DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.09.007

CSP 薄板坯连铸开浇炉次大型夹杂物研究与控制

谯德高,冯海军,冯永平,谢　健
(酒泉钢铁(集团)有限责任公司,甘肃 嘉峪关 735100)

摘　要:某钢厂 CSP 薄板连铸生产高强汽车用钢、家电用钢等产品,开浇炉次卷板表面大型夹杂缺陷对产品质量造成严重危害,通过在中间包取样,采用扫描电镜、氧氮分析、光谱分析等手段,结合现场工艺参数,对产生夹杂缺陷的影响因素进行了分析研究。结果表明,造成 CSP 薄板坯开浇过程结晶器液面波动的主要原因为钢液二次氧化生成大量的夹杂物,以及钢液钙铝比控制不合理,造成钢液流动性变差。基于研究结果提出了相应的控制措施,开机炉次大型夹杂缺陷率降低了 35.82%。

关键词:开浇炉次;钙铝比;钢液二次氧化;大型夹杂缺陷
中图分类号:TF777　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)09-0911-04

Investigation and Control of large Inclusion During CSP Thin Slab Continuous Casting Start Process

QIAO Degao, FENG Haijun, FENG Yongping, XIE Jian
(Jiuquan Iron and Steel (Group) Co., Ltd., Jiayuguan 735100, China)

Abstract: The large inclusion defects of high strength automobile steel and household appliance sheet seriously affect the product quality during CSP casting start process in a steel plant. The influencing factors of inclusion defects were studied by means of the SEM, oxygen and nitrogen analyzer and spectral analysis, in terms of process parameters. The results show that the main reasons for the fluctuation of molten steel liquid level in crystallizer during CSP thin slab casting are the large amount of inclusions generated by the secondary oxidation of molten steel, and the unreasonable control of the calcium-aluminum ratio of molten steel, resulting in the poor fluidity of molten steel. Based on the research results, the corresponding control measures are proposed, and the failure rate of secondary large inclusion is reduced by 35.82% during casting start process.

Key words: casting start; calcium-aluminum ratio; molten steel reoxidation; large inclusion defects

连铸开浇过程为非稳态浇铸,此过程结晶器液面波动幅度较大、拉速提升、钢液二次氧化、结晶器液面卷渣等均造成铸坯中夹杂物含量增加,降低铸坯质量[1]。某钢厂通过 CSP 流程生产的低碳铝镇静钢开浇炉次卷板表面大型夹杂缺陷给产品质量带来严重的影响。在 2019 年 1 月 ~6 月,通过薄板连铸工艺生产的卷板所有缺陷中开浇炉次占比为 29.34%,因此,研究开浇过程夹杂物产生的原因,最大程度的提高开机炉次铸坯质量、卷板质量,对于产品质量的大幅提升意义重大。

1　某钢厂 CSP 薄板连铸工艺条件

1.1　工艺路线

某钢厂生产低碳铝镇静钢的工艺流程为:铁液预脱硫→120 t 顶底复吹转炉→LF→CSP 薄板坯连铸机→辊底式均热炉→6 机架热连轧→层流冷却→卷取。原料为铁液和废钢,转炉采用 Al 脱氧,精炼处理完毕经过软吹后到连铸机浇铸,中间包过热度控制 20~35 ℃,拉速控制 3.2~4.9 m/min。

1.2　连铸机基本技术参数

某钢厂 CSP 生产线于 2006 年建成投产,产品主要以汽车板、家电板、汽车高强用钢、管线钢、其他普碳钢为主,具备液芯压下、结晶器在线调宽调锥、浸入式水口均匀侵蚀、动态二冷配水等功能。连铸机基本技术参数见表 1。

2　热轧卷板夹杂物形貌及电镜分析

2.1　夹杂缺陷宏观特点

低碳铝镇静钢开机炉次夹杂缺陷的特点为尺寸较大的表面夹杂、翘皮缺陷,宏观形状为大型柳叶状、白色,宏观尺寸一般为长 20~30 mm,宽 1~6 mm 的柳叶状,卷板上下表面随机出现且位置不固定,且

收稿日期:2019-07-23
作者简介:谯德高(1983-),甘肃嘉峪关人,工程师.研究方向:冶金工艺与产品开发研究.电话:0937-6714615,E-mail:qiaodegao@jiugang.com

表1 连铸机基本技术参数
Tab.1 Critical technical parameters of caster

项目	技术参数
机型	立弯式薄板坯连铸机
二冷配水	动态二冷配水
结晶器	漏斗结晶器,长 1 100 mm
铸坯厚度	52~70 mm
铸坯宽度	950~1 680 mm
冶金长度	8 065 mm
中间包容量	30 t

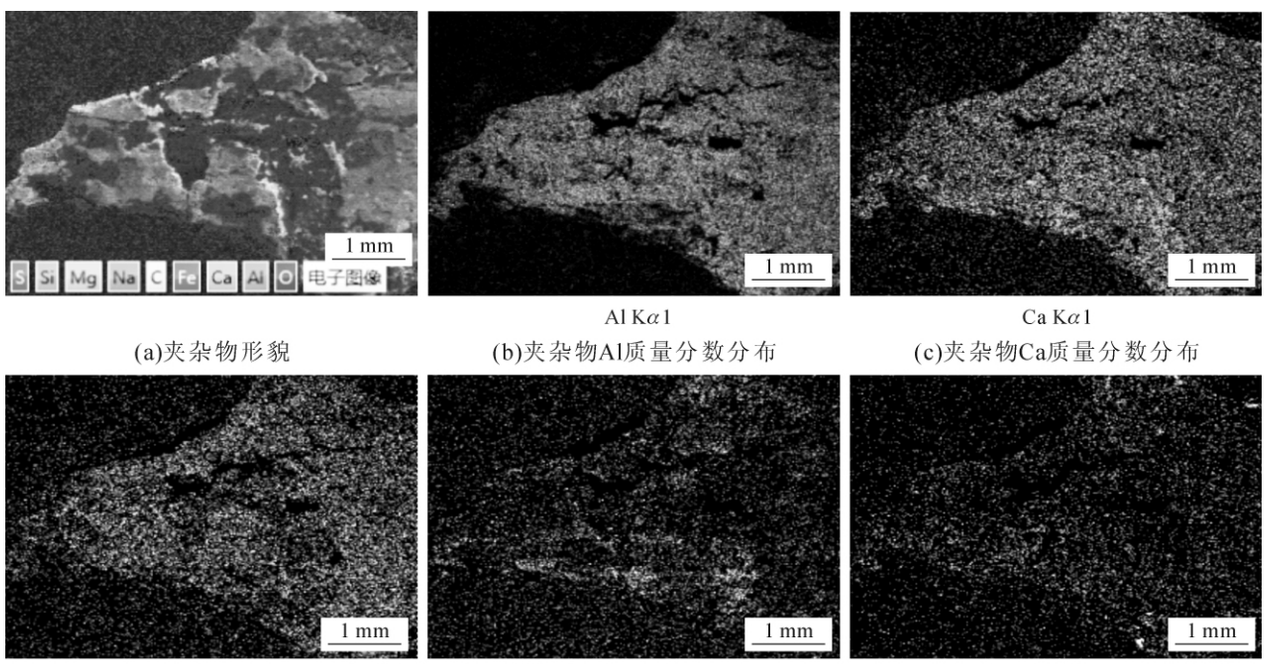
此缺陷一直可以遗传至最终冷轧产品,造成表面夹杂或翘皮缺陷降级。为了确定夹杂物的来源,对热轧卷板上的夹杂物取样进行电镜分析。

2.2 夹杂物电镜面扫描以及能谱分析结果

对于热轧卷板表面大型夹杂物来源按以下原则推断,K、Na、F 3 种元素之一含量较高的可归于结晶器卷渣；含有 SiO_2 或 Cr 元素为主的可能来自于钢包引流沙；以 Al_2O_3 为主的夹杂物来源于水口结瘤物脱落；含 MgO 较高的夹杂物可能来自于耐火材料；不含 Na 的钙硅铝酸盐可能与钢液洁净度以及钢液中夹杂物变性有直接关系[2]。以此为参考,对夹杂物分面扫描和能谱进行分析。图 1 为热轧卷板表面大型夹杂物的面扫描结果，典型夹杂缺陷的能谱分析结果见图 2。

由图 1、图 2 可见,夹杂物中 Al、Ca、Mg、Si、Na 元素集中分布，故此类夹杂物为以 Al_2O_3 为主要组分、同时含有少量 CaO、MgO、SiO_2 以及 Na_2O 等组分的复合夹杂物,根据相关文献[3],此类夹杂物主要是来源于钢液氧化、水口结瘤、以及耐火材料,同时由能谱分析可知，夹杂物中含有 1.4%的钠元素,这说明此夹杂为结晶器液面波动过程结晶器卷渣产生。

由以上分析可知，开浇炉次夹杂物来源主要是



(a)夹杂物形貌 (b)夹杂物Al质量分数分布 (c)夹杂物Ca质量分数分布

(d)夹杂物Mg质量分数分布 (e)夹杂物Si的质量分数分布 (f)夹杂物Na的质量分数分布

图 1 热轧卷板表面大型夹杂物面扫描结果
Fig.1 Surface scanning results of typical inclusion for hot rolled coiled sheet

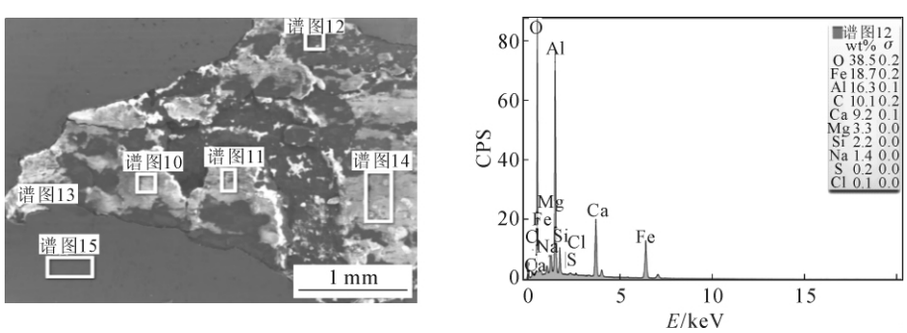


图 2 夹杂物宏观形貌及电镜分析结果
Fig.2 SEM image and EDS results of inclusion

外来夹杂，为水口结瘤物与耐材形成的复合大型夹杂物，以及结晶器液面卷渣造成的大型夹杂；因此，控制开机炉次夹杂缺陷的关键是控制开浇过程水口结瘤和结晶器液面卷渣。

3　夹杂物产生的原因分析

3.1　开浇结晶器液面稳定性影响分析

结晶器液面和塞棒位置均出现大幅度的波动的特征为，自动开浇拉速提升至起步拉速后，随着浇铸的进行，塞棒上涨，之后伴随着上下波动，导致结晶器液面随之出现波动，某些情况下反复出现，表现出一定的随机性，而此情况基本均发生在低碳铝镇静钢钢种，塞棒最大涨幅可达 20 mm，结晶器液面波动最大可达 18 mm。因此开浇过程水口结瘤导致塞棒上涨波动，结瘤物被冲刷脱落进入钢液被凝固前沿捕捉形成产生以 Al_2O_3 为主的复合夹杂物，结晶器液面波动过程结晶器内流场发生剧烈变化，造保护渣被卷入钢液被凝固前沿捕捉造成夹杂缺陷，产生以结晶器卷渣为主的复合夹杂物。

3.2　开浇过程钢液二次氧化分析

连铸开浇阶段，由于中间包很难完全密闭，钢液有大约 3~4 min 时间与空气大面积，此过程会发生较严重二次氧化，造成钙损失、酸铝损失、钙铝比降低，生成大量的 Al_2O_3 恶化钢液可浇性，Al_2O_3 夹杂物在浸入式水口内壁沉积，造成结晶器内由浸入式水口流出的钢液发生“偏流”，或者导致塞棒频繁涨降，引起结晶器液面随之出现较大幅度波动。

(1)开浇过程钙铝比分析　从大包开浇开始，每 10 t 取样球拍样一次，使用光谱分析检测成分变化，将表征钢液流动的指标钙铝比趋势见图 3。

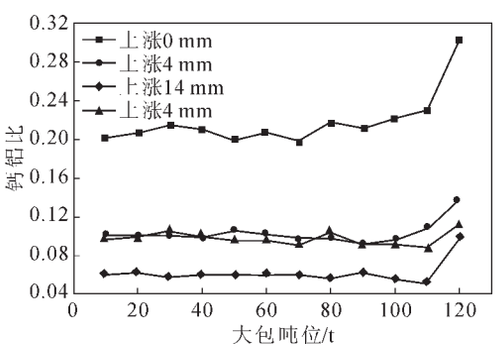


图 3　钙铝比与塞棒波动的关系

Fig.3　Relation for Ca/Al ratio and SR fluctuation

从钙铝比趋势明显可见，塞棒未上涨的炉次，精炼出站钙铝比控制为 0.30，中间包内的钙铝比保持在 0.20~0.22 的水平；而塞棒上涨 14 mm 的炉次，精炼出站钙铝仅比为 0.09，中间包内钙铝比基本为 0.05~0.08；塞棒上涨 4 mm 的炉次钙铝比出站为 0.10~0.11，中间包为 0.08~0.10；可见，钙铝比与薄板连铸开机塞棒上涨和液面波动有直接的对应关系，故精炼适当的提高钙铝比，连铸控制大包开浇后的钙损，对于开浇过程塞棒位置和液面的控制极为有利。

(2)从钢包到中间包钢液吸氮和吸氧情况根据吸氮量推断吸氧量，对开浇炉次中包钢液氮含量、浇铸过程增氮量，连浇炉次中包钢液氮含量、浇铸过程增氮量进行统计，共计选取 33 炉次进行分析，在浇注过程中，钢液吸氧与吸氮同时进行，其主要源头均为空气，根据文献[1]估算，吸氮 1×10^{-4}%，大约吸氧 2.8×10^{-4}%；所统计的数据中，开浇炉次增氮量平均 4.2×10^{-4}%，连浇炉次平均 2.4×10^{-4}%，即开机炉次增氮量为连浇炉次的 2.1 倍，这也说明了开浇炉次有空气与钢液接触，造成钢液吸氮吸氧；因此开浇炉次吸氧造成钢液严重二次氧化，钢液中夹杂物含量增加，钙铝比降低，钢液流动性变差。

造成吸氮、吸氧的主要原因为开浇中间包内氧化性气氛强，开浇后钢液大面积接触控制空气，加入大量高 SiO_2 的覆盖剂导致钢液氧化。

3.3　中包烘烤效果

中包烘烤质量差，包壁、包底温度低，开浇后钢液进入中包，由于中包吸热多，造成钢液温度降低，流动性变差，钢液粘结塞棒，造成开浇过程结晶器液面波动[3,4]。中间包烘烤过程混燃比控制不合理，煤气燃烧不充分则导致烘烤温度不能达到要求，空气配比大则会导致中间包包衬氧化性气氛强，钢液进入中间包后与包衬接触迅速被氧化。

4　控制措施

基于以上分析，提出以下控制措施：开浇前中间包进行充分充氩，保证充氩时间 4~5 min；中间包烘烤后期保持还原性火焰，避免中间包包衬被严重氧化；中间包开浇后在中间包液面上方继续充氩气，起到隔绝空气的目的；精炼适当提高出站钢液的钙铝比，保持在 0.14 以上，并确保钢液洁净度，避免夹杂物沉积在水口内壁造成塞棒和液面波动；开浇过程中间包钢液液面使用碱性中间包覆盖剂，避免覆盖剂中 SiO_2 氧化钢液。

5　措施实施效果

采取以上措施后，低碳铝镇静钢开浇结晶器液面波动得到了有效的控制，从最大 20 mm 到降低至 ±4 mm 以内，开浇炉次夹杂缺陷率降低了 35.82%。

6 结论

某钢厂 CSP 薄板坯开浇炉次夹杂缺陷的主要原因为开机过程钢液二次氧化生成大量的夹杂物，以及钢液中钙铝比控制不合理，造成钢液流动性变差导致塞棒上涨，结晶器液面波动所致；中包氧化性气氛强，浇注过程吸入空气、以及覆盖剂中 SiO_2 与钢液反应等造成开浇炉次从钢包到中间包钢液吸氮、吸氧程度较为严重；通过中间包充分充氩、使用碱性中间包覆盖剂、提高钢液的钙铝比、中间包钢液液面采用氩气保护等措施，取得了较好的效果，开浇液面波动稳定在±4 mm，开浇炉次夹杂缺陷率降低了 35.82%。

参考文献：

[1] 蔡开科. 浇注与凝固[M]. 北京: 冶金出版社, 1987.
[2] Carneiro R A, Ratnapuli R C, Lins V C. The influence of chemical composition and microstructure of API linepipe steels on hydrogen induced cracking and sulfied stress corrosion cracking [J]. Materials Science and Engineering: A, 2003(357): 104-110.
[3] Kihiko takahashi, Hiroyuki Ogawa. Influence of microhardness and inclusion on stress oriented hydrogen induced cracking of linepipe steels [J]. ISTS International, 1996, 36(3): 334-339.
[4] 曹晶，杨文，王新华. 低碳铝镇静钢连铸开浇阶段钢中非金属夹杂物的变化[J]. 钢铁, 2011, 46(6): 37-39.

（上接第 887 页）

[3] Aghion E, Bronfin B. Magnesium Alloys Development towards the 21st Century[C]// Materials Science Forum. 2000:19-30.
[4] Rashad M, Pan F, Lin D, et al. High temperature mechanical behavior of AZ61 magnesium alloy reinforced with graphene nanoplatelets[J]. Materials & Design, 2016, 89: 1242-1250.
[5] 袁秋红，曾效舒，吴俊斌. 石墨烯增强 AZ91镁基复合材料的力学性能[J]. 机械工程材料, 2016, 40(8): 43-48.
[6] 程思. 石墨烯增强镁基复合材料制备及其表面微弧氧化研究[D]. 南昌航空大学, 2017.
[7] 屈晓妮，周明扬，孙浩，等. 碳纳米管–石墨烯增强 AZ31 镁基复合材料实验研究[J]. 热加工工艺, 2018, 47(6): 137-140.
[8] 徐春杰，郭学锋，张忠明，等. 往复挤压及正挤压 AZ91D 镁合金丝材的组织及性能 [J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36(3): 500-504.
[9] 董群，陈礼清，赵明久，等. 镁基复合材料制备技术、性能及应用发展概况[J]. 材料导报, 2004, 18(4): 86-90.
[10] 代盼. SiCp 增强快速凝固镁基复合材料的组织与性能研究[D]. 西安理工大学, 2015.
[11] Atrens A, Song G L, Cao F, et al. Advances in Mg corrosion and research suggestions[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2013, 1(3): 177-200.

（上接第 906 页）

的试样，电导率高出 2~3 Ms/m。

（3）T6 热处理工艺可以提高试样电导率，随着时效温度的提高电导率逐渐提高，当时效温度为 190 ℃时，电导率提升较为显著，最高达到 23.8 Ms/m，力学性能也能满足客户要求。

综合以上实验，我公司采含 Ti（≤0.03%）的 AlSi10Mg 合金，采用 Sr 变质工艺，同时将热处理时效温度调整为 190 ℃，最终实现零件的电导率达到 23.5 Ms/m 以上的目标。

参考文献：

[1] Mingxing Wang, Sunjun Wang, Zhiyong Liu, et al. Effect of B/Ti mass ration grain refining of low-titanium aluminum produced by electrolysis [J]. Materials science and Engineering A.2006,416(1-2):312-316.
[2] 杨涤心，夏青，杨留栓，等. 铸造铝–硅合金的电导率与化学成分[J]. 特种铸造及有色合金, 2002(4):58-60.
[3] Shabestari S G, Miresmaeili S M, Boutorabi M A. Effects of Sr-modification and melt cleanliness on melt hydrogen absorption of 319 aluminium alloy [J]. Journal of materialsscience,2003,38:1901-1907.
[4] 刘相法，费振义，乔进国，等. Al-Si 合金中 Si 相的团粒化研究[J]. 铸造，2003，52（8）：538-541.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 **2019** 年《铸造技术》杂志
国内邮发代号：52–64　国外发行号：M855　国内定价：18 元/本　海外定价：18 美元/本