

30 t 转炉-钢包吹氩-连铸生产 A 级船板钢中的非金属夹杂

尚德礼¹ 张洪哲² 吕春风¹

(1 鞍钢股份有限公司技术中心, 鞍山 114009; 2 河北理工大学冶金与能源学院, 唐山 063009)

摘要 用电解法和扫描电镜(SEM)分析研究 30 t 顶吹氧气转炉-钢包吹氩-150 mm × 1 050 mm 板坯连铸工艺生产的 A 级船板钢(% : 0.16C, 0.21Si, 0.50Mn, 0.011P, 0.027S)中的非金属夹杂的组成、尺寸、数量和分布。结果表明, A 级船板钢中的夹杂物包括硅酸盐、铝硅酸盐、硫化物以及铝硅酸盐-硫化物复合夹杂物。钢水二次氧化及耐火材料外来夹杂抵消了吹氩去除夹杂物的冶金效果。增强中间包去夹杂能力可减少钢中大尺寸夹杂物。

关键词 转炉-钢包吹氩-连铸流程 A 级船板钢 非水溶液电解 非金属夹杂物

Non-Metallic Inclusion in Grade A Hull Plate Steel Produced by 30 t Converter - Ladle Argon Stirring - Concasting Flowsheet

Shang Deli¹, Zhang Hongzhe² and Lü Chunfeng¹

(1 Technical Center, Angang Co Ltd, Anshan 114009;

2 School of Metallurgy and Energy, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

Abstract The compound, size, amount and distribution of non-metallic inclusion in grade A hull plate steel (0.16C, 0.21Si, 0.50Mn, 0.011P, 0.027S) produced by 30 t LD converter - ladle argon stirring - 150 mm × 1 050 mm slab concasting flowsheet have been analyzed and studied by electrolytic extraction analysis and scanning electron microscope (SEM). Results showed that the inclusion in grade A hull plate steel included silicate, alumina-silicate, sulphide and alumina-silicate-sulphide compound inclusion. The secondary oxidation of liquid steel and inclusion in steel from refractory materials counteract the metallurgical effect of argon blowing to remove inclusion in steel therefore to strengthen the ability of tundish removing inclusions could decrease large size inclusions in steel.

Material Index LD - Ladle Argon Stirring - Concasting Flowsheet, Grade A Hull Plate Steel, Electrolysis with Non Aqueous Solution, Non-Metallic Inclusions

20 世纪 70 年代初, 钢中夹杂含量只能降到 235×10^{-6} 左右, 而到 90 年代, 已能将其去除到 40×10^{-6} 以下^[1]。A 级船板为适用于制造船体结构的最普通的一般强度钢, 通常以热轧状态供货。钢厂在生产 A 级船板时, 要对 A 级船板的质量从冶炼开始进行比较严格的控制, 降低其夹杂物含量, 使其具有良好的冷加工性能, 保证船舶产品的整体质量^[2]。

本文以公称容量为 30 t 转炉和浇注断面为 150 mm × 1 050 mm 的连铸机为研究对象, 进行了夹杂物的分析研究。

1 研究方法

炼钢厂的生产工艺流程为: 转炉炼钢→钢包吹氩→连铸, 试验钢种为 A 级船板钢(% : 0.16C、0.21Si、0.50Mn、0.011P、0.027S)。顶吹转炉出钢时采用挡渣球和挡渣帽挡渣, 钢包平均渣层厚度 55 mm; 采用 MnFe 和 SiFe 合金脱氧, 并且根据脱氧情况加入适量铝块; 钢包吹氩 3 ~ 5 min, 吹氩压力 0.2 ~ 0.3 MPa; 钢包用碳化稻壳作为覆盖剂; 钢包至中间包采用锆质长水口保护浇铸; 中间包未采用挡

渣墙和挡渣坝, 内衬材料为硅质绝热板; 弧形连铸机正常浇铸拉速为 0.85 m/min, 液面控制为手动。

本研究在吹氩前、吹氩后、中间包、连铸坯取样。中间包取样是在中间包入口处(即钢包铸流区域)取样, 取样时间为钢包开始铸钢后 10 ~ 15 min(既浇铸平稳时), 取样时样模插入液面下 200 ~ 300 mm 处。连铸坯取样是在距内弧 1/4 厚度处的宽度方向上取样, 然后加工成 $\Phi 10 \text{ mm} \times 110 \text{ mm}$ 钢棒, 作为电解试样。

为了克服金相试样法带有随机性的缺点和酸性水溶液电解法容易侵蚀或溶解夹杂物的缺点, 本次试验在研究钢中夹杂物时, 采用非水溶液电解法分离钢中的夹杂物。用这种方法能使其它电解方法很容易破坏的硫化物夹杂完整地保留下来^[3,4]。电解夹杂试样在电解时, 以试样为阳极, 不锈钢片为阴极, 用无水甲醇为溶剂的有机溶液作电解液, pH = 8, 阳极电流密度 $\leq 100 \text{ mA/cm}^2$ 。电解时控制电解液温度为 $-5 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$, 在电解分离过程中采用氩气保护。然后将萃取出来的夹杂物单层地放置在一抛光

的平面上,采用 LEO-1450 型扫描电子显微镜和 KEVEX sigma 能谱分析系统,对提取出的夹杂物进行形貌及成分分析。用图像仪检测钢中非金属夹杂物的大小和数量。

2 试验结果与分析

2.1 夹杂物类型

2.1.1 钢液

扫描电镜观察发现,吹氩前后及中间包钢液中的夹杂物以球状铝硅酸盐、不规则状硅酸盐和不规则状铝硅酸盐夹杂物为主(图 1)。

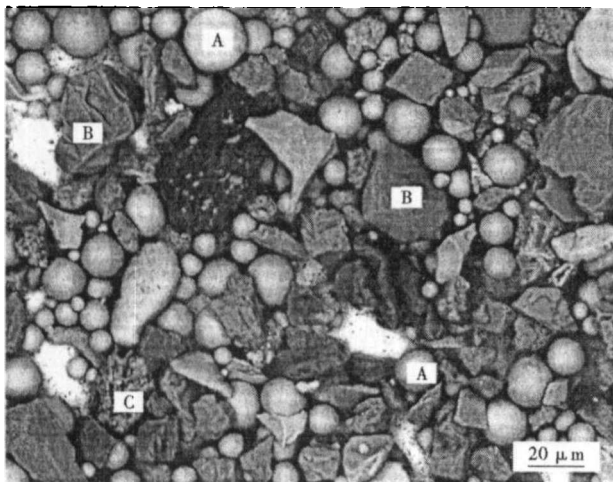


图 1 钢液中夹杂物形貌,SEM: A- 球状铝硅酸盐;B- 不规则状硅酸盐;C- 不规则状铝硅酸盐
Fig. 1 Morphology of inclusions in liquid steel, SEM: A- spherical alumina-silicate; B- erose silicate; C- erose alumina-silicate

钢液中典型夹杂物经扫描电镜分析的检测结果见表 1。表 1 中球状铝硅酸盐夹杂数据折算成化合物为(%) : 16.16Al₂O₃、49.06SiO₂、4.86CaO、0.97MgO、28.95MnO。夹杂物中含有较多的 Si、Mn、Al,由夹杂物的形貌及成分可知^[5],球状夹杂物主要来源于脱氧产物,属内生夹杂物。

表 1 球状铝硅酸盐和不规则状硅酸盐夹杂的成分

Table 1 Ingredient of spherical silicate inclusion and erose silicate inclusion

夹杂物类型	化学成分/%					
	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn
球状铝硅酸盐	40.39	0.60	8.80	23.55	3.57	23.07
不规则状硅酸盐	62.22	0.23	1.91	35.64	0	0

表 1 中不规则状硅酸盐夹杂数据折算成化合物为(%) : 3.93Al₂O₃、95.03SiO₂、0CaO、0.47MgO、0MnO。这类夹杂物的显著特点是 SiO₂ 含量高,不

含 MnO,由夹杂物的形貌及成分可知^[5],不规则状夹杂物具有明显外来夹杂物的特征,主要来源于耐火材料,属外来夹杂物。

2.1.2 铸坯

铸坯中夹杂物以球状铝硅酸盐夹杂物为主,多数夹杂物含有 Ca、Ti、Na 等外来元素。在铸坯样中发现了钢液样中未观察到的硫化锰夹杂以及铝硅酸盐 + 硫化锰的复合夹杂,图 2 中标有字母 A 的条状

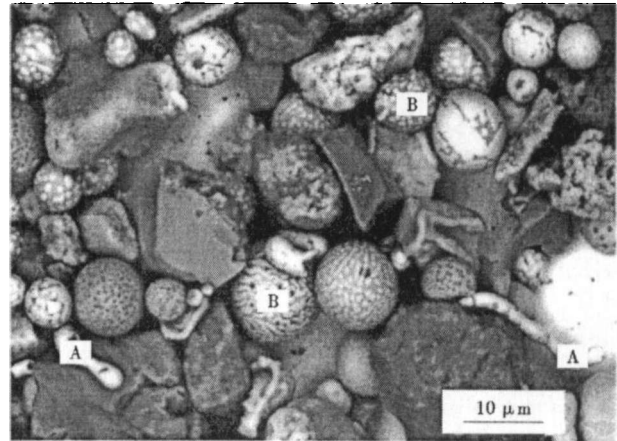


图 2 连铸坯试样中夹杂物形貌,SEM: A- 硫化锰;B- 铝硅酸盐 + 硫化锰
Fig. 2 Morphology of inclusions in concasting slab, SEM: A- manganese sulphide; B- alumina-silicate + manganese sulphide

夹杂为典型的硫化锰,标有字母 B 的球状夹杂为铝硅酸盐 + 硫化锰复合夹杂,球体灰色部分为铝硅酸盐,白色斑点或白色条纹为硫化锰。

2.2 夹杂物粒度及数量

2.2.1 钢液

经图像仪分析发现,吹氩前后相比,钢水中的球状夹杂物以直径小于 80 μm 的夹杂为主,球状夹杂物的最大直径由 170 μm 下降到 110 μm,说明吹氩工艺能去除部分直径较大的球状夹杂物。但是由耐火材料带入的不规则状夹杂物最大粒径由 300 μm 增加到 400 μm,说明钢包吹氩引起钢液的流动,加剧了钢液对耐火材料的冲刷作用,导致钢液中外来夹杂物增加。

吹氩后小颗粒夹杂物数量有所上升,从吹氩结束到中间包,尽管钢液中直径小于 50 μm 的夹杂物数量略有下降,但是直径大于 50 μm 的夹杂物数量明显上升。由夹杂物粒度变化规律可以看出,在吹氩过程中和钢水进入中间包的过程中,存在夹杂物的碰撞长大和二次氧化现象^[6]。

图 3 为夹杂物凝聚长大示意图。新生成的夹杂

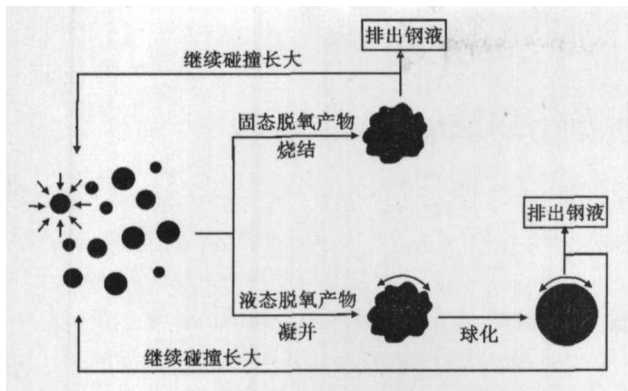
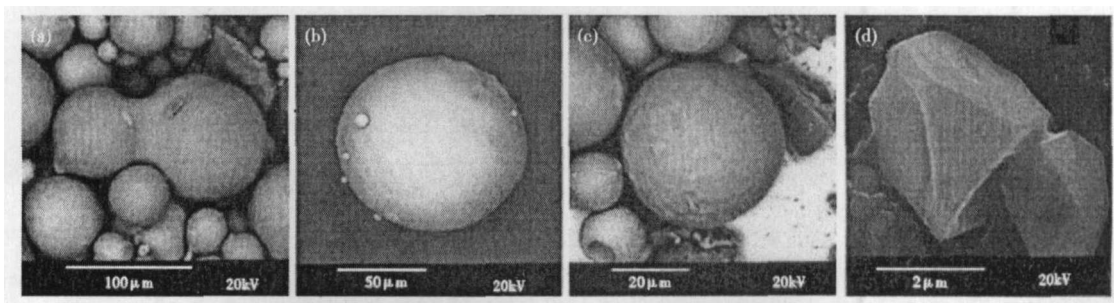


图3 钢中夹杂物凝聚长大的示意图

Fig. 3 Schematic of accumulating and growing of inclusions in steel

物粒径较大,上浮较快,有可能排出钢液,也有可能在上浮过程中继续发生碰撞长大。对于固态脱氧产物,如熔点较高的 Al_2O_3 夹杂物发生团聚后,表面张力不可能使烧结在一起的夹杂物发生球化,因此还将保持不规则的团聚状态,或者上浮排除出钢液,或者在上浮过程中继续发生碰撞团聚。

图4中(a)、(b)为球状铝硅酸盐夹杂物发生了团聚;(c)为夹杂物发生团聚后还没有完全球化的夹杂物,可以看出该夹杂物表面并不是光滑的,表面上凸起的部分很可能是与其发生团聚的小粒径夹杂物被吞灭掉的痕迹,并且这种形状的夹杂物数量较多;(d)为烧结到一起的固态脱氧产物(Al_2O_3)。

图4 夹杂物凝聚长大的形貌,SEM:(a)、(b)-球状铝硅酸盐的团聚;(c)团聚夹杂物;(d) Al_2O_3 Fig. 4 Morphology of accumulated and grown inclusions, SEM: (a), (b)-accumulation of spherical alumina-silicate; (c) accumulated inclusions; (d) Al_2O_3

2.2.2 铸坯

研究发现,浸入水口插入深度浅,其夹杂物含量比敞流浇铸时夹杂物含量还高,说明过浅的水口插入深度对控制铸坯洁净度不利,甚至会造成钢水夹杂物含量增加。在取结晶器样时人为向结晶器内加入保护渣,模拟快换水口时违规操作造成的卷渣现象,发现该试样中夹杂物含量高于正常浇铸试样中夹杂物含量,并且含有直径 $>300\ \mu\text{m}$ 的夹杂物,这种大型夹杂物一般都含有Ca、Na等外来元素成分,可以认为保护渣卷入对铸坯质量的影响较大。

3 结论

(1) A级船板钢中的夹杂物包括硅酸盐、铝硅酸盐、硫化物以及由铝硅酸盐夹杂和硫化物组成的复相夹杂物,其他种类的夹杂物数量很少。

(2) 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火材料带来的大量夹杂物,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。

(3) 钢水精炼过程防止卷渣,适当延长吹氩时间;优化中间包内部流场,合理设置挡渣墙,加强中

间包包体维护,提高中间包去除夹杂物的能力;改进中间包水口材质,延长水口使用寿命;在长水口与中间包连接处增加密封垫,减少钢水二次氧化;增加保护渣对夹杂物的吸附能力均可减少与控制钢中夹杂物含量。

参考文献

- 王新华. 洁净钢生产技术. 钢铁, 1999, 34(增刊): 368
- 蔡宏伟, 莫建法. A级船板冷加工开裂原因及解决途径. 上海金属, 2004, 26(1): 30
- 方克明, 熊仲明, 张鑫. 钢中夹杂物研究方法的探索. 冶金物理化学论文集. 北京: 冶金工业出版社, 1997
- Fang Keming, Ni Ruiming. Research on Determination of the Rare-Earth Content in Metal Phases of Steel. Metallurgical Transaction, 1986, 17A: 315
- 李为缪. 钢中非金属夹杂物. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 董履仁, 刘新华. 钢中大型非金属夹杂物. 北京: 冶金工业出版社, 1991

尚德礼(1973-),男,硕士,2005年北京科技大学毕业,冶金工艺和技术。

收稿日期:2007-05-22