会被铬质引流砂氧化,此时钢水总氧由 0.00043% 增加至 0.00051%,并且可以在钢中检测到 28 个 MgO·Al₂O₃ 夹杂物。当取样器中放入 30g 铬质引流砂并采

用该取样器进行钢水取样时，钢水总氧由 0.00043% 增加至 0.00053%，并且可以在钢中检测到 55 个 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物。

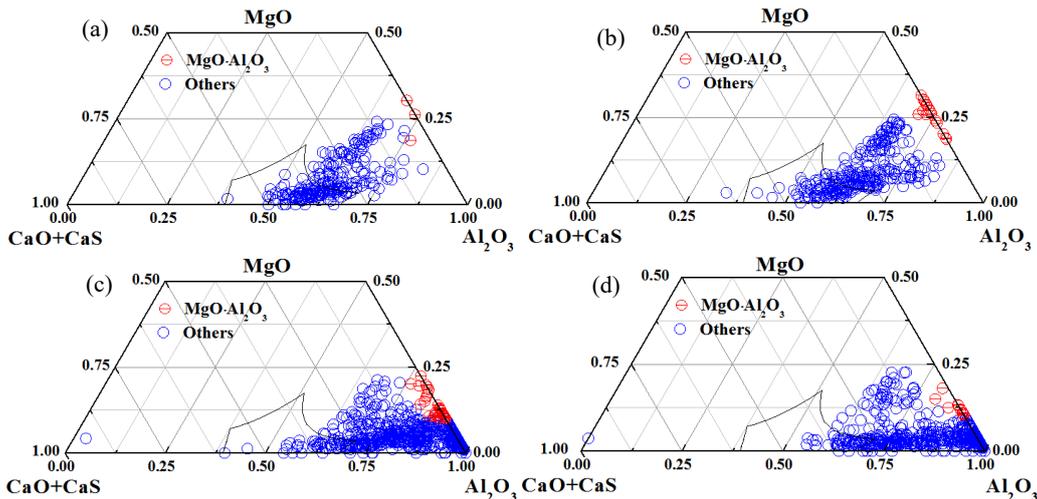


(a) 取样器中不加任何物质，T.O 为 0.00043%，尖晶石：1 个/111mm²；(b) 取样器中加 15g 引流砂，T.O 为 0.00051%，尖晶石：28 个/111mm²；(c) 取样器中加 30g 引流砂，T.O 为 0.00053%，尖晶石：55 个/111mm²。

图 1 炉次 1 夹杂物成分

Fig. 1 Compositions of inclusions for heat 1 in different conditions

图 2 为炉次 2 在不同情形下的夹杂物成分。同样，取样器中不放入任何物质时夹杂物主要为钙铝酸盐，几乎检测不到 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物。当向取样器中放入 40g 铬质引流砂时，可能该取样器在取样过程中引流砂与钢水接触量小，钢水仅发生很轻微的氧化，钢水总氧仅由 0.00042% 增加至 0.00045%，但依旧可以在钢中检测到 16 个 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物，这说明轴承钢钢水只要发生轻微的氧化，即可在钢中形成高熔点 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物。当向取样器中加入 2.5g 和 4g FeO 粉时，钢水总氧将由 0.00042% 分别增加至 0.00073% 和 0.00106%，此时不仅可以在钢中检测到 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物，还可以检测到 $\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 Al_2O_3 夹杂物。

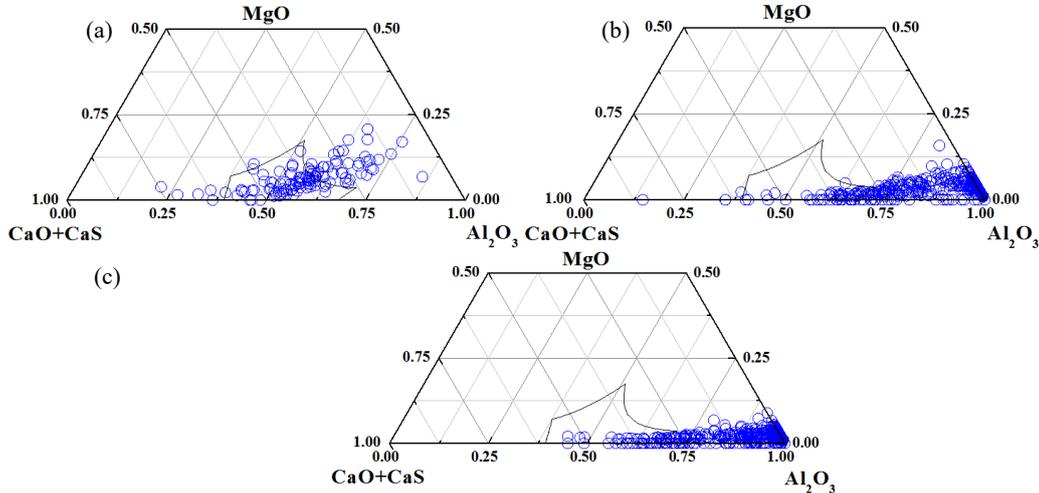


(a) 取样器中不加任何物质，T.O 为 0.00042%，尖晶石：3 个/111mm²；(b) 取样器中加 40g 引流砂，T.O 为 0.00045%，尖晶石：16 个/111mm²；(c) 取样器中加 2.5g FeO 粉，T.O 为 0.00073%，尖晶石：32 个/111mm²；(d) 取样器中加 4g FeO 粉，T.O 为 0.00106%，尖晶石：11 个/111mm²。

图 2 炉次 2 夹杂物成分

Fig. 2 Compositions of inclusions for heat 2 in different conditions

图 3 为炉次 3 在不同情形下的夹杂物成分，可以看出，当进一步将 FeO 粉量增加至 5g 和 10g，钢水总氧将由 0.00053% 分别增加至 0.00113% 和 0.00246%，钢中已检测不到 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物，但可以检测到大量 $\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 Al_2O_3 夹杂物，这是因为钢水发生严重的二次氧化后， $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物中 MgO 含量会随 Al_2O_3 夹杂物大量生成而显著降低。



(a) 取样器中不加任何物质；(b) 取样器中加 5g FeO 粉；(c) 取样器中加 10g FeO 粉。

图 3 炉次 3 夹杂物成分

Fig. 3 Compositions of inclusions for heat 3 in different conditions

4. 结论

(1) 轴承钢钢水发生轻微的氧化，总氧增加 0.3~1.0ppm，可在钢中形成 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物；随着氧化程度的提高，钢中除了有新生成 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物，还伴有 $\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 Al_2O_3 夹杂物生成。

(2) 当氧化程度进一步提高，总氧增加值超过 6ppm，钢中已检测不到 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物，此时钢中会有大量 $\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 Al_2O_3 夹杂物生成。

参考文献

- [1] Tanaka H, Nishihara R, Kitagawa I, et al. Quantitative analysis of contamination of molten steel in tundish[J]. ISIJ International, 1993, 33(12): 1238-1243.
- [2] Sasai K and Mizukami Y. Effect of stirring on oxidation rate of molten steel[J]. ISIJ International, 1996, 36(4): 388-394.
- [3] Sasai K and Mizukami Y. Effects of tundish cover power and teeming stream on oxidation rate of molten steel in tundish[J]. ISIJ International, 1998, 38(4): 332-338.
- [4] 周吉诚, 晏成峰, 王小明, 等. 优化工艺防止连铸二次氧化[J]. 连铸, 2014, 6: 20-22.
- [5] 刘志国, 王洪兴. 连铸保护浇注工艺改进[J]. 中国冶金, 2013, 23(8): 38-41.