

文章编号:1000-582X(2006)02-0072-04

Q235 连铸板坯中非金属夹杂物的分析*

刘林飞¹,刘守平¹,周上祺¹,任勤¹,李丁²,康人木²,吴文东²

(1.重庆大学材料科学与工程学院,重庆 400030; 2.威远钢铁有限责任公司炼钢室,四川威远 610000)

摘要:为了进一步提高产品质量,提高钢材的纯净度,采用了光学显微镜、扫描电镜、X射线能谱仪以及电解称重法对威钢板坯连铸生产过程中非金属夹杂物的类型、数量、大小、组成及分布等进行了研究,并且讨论了目前生产工艺中非金属夹杂物的来源。结果表明:板坯的夹杂物主要是小于 $\phi 10 \mu\text{m}$ 的球形硅酸盐夹杂物,有少量的多边形夹杂物;有单相的也有多相的夹杂物;在板坯厚度和宽度方向上都是在1/4和1/3位置处出现聚集。夹杂物主要是由于钢液脱氧产生的内生夹杂物。

关键词:Q235 连铸板坯;非金属夹杂物;分布;来源

中图分类号:TF7

文献标识码:A

钢的纯净度主要受非金属夹杂物的影响,非金属夹杂物破坏了钢的连续性和致密性,对钢的产品质量将会带来极大的危害^[1]。由于生产过程中环境及工艺自身的影响,钢中非金属夹杂物的存在是不可避免的。因此减少连铸板坯中非金属夹杂物,使其具有高的纯净度,以保证钢的质量,对连铸生产至关重要。

以往对普碳钢的纯净度要求不高,对钢中夹杂物的研究比较少,随着科学技术和经济的发展,人们对钢的纯净度要求越来越高。降低普碳钢中的非金属夹杂物含量已成为各钢厂极为关注的问题^[2-6]。笔者通过对Q235连铸板坯系统取样检测,并结合其炼钢工艺,研究了铸坯中的非金属夹杂物。

1 取样方法

Q235连铸板坯的横断面为135 mm × 750 mm,化学成分如表1所示。取样炉数为2炉,在每炉连铸板坯的宽度和厚度方向上的边部、1/4、1/3、1/2处分别截取试样,取样示意图见图1(a),图1(b)为电解样示意图,样品编号如表2所示。样品经过在砂纸上研磨和抛光制备成金相试样,然后进行金相分析,以研究夹杂物的分布情况。

表1 试验钢的化学成分 %

试验炉号	C	Si	Mn	P	S
1 829	0.08	0.12	0.40	0.020	0.023
1 831	0.08	0.13	0.39	0.017	0.021

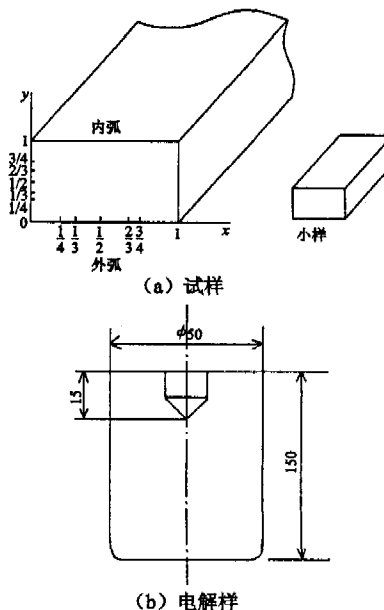


图1 取样示意图

表2 样品编号

炉号	位置						
	0	1/4	1/3	1/2	2/3	3/4	1
1 829	291	292	293	294	295	296	297
1 831	311	312	313	314	315	316	317

* 收稿日期:2005-10-15

作者简介:刘林飞(1979-),女,河南淮阳人,重庆大学博士研究生,主要从事材料测试与检测方法研究。

2 实验结果与讨论

2.1 夹杂物主要形态

从金相显微镜可以得到,连铸板坯中夹杂物为以下几种形态,如图2(a)全黑的球形夹杂物;(b)中心有亮点的球形夹杂物;(c)中心有亮点,外围有光圈的球形夹杂物;(d)规则的三角形或者四边形夹杂物.其中前3种形态的夹杂物占了绝大多数,第4种形态的夹杂物很少.

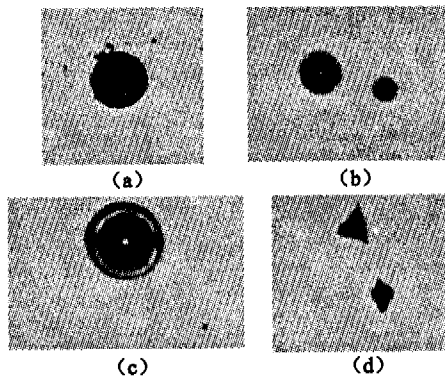


图2 板坯夹杂物金相照片(×100)

2.2 板坯夹杂物类型

用XL30-TMP型扫描电子显微镜和VANTAGE能谱仪对夹杂物进行检测分析,结果如图3-5.

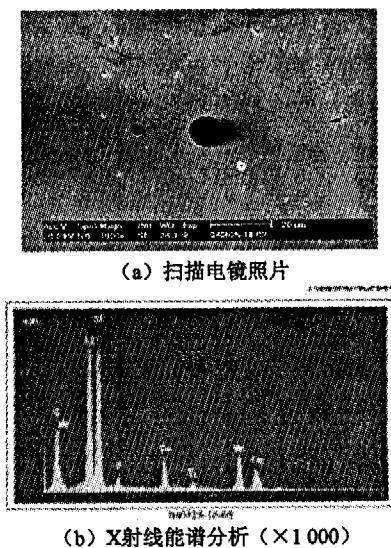


图3 试样294的分析结果

由图3和表3可知,该类型的夹杂物为硅铝酸盐.该类型夹杂物的成分主要是SiO₂和Al₂O₃,还含有少量Ca, Ti, Mn, Fe的氧化物或硫化物.

表3 夹杂物成分表

元素重量和原子百分比	O	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe
Wt%	41.55	14.40	16.73	1.38	4.82	1.56	11.48	8.08
Atom%	60.74	12.48	13.93	1.01	2.81	0.76	4.89	3.38

由图4和表4可以看出,夹杂物为复相夹杂物.故对照片中大颗粒夹杂物的表层和心部分别进行X射线能谱分析.该夹杂物的心部以Al₂O₃为主,还含有SiO₂及少量Ca, Ti, Mn, Fe的氧化物.

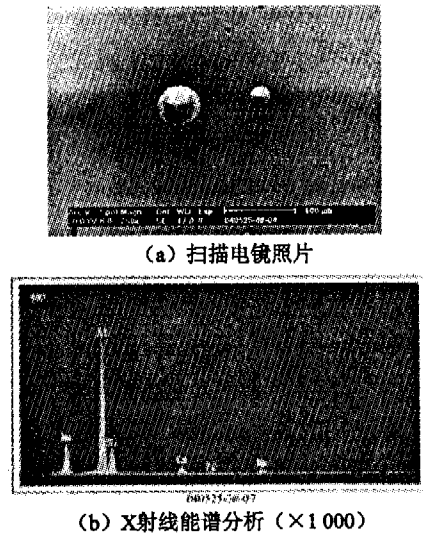


图4 试样296的分析结果

表4 夹杂物成分表(心部)

元素重量和原子百分比	O	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe
Wt%	45.41	34.90	9.02	3.38	1.02	5.03	1.24
Atom%	60.74	27.68	6.87	1.81	0.46	1.96	0.47

表层(见图5和表5)为硅铝酸盐,且Al₂O₃和SiO₂含量相当,另含有少量MgO, CaO, MnO和Ti的氧化物.

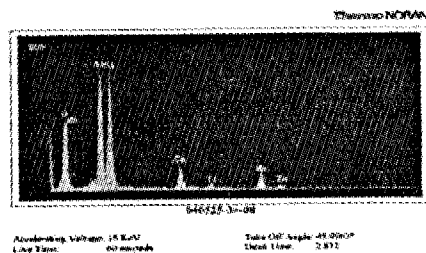


图5 X射线能谱分析图(表层)

表5 夹杂物成分表(表层)

元素重量和原子百分比	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn
Wt%	43.00	0.57	16.77	19.18	7.14	1.88	11.46
Atom%	60.51	0.53	13.99	15.37	4.01	0.88	4.70

由上面的分析可知,夹杂物主要是球状的硅酸盐夹杂和Al₂O₃,这类夹杂的成分较为复杂,以多相存在,但这些夹杂物的颗粒都比较小,小于φ50 μm,因此可以推断这些夹杂物是钢液在凝固过程产生的.

2.3 夹杂物的粒径分布

用Olympus光学显微镜在100倍的情况下观察,利用测微目镜,分别统计每个视场中粒径≤φ10 μm, φ10~φ20 μm, φ20~φ30 μm, φ30~φ40 μm, φ40~

$\phi 50 \mu\text{m}$, $> \phi 50 \mu\text{m}$ 的夹杂物的个数, 每个试样选 10 个视场共 10 mm^2 .

2.3.1 夹杂物的粒径统计分析

金相统计分析表明(如表 6 所示), 在板坯厚度和

表 6 不同粒径夹杂物的百分比

方向	炉号	$\leq \phi 10 \mu\text{m}$	$\phi 10 \sim \phi 20 \mu\text{m}$	$\phi 20 \sim \phi 30 \mu\text{m}$	$\phi 30 \sim \phi 40 \mu\text{m}$	$\phi 40 \sim \phi 50 \mu\text{m}$	$> \phi 50 \mu\text{m}$
厚度	1 829	97.00	1.91	1.02	0.07		
	1 831	92.33	6.97	0.61	0.09		
宽度	1 829	94.47	4.86	0.67			
	1 831	83.49	12.41	2.58	0.76	0.57	0.19

2.3.2 夹杂物的粒径分布

图 6 中(a)和(b)分别为 1 829 炉和 1 831 炉板坯厚度方向上夹杂物粒径分布;(c)和(d)分别为 1 829 炉和 1 831 炉板坯宽度方向上夹杂物粒径分布, 由图 6 可知, 在连铸坯厚度方向上离表面 1/3 和 1/4 处出现夹杂物聚集. 在连铸坯宽度方向上离表面 1/4 处出现夹杂物聚集, 其余的位置夹杂物分布比较均匀. 1 831 炉板坯中的夹杂物比 1 829 炉中的夹杂物要多, 主要以大于 $\phi 10 \mu\text{m}$ 的粒径为主, 并且在 1 831 炉中出现了大于 $\phi 50 \mu\text{m}$ 的夹杂物.

厚度方向上, 夹杂物在距离表面 1/4 和 1/3 处出现聚集, 反映了弧形板坯连铸机夹杂物分布的基本规律; 宽度方向上, 夹杂物也是在距表面 1/3 处出现聚集, 在 2 炉中夹杂物的聚集位置并不是很一致, 可见夹杂物分布还与液相穴内的流动状态有关^[7-8]. 滞留在铸坯中的夹杂物主要是小直径夹杂物, 夹杂物直径越大越易上浮进入渣中.

宽度方向上夹杂物的粒径主要都以小于 $\phi 10 \mu\text{m}$ 的为主. 1 831 炉中大颗粒夹杂物比较多, 还出现了大于 $\phi 50 \mu\text{m}$ 的夹杂物.

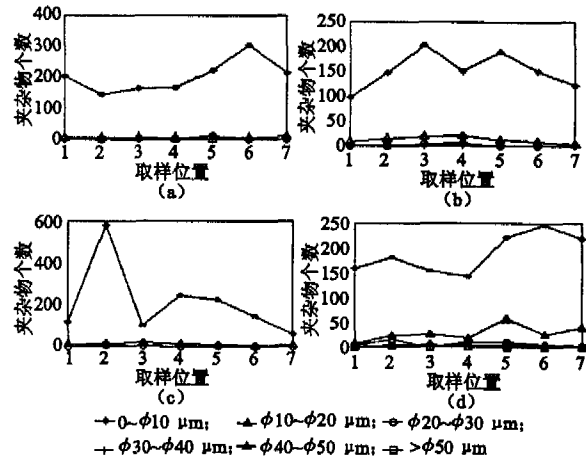


图 6 板坯中夹杂物分布

2.4 电解分析

在每炉板坯中截取 1 个电解样, 根据文献[9]配制电解液和确定电解参数, 进行电解, 结果见表 7. 从表 7 中可以看出, 夹杂物的含量比较高, 这主要是因为包括了金相中观察不到的微小夹杂, 还有氧化铁.

表 7 电解参数及结果

炉号	电解液	I/A	U/V	t/h	试样原重	余重/g	阳极泥/g	百分含量/%
1 831	ZnCl ₂ (5%), HCl(0.3%), FeCl ₂ (6%),	6	4	124	713.4	109.6	5.1	0.84
1 829	FeSO ₄ (4%), C ₆ H ₈ O ₇ · H ₂ O (0.5%)	6	4	96	710.1	128.6	4.2	0.72

2.5 夹杂物的来源

连铸板坯中的夹杂物的组成复杂, 形态各异, 很难区分哪种来源. 一般主要从夹杂物的组成来看, 对夹杂物的来源作个定性的鉴别^[10]. 由以上结果可知, 夹杂物主要是球形的, 有单相的铝硅酸盐和多相的夹杂物(心部为 Al₂O₃、表层为铝硅酸盐), 并且绝大部分夹杂物颗粒都小于 $\phi 50 \mu\text{m}$. 可以推断出夹杂物是内生夹杂物, 单相的夹杂物主要是因为钢中溶解[O]与 Al 结合生成 Al₂O₃, 当 Al 氧化完了仍有少量[O]与 Si, Mn 反应, 直至所有的溶解[O]都结合了, 结果形成一个小的球形夹杂物. 钢液产生的未上浮的 Al₂O₃ 夹杂物在凝固过程中, 在其外层包裹了一层铝硅酸盐, 然后生成多相的球形夹杂物.

2.6 减少连铸板坯中夹杂物的措施

结合以上分析情况, 建议在实际生产中采取或者强化以下措施: 采用精炼技术, 特别是吹氩搅拌时, 对小颗粒夹杂物采用大流量的氩气量, 以便于夹杂物的上浮, 适当延长吹氩时间, 以降低钢中的氧含量和显微夹杂; 在浇注过程中, 注意钢水液面的控制, 应对长水口进行优化设计, 加强保护浇注; 强化结晶器和中间包的密封, 防止钢水的二次氧化, 进一步增加保护渣对夹杂物的吸附强度. 如果这些措施得当, 氧化物夹杂物的含量将会得到相应的减少与控制.

3 结论

1) 连铸板坯中夹杂物的分布具有规律性. 厚度方

向上,夹杂物在距离表面 1/4 和 1/3 处出现聚集,表面和中心夹杂物相对较少;宽度方向上,夹杂物在距表面 1/3 处出现聚集.

2) 连铸板坯中夹杂物以尺寸小于 $\phi 10 \mu\text{m}$ 的为主,占 80% 以上,大型夹杂物比较少.

3) 夹杂物的形态绝大多数都是球形,少量为多边形.

4) 通过扫描电镜及能谱和 X 射线能谱分析,说明板坯中的夹杂物以铝硅酸盐为主,有单相也有多相的.

5) 夹杂物主要是内生的,是钢液中脱氧产生的未上浮的夹杂物和以及在凝固过程中产生的夹杂物.

参考文献:

- [1] 董履仁. 钢中大型非金属夹杂物[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.
- [2] 刘中柱. 纯净钢生产技术[J]. 钢铁,2002,35(2):64-69.
- [3] 李正邦. 超纯净钢的新进展[J]. 材料与冶金学报,2002,1(3):161-165.
- [4] 严学模,杜德信. 攀钢连铸板坯非金属夹杂物现状调查[J]. 钢铁钒钛,1999,20(1):17-18.
- [5] 刘友荣,宋景欣,程乃良. 梅山钢厂连铸板坯非金属夹杂物成因及行为研究[J]. 钢铁钒钛,2002,119(2):36-40.
- [6] 苏亚红,朱志远,王彦锋,等. 集装箱钢连铸板坯中的夹杂物行为[J]. 钢铁,2002,37(8):23-24.
- [7] 蔡开科. 浇注与凝固[M]. 北京:冶金工业出版社,1987.
- [8] 蔡开科,程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [9] 孙辰龄. 钢中大型夹杂物的提取与分离[J]. 北京科技大学学报,1994,16(4):392-395.
- [10] 陈训浩. 连铸板坯夹杂物控制[J]. 冶金标准化与质量,1997,(1):23-27.

Nonmetallic Inclusions in Continuous Casting Slab

LIU Lin-fei¹, LIU Shou-ping¹, ZHOU Shang-qi¹, REN Qin¹, LI Ding²,
KANG Ren-mu², WU Wen-dong²

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Steeling-making Section Office of Weiyuan Iron and Steel Co Ltd, Weiyuan 610000, China)

Abstract: In order to improve the quality of the products and the pure degree of the steel; the type, quantity, size, composition and distribution of the nonmetallic inclusions present in continuous cast slabs made by Weiyuan Iron and Steel Co., Ltd. are investigated with optic microscope, SEM, XES and Electroanalysis. Moreover the original of the inclusions is discussed. The result shows the inclusion in the continuous cast slab is mainly the spherical silicate inclusion which is smaller than $10 \mu\text{m}$. There is a small amount of polygonal inclusions, and there is the single-phase one and heterogeneous inclusion too; And the inclusions assemble in 1/3 position and in 1/4 at board base thickness and width direction. The inclusions are ineral, which origin from the deoxidizing process of molten steel.

Key words: Q235continuous cast slab; nonmetallic inclusions; distribution; origin

(编辑 李胜春)