

试验研究

莱钢20CrMnTiH齿轮钢洁净度分析与控制

吴兵, 杨密平, 赵冠夫, 马传庆

(莱芜钢铁股份有限公司, 山东 莱芜 271105)

摘要:为分析影响钢液洁净度的主要因素,采用钢渣系统取样,结合全氧分析、扫描电镜等手段,对莱钢特殊钢厂转炉流程生产20CrMnTiH的洁净度进行了系统分析。控制钢中铝含量在0.008%~0.015%,提高炉渣碱度,控制炉渣中SiO₂含量在12%~15%、MgO含量在4%~6%,利于提高转炉齿轮钢的洁净度。转炉终点至钙处理前夹杂物主要为MnS,钙处理至软吹后开始出现镁铝尖晶石等复合夹杂物,夹杂物尺寸基本都在5 μm以下,Ca处理后夹杂物尺寸大都在2~3 μm。

关键词:齿轮钢;20CrMnTiH;转炉生产;洁净度;夹杂物

中图分类号:TF762

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2011)05-0074-04

1 前言

目前国内大部分齿轮钢均由电炉工艺系统生产,随生产工艺的改进和提高,转炉生产齿轮钢的工艺日趋成熟和完善。为分析影响钢液洁净度的主要因素,对莱钢转炉齿轮钢生产工艺进行优化控制,通过试验了解LF精炼过程中炉渣、钢液成分和夹杂物特点的演变规律。

2 试验方法

莱钢转炉生产优钢20CrMnTiH采用的流程为:铁水脱硫→转炉冶炼→LF炉精炼→软吹→连铸。转炉控制终点碳含量在0.08%~0.10%,出钢过程先配加稀土铝铁,再配加其他合金及造渣材料。LF精炼过程采用全程氩气搅拌,末期喂入钛线和硅钙线,精炼结束后在软吹位软吹氩气10~12 min,软吹完毕直接进入连铸机进行浇铸。

在转炉冶炼终点、LF炉到站、LF炉白渣后分别取钢、渣样;Ca处理前后分别取钢、渣样;软吹后取钢、渣样;现场取覆盖剂样。

制备尺寸为φ5 mm×5 mm的钢样,用于分析钢中的T[O]、[N],要求表面光洁度为7。同时车取未氧化的钢屑做化学常规成分分析,并取10 mm×10 mm×10 mm的钢样,经磨光和抛光后用于电镜分析。采用重量法、ICP-AES法和滴定法相结合的分析方法分析炉渣成分。

3 试验结果讨论与分析

3.1 夹杂物

对所取20CrMnTiH钢种试样进行电镜分析,包括夹杂物形貌、能谱和各元素原子分数,见表1。

收稿日期:2011-04-13

作者简介:吴兵,男,1971年生,1997年毕业于华东冶金学院金属材料专业。现为莱钢特钢事业部技术科科长,高级工程师,从事炼钢和连铸工艺技术工作。

转炉终点至钙处理前夹杂物尺寸都在5 μm以下。转炉终点试样中所发现的夹杂物主要为Al₂O₃和(Mn,Fe)S,其中Al₂O₃为取样器中加入的铝生成的。LF进站夹杂物主要为MnS。LF白渣后夹杂物主要为MnS,另外一些镁铝尖晶石,夹杂物的尺寸都在2~5 μm。钙处理前夹杂物主要有MnS、TiN、镁铝尖晶石及Mn-Ca-Al-O-S复合夹杂物。

Ca处理后夹杂物主要有:MnS和(Ca,Mn)S复合夹杂物,夹杂物尺寸大都在2~3 μm。软吹后夹杂物主要有:CaS、TiN、Mg-Ca-Ti-Mn-S复合夹杂物、Ca-Al-Mg-S复合夹杂物及钙铝酸盐夹杂物,夹杂物尺寸基本都在5 μm以下。有学者得出^[1],吹氩工艺能去除部分夹杂物,但钢水的二次氧化以及由于耐材带来的大量夹杂物,抵消了吹氩的冶金效果,造成中间包内钢液夹杂物含量较高,所以冶炼优质钢时对耐材要求更高。

由分析结果可以看出,转炉终点至钙处理前夹杂物主要为MnS,钙处理至软吹后开始出现镁铝尖晶石等复合夹杂物,但夹杂物尺寸都在5 μm以下。

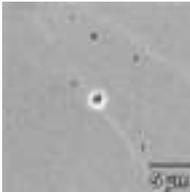
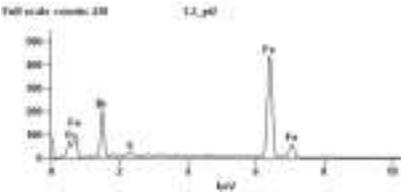
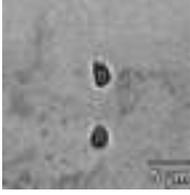
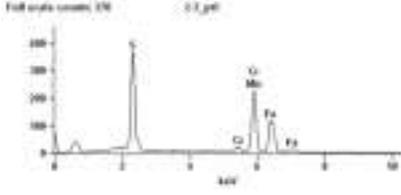
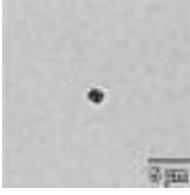
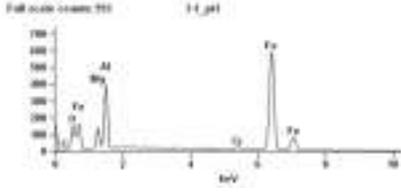
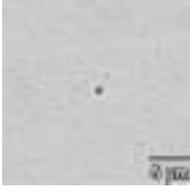
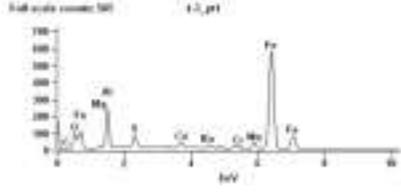
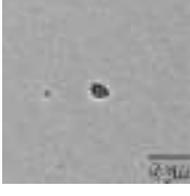
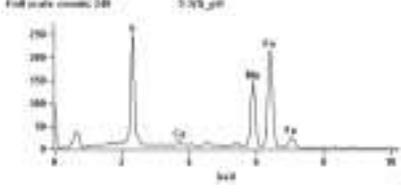
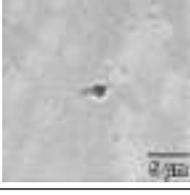
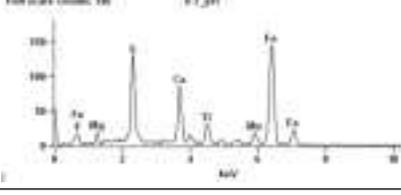
3.2 钢水成分控制及影响分析

对各取样点钢样进行化学成分分析,结果见图1。从图1可见,精炼过程中酸溶铝烧损量不大;软吹后全氧含量在0.002 6%左右。转炉终点氧化性高,Ca含量为0.009 0%,分析认为是测量样品中存在含Ca的外来夹杂物导致的;钙处理后钢中Ca含量比较平稳,在0.004 4%~0.004 8%之间。在整个生产过程中,镁含量均在0.001 2%左右波动,变化均不大。

转炉终点氮含量较低,为0.001 1%左右;LF进站前、钙处理前和钙处理后氮含量均有所增加,总的增幅在0.002 6%左右;软吹过程中氮含量没有变化,说明软吹时渣面覆盖较好,没有大气二次氧化。

1)Al。酸溶Al含量控制着钢中溶解氧含量,进而影响钢中的总氧含量。适合的酸溶铝对提高钢

表1 各处理阶段夹杂物形貌、能谱和各元素原子分数

处理阶段	夹杂物形貌	能谱	原子分数/%
转炉终点			O:28.40, S:1.56, Fe:70.05
LF到站			S:40.05, Cr:2.92, Mn:34.44, Fe:22.59
LF白渣后			C:12.31, O:24.93, Mg:6.69, Al:18.49, Cr:0.45, Fe:37.12
Ca处理前			C:26.22, O:16.63, Mg:0.77, Al:11.71, S:2.89, Ca:0.36, Cr:0.36, Mn:1.70, Fe:37.91, Ba:0.54
Ca处理后			S:28.04, Ca:1.23, Mn:27.70, Fe:43.03
软吹后			F:0.23, Mg:5.34, S:22.23, Ca:14.70, Ti:6.23, Mn:5.31, Fe:45.96

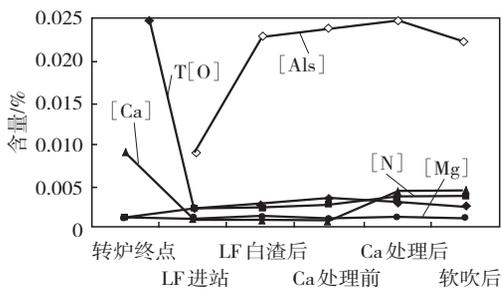


图1 钢液成分含量的变化

液的洁净度具有重要意义。酸溶铝含量太低,钢中的溶解氧含量高,从而导致总氧含量升高;钢中的酸溶铝含量太高,则钢液易与炉渣、耐材及大气发生作用,导致酸溶铝的烧损,并生成 Al_2O_3 夹杂物。本试验钢种 LF 白渣后钢液中酸溶铝含量比较稳定,控制在 0.022 5% ~ 0.025% 之间波动,精炼过程中酸溶铝烧损量不大。

2) Ca 。Ca 处理可以将钢中的 Al_2O_3 夹杂物变性为低熔点的液态钙铝酸盐,从而降低水口堵塞的概率。钙线喂入量与钙处理前钢中的总氧含量、酸溶铝含量、硫含量及钙的收得率有关。Ca 含量太低不能将 Al_2O_3 夹杂物变性为低熔点的钙铝酸盐, Ca 含量太高会生成高熔点 CaS 。钙线喂入时会由于钢液剧烈波动导致炉渣氧化性增加。

3) Mg 。钢中 Mg 来源于合金杂质、炉渣及炉衬中的 MgO 。铝镇静钢中,极少量的 Mg 含量就会导致高熔点尖晶石夹杂物的形成,引起水口堵塞。本试验钙处理前, Mg 含量为 0.001 0%, 钙处理后 Mg 含量增加到 0.001 2%。

4) $T[O]$ 。 $T[O]$ 含量高不仅对钢材的质量不利,还会导致水口堵塞。从图 1 试验结果来看,钢中总氧含量不仅没有降低,而且略有上升,钙处理后的

总氧为0.003 1%。导致总氧含量偏高主要有以下几方面的原因:①炉渣氧势较高,钙处理前(FeO+MnO)为0.84%,软吹后上升至1.23%。②炉渣碱度较低,整个处理过程中均保持在3.5以下,不足以抑制SiO₂向钢液供氧。③炉渣的流动性较差,炉渣吸收夹杂物的动力学条件不好。

3.3 炉渣成分及影响分析

对各取样点炉渣进行成分化验,结果见图2。

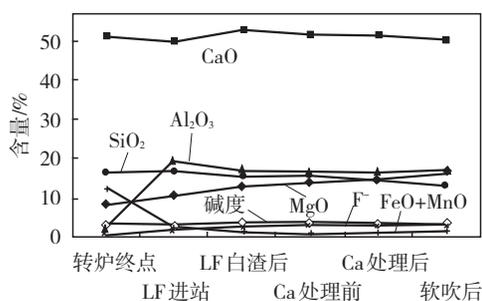


图2 炉渣成分含量变化

1)炉渣碱度。高碱度渣有利于降低钢液中的溶解氧含量及夹杂物的吸收,但是炉渣碱度过高会导致炉渣的流动性不好,不利于夹杂物的溶解和吸收;适当高的碱度还有利于抑制渣中SiO₂的还原,抑制其向钢液供氧。从LF进站到钙处理完毕,炉渣碱度在3.3~3.7之间波动,变化较小。软吹后,炉渣碱度有所降低,说明软吹后加入钢包中的酸性覆盖剂对碱度有所影响。

2)Al₂O₃。炉渣中Al₂O₃含量对Al₂O₃夹杂物的吸收有重要作用。渣中的Al₂O₃含量太低,会使得高碱度渣的流动性变差,夹杂物的溶解和吸收的动力学条件不好;Al₂O₃含量太高,炉渣的夹杂物容量达到饱和,不能够继续吸收溶解夹杂物。本试验白渣后至软吹渣中Al₂O₃变化不明显,在16%左右。

3)MgO。炉渣中一定含量的MgO,有利于提高钢包渣线寿命。MgO过高,会导致精炼渣的流动性变差,夹杂物在炉渣中吸收的动力学条件不足。另外,MgO含量过高会导致钢液中的Mg含量升高。经验得出渣中的MgO含量要低于7%。本试验控制MgO含量明显偏高。

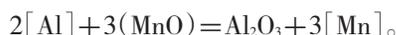
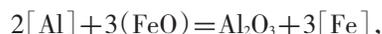
4)CaF₂。CaF₂在调节流动性方面效果很好,有利于夹杂物的吸收溶解。但是CaF₂含量过高会导致炉渣太稀,会导致炉衬侵蚀和钢液吸气,另外过多使用CaF₂也不利于环保,精炼过程中应尽量少用。本试验中F⁻含量都在3%以下,控制较为合理。

5)FeO。FeO含量反映了炉渣供氧能力,为了生产低氧钢,炉渣中FeO要控制在0.8%,甚至是0.5%以下。本试验中炉渣氧势较高,钙处理和软吹后均有上升,说明钢液面有所裸露,钢液吸气,二次氧化,致使(FeO+MnO)含量略有升高。

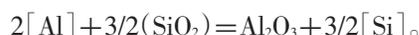
3.4 渣-钢间高温反应基本规律

LF炉精炼过程中渣钢间的平衡关系对钢中夹杂物的去除及生成有重要影响。

本试验LF精炼开始时至白渣完毕前,钢中酸溶铝的损失主要是炉渣中的FeO和MnO等不稳定氧化物与钢液中的Al反应生成Al₂O₃夹杂物,其反应如下:



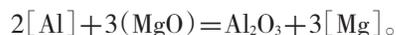
因此要对炉渣实行彻底脱氧,造好白渣;且要防止钙处理时钢渣界面过度翻腾导致的FeO含量增加。白渣完毕后炉渣中的FeO和MnO的总量降至1%以下,甚至0.5%以下。如果炉渣碱度较低,会发生炉渣中SiO₂的还原反应生成Al₂O₃夹杂物,其反应如下:



因此,需要保证较高的碱度来抑制SiO₂还原。钢液发生脱硫反应时,也会有Al₂O₃夹杂物的生成,其反应如下:



如果钢液在LF中需要脱硫精炼,尽量在前期实施大搅拌促进钢液脱硫,后期避免钢渣脱硫反应产生新的Al₂O₃夹杂物。当钢中Al含量较高,且炉渣中MgO含量也较高时,会发生炉渣中MgO的还原,其反应如下:



控制渣中MgO含量和炉渣碱度及钢中Al含量,可以控制炉渣中MgO的还原。

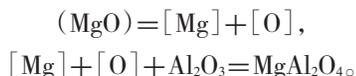
3.5 Ca处理的影响

通过Ca处理,可以使得钢中的Al₂O₃夹杂物转变为低熔点的钙铝酸盐,从而防止水口堵塞。根据钢液的总氧含量、酸溶铝含量、硫含量、温度及钙的收得率等因素,控制Ca的加入量很关键。否则会生成固态的钙铝酸盐、CaS,甚至是镁铝尖晶石,这些物质都是高熔点的夹杂物,同样会造成水口的堵塞。[Ca]/[S]应控制在2~5,如果[Ca]/[S]<2,钢中就仍然存在MnS夹杂;如果[Ca]/[S]>5,纯CaO和CaS就会在钢中出现^[2]。

钙处理时要有足够的钙将钢液中Al₂O₃夹杂物转变为液态的钙铝酸盐。如果钙加入量过少,生成的将会是固态的钙铝酸盐,同样会堵塞水口。因此,钙处理前钢液的洁净度要高,这样所需的Ca加入量也少。

另外,当钙处理时钢液中硫含量较高时,Ca含量超过一定量之后会很容易生成高熔点的CaS。CaS夹杂物同样会导致水口堵塞。因此,钙处理前

要保证低的硫含量。本试验钙处理前钢中的硫含量较低,在0.010 0%左右。钙处理时,钢液中的氧势很低,会促进炉渣及耐材中的MgO的分解,从而导致钢中Mg含量的升高,这些Mg会导致尖晶石夹杂物的生成,其反应如下:



高熔点镁铝尖晶石夹杂物的形成,也会导致水口堵塞。

3.6 Ti处理的影响关系

20CrMnTiH钢中含约0.06%的Ti。Ti与Al一样也是活泼元素,因此在精炼或连铸过程会产生与Al相似的反应,如 $[\text{Ti}] + (\text{SiO}_2) = \text{TiO}_2 + [\text{Si}]$ 。因此,一定要防止钢液与炉渣、耐材及覆盖剂作用发生二次氧化。另外,Ti会增加钢液与 Al_2O_3 夹杂物之间的润湿性,不利于 Al_2O_3 夹杂的上浮去除。因此,Ti处理前,应将钢液中的 Al_2O_3 夹杂物去除干净,即钛线应在精炼炉末期喂入。

3.7 夹杂物堵塞水口的原因分析

对夹杂物的观察发现,软吹后的夹杂物主要为 Al_2O_3 、 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 以及CaS和含Ti类夹杂物。结合莱钢转炉生产齿轮钢的特点,硫含量、氮含量控制均较低,所以由硫化物和TiN引起的水口结瘤的可能性较小。因而,形成水口结瘤的主要原因为 Al_2O_3 夹杂物以及复合 Al_2O_3 夹杂物所引起。造成这种情况的主要精炼机理为:炉渣成分和钢液脱氧剂控制不匹配直接或间接造成。

对特殊钢精炼来讲,通常采取两种工艺路线,一种是高碱度(4以上)+较高铝含量(0.010%~0.025%),获得高洁净度特殊钢。另一种工艺为中等碱度(3左右)+中等铝含量(0.008%~0.015%),获得较高洁净度特殊钢。

从本试验渣钢成分分析来看,所采取的铝含量较高,而炉渣碱度偏低,工艺路线不足在于:

1) 钢中铝非常容易将炉渣中的 (SiO_2) 还原,尤其是在LF炉前期采用大搅拌时和后期钙处理时发生,其产物主要为 Al_2O_3 ,特别是钙处理过程中形成的 Al_2O_3 夹杂物没有充分的去除时间。常常发现钙处理后氧含量升高也说明了这一点。

2) 高碱度炉渣具有较强吸附 Al_2O_3 夹杂物的能力,当炉渣碱度低于3左右时,炉渣吸附 Al_2O_3 夹杂物的能力明显减弱。本次试验取样中发现LF精炼过程氧含量基本不变与炉渣吸附夹杂物能力较低密切相关。

4 结 论

4.1 转炉终点至钙处理前夹杂物主要为MnS,钙处理至软吹后开始出现镁铝尖晶石等复合夹杂物。

4.2 莱钢特钢转炉优钢生产工艺中转炉终点、LF进站、LF白渣后、Ca处理前夹杂物尺寸基本都在 $5 \mu\text{m}$ 以下,Ca处理后夹杂物尺寸大都在 $2 \sim 3 \mu\text{m}$;软吹后夹杂物尺寸基本都在 $5 \mu\text{m}$ 以下。

4.3 控制钢中铝含量在0.008%~0.015%;提高炉渣碱度,控制炉渣中 SiO_2 含量在12%~15%;控制炉渣中MgO含量在4%~6%,有利于提高转炉优钢的洁净度。

4.4 炉渣成分和钢液脱氧剂控制不匹配直接或间接生成的 Al_2O_3 夹杂物以及复合 Al_2O_3 夹杂物是水口结瘤的主要原因。

参考文献:

- [1] 尚德礼,张洪哲,吕春风.30 t转炉-钢包吹氧-连铸生产A级船板钢中的非金属夹杂[J].特殊钢,2007,28(6):53.
- [2] 王敏,包燕平,刘建华,等.LF喂Si-Ca线对X70管线钢夹杂物变性的影响[J].特殊钢,2009,30(5):51.

Cleanliness Analysis and Control of 20CrMnTiH Gear Steel in Laiwu Steel

WU Bing, YANG Mi-ping, ZHAO Guan-fu, MA Chuan-qing

(Laiwu Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271105, China)

Abstract: In order to analyze the main factors of influencing the liquid steel cleanliness, by sampling from the steel and slag and combined with total oxygen analysis, scanning electron microscope and other methods, the cleanliness of the 20CrMnTiH steel produced by Laiwu Steel Special Steel Plant in converter flow was analyzed systemically. It is beneficial to improve the cleanliness of converter gear steel that controlling the Al content in steel between 0.008% and 0.015%, improving slag alkalinity, controlling the SiO_2 content in slag between 12% and 15% and the MgO content in slag between 4% and 6%. Between the end point of the converter and calcium treatment, the main inclusion is MnS. From calcium treatment to soft blowing, the composite inclusions such as magnesia alumina spinel began to appear. The inclusion size is under $5 \mu\text{m}$ in the main. The inclusion size is between $2 \mu\text{m}$ and $3 \mu\text{m}$ after calcium treatment.

Key words: gear steel; 20CrMnTiH; converter production; cleanliness; inclusion